



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

2.1.1 Pengertian Gardu Induk^[2]

Gardu induk merupakan suatu sistem instalasi listrik mulai dari Tegangan Ekstra Tinggi (TET), Tegangan Tinggi (TT) dan Tegangan Menengah (TM) yang terdiri dari bangunan dan peralatan – peralatan listrik.

2.1.2 Fungsi Gardu Induk

Secara umum gardu induk memiliki fungsi sebagai berikut :

- a) Mentrasformasikan daya listrik.
- b) Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- c) Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk - gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi.
- d) Sebagai sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

2.1.3 Jenis – Jenis Gardu Induk

Jenis gardu induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

- 1) Menurut pelayanannya, gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi :
 - Gardu Transmisi, yaitu gardu induk yang melayani TET dan TT
 - Gardu distribusi, yaitu gardu induk yang melayani untuk TM



2) Berdasarkan penempatannya :

- Gardu induk pasangan dalam (*Indoor Substation*)
- Gardu induk pasangan luar (*Outdoor Substation*)
- Gardu induk sebagian pasangan luar (*Combine Outdoor Substation*)
- Gardu induk pasangan bawah tanah (*Underground Substation*)
- Gardu induk pasangan sebagian bawah tanah (*Semi Underground Substation*)
- Gardu induk mobil (*Mobile Substation*)

3) Berdasarkan isolasi yang digunakan :

- Gardu induk yang menggunakan udara guna mengisolir bagian – bagian yang bertegangan dan bagian bertegangan lainnya dan dengan bagian yang tidak bertegangan/tanah.
- Gardu induk yang menggunakan gas guna mengisolir bagian – bagian yang bertegangan dan bagian bertegangan lainnya dan dengan bagian yang tidak bertegangan/tanah. Isolasi gas yang digunakan adalah gas SF₆ pada tekanan tertentu.

4) Berdasarkan sistem rel/busbar :

- Gardu induk dengan satu rel (*Single Busbar*)
- Gardu induk dengan dua rel (*Double Busbar*)
- Gardu induk dengan dua rel sistem 1,5 PMT (*One Half Circuit Breaker*)



2.1.4 Peralatan yang terdapat pada Gardu Induk

1) Transformator Daya

Berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dengan merubah besar tensingnya sedangkan frquensinya tetap.



Gambar 2.1 Transformator Daya

2) Transformator Instrumen

Berfungsi untuk mencatu instrumen ukur dan rele serta alat – alat serupa lainnya. Transformator ini terdapat dua jenis yaitu transformator arus dan transformator tegangan. Transformator instrumen yang berazaskan induksi terdiri dari inti dan kumparan. Inti ini berfungsi sebagai jalannya fluksi magnet sedangkan kumparan berfungsi untuk mentransformasikan arus dan tegangan.

Yang termasuk dalam trafo – trafo pengukuran adalah :

- Trafo arus
- Trafo tegangan
- Gabungan trafo arus dan trafo tegangan



Politeknik Negeri Sriwijaya

Fungsi trafo pengukuran adalah :

- Mengkonversi besaran arus atau tegangan pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan sistem metering dan proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer
- Standarisasi besaran sekunder, untuk arus 1 A, 2 A dan 5 A, tegangan 100, $100\sqrt{3}$, 110 dan $110\sqrt{3}$

a) Transformator Arus

Berdasarkan penggunaan, trafo arus dikelompokkan menjadi 2 kelompok dasar, yaitu : trafo arus metering dan trafo arus proteksi.

- Trafo arus metering

Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja antara 5% - 120% arus nominalnya, tergantung dari kelas dan tingkat kejenehuan.

- Trafo arus proteksi

Trafo arus proteksi memiliki ketelitian tinggi sampai arus yang besar yaitu pada saat terjadi gangguan, dimana arus yang mengalir mencapai beberapa kali dari arus pengenalnya an trafo arus proteksi mempunyai tingkat kejenehuan cukup tinggi.



Gambar 2.2 Transformator Arus



b) Transformator Tegangan

Trafo tegangan dibagi menjadi 2 jenis, trafo tegangan magnetik (*magnetik voltage transformer/VT*) atau sering disebut trafo tegangan induktif, dan trafo tegangan kapasitif (*Capasitor Voltage Tranformer/CVT*).



Gambar 2.3 Transformator Tegangan

3) Pemisah / PMS

Pemisah adalah yang digunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. PMS dapat diklasifikasikan menjadi :

- a) Menurut fungsinya :
 - Pemisah tanah
 - Pemisah peralatan
- b) Menurut penempatannya :
 - Pemisah penghantar
 - Pemisah bus
 - Pemisah seksi (GI dengan 1 – 1/5 PMT)
 - Pemisah tanah.



c) Menurut gerakan lengan :

- Pemisah engsel
- Pemisah putar
- Pemisah siku
- Pemisah lurus
- Pemisah pantografh

d) Menurut penggerak :

- Secara manual
- Dengan motor
- Dengan pneumatic
- Dengan hidrolis

4) Circuit Breaker (CB) / PMT

Adalah saklar yang digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan arus/daya listrik sesuai ratingnya. Oleh karena itu PMT digunakan untuk memutus beban maka harus dilengkapi dengan pemadam busur api. PMT dapat diklasifikasikan menjadi :

a) PMT berdasarkan media pemadaman busur apinya :

- PMT dengan menggunakan minyak banyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*)
- PMT dengan menggunakan sedikit minyak (*Low Oil Circuit Breaker*)
- PMT dengan media hampa udara (*Vacum Circuit Breaker*)
- PMT dengan udara hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)
- PMT dengan media gas SF₆

b) PMT berdasarkan mekanis penggerakannya :

- Pegas
- Pneumatic
- Hidrolic



5) *Lightning Arrester* (LA)

Berfungsi melindungi peralatan listrik terhadap tegangan lebih akibat surja petir dan surja hubung singkat serta mengalirkan arus surja ke tanah. LA dilengkapi dengan :

- Sela bola api (*Spark Gap*)
- Tahanan kran atau tahanan tidak linier (*Valve Resistor*)
- Sistem pengaturan atau pembagian tegangan (*Grading System*)

Jenis – jenis arrester :

- *Type Expulsion*

Terdiri dari dua elektroda dan satu *fibre tube*. Tabung fibre menghasilkan gas saat terjadi busur api dan menghembuskan busur api kearah bawah. Setelah busur api hilang maka arrester bersifat isolator kembali.

- *Type Valve*

Bila tegangan surja petir menyambar jaringan dan dimana terdapat arrester terpasang maka seri gap akan mengalami kegagalan mengakibatkan terjadi arus yang besar melalui tahanan kran yang saat itu mempunyai nilai kecil. Bila tegangan telah normal kembali maka tahanan kran mempunyai nilai besar sehingga busur api akan padam pada saat tegangan susulan sama dengan nol.



Gambar 2.4 *Lightning Arrester*



6) Reaktor

Suatu transmisi tegangan tinggi/tegangan ekstra tinggi yang panjang tanpa bebahan maka tegangan penerima akan naik akibat adanya kapasitansi di sepanjang jaringan. Tegangan yang naik melebihi tegangan yang diizinkan tidak diperkenankan. Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan maka pada ujung transmisi dipasang reaktor, yaitu suatu beban reaktif induktif (VAR). Besarnya reaktif induktif tergantung pada kebutuhan.

7) Kapasitor

Pada GI yang jauh dari sumber pembangkit atau beban yang besar dapat mengakibatkan tegangan menjadi turun. Pengaturan melalui tap maupun lainnya telah dilakukan namun tegangan tetap menunjukkan perubahan yang signifikan maka dipasanglah kapasitor. Pemasangan kapasitor diharapkan dapat memperbaiki tegangan sesuai yang diinginkan.

8) Pentanahan

Berdasarkan tujuan pentanahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a) Pentanahan Sistem (Pentanahan Titik Netral)

Pentanahan sistem yang dimaksud menghubungkan titik netral trafo ke tanah. Pentanahan sistem bertujuan untuk :

- Melindungi peralatan/saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan oleh adanya gangguan fasa ke tanah
- Melindungi peralatan /saluran terhadap bahaya kerusakan isolasi yang diakibatkan oleh tegangan lebih
- Untuk proteksi jaringan
- Untuk melindungi makhluk hidup terhadap tegangan langkah (step voltage).



b) Pentanahan Statis (Pentanahan Peralatan)

Pentanahan peralatan ini dilakukan dengan menghubungkan semua kerangka peralatan yang dalam keadaan normal tidak dialiri arus sistem ke sistem pentanahan switchyard (*mess atau rod*).

9) Sistem Catu Daya

Untuk memenuhi kebutuhan sendiri sebuah GI umumnya membutuhkan sumber tenaga listrik tersendiri. Sumber AC yang berasal dari trafo pemakaian sendiri (PS) yang kapasitasnya relatif kecil, tergantung dari besar kecilnya kapasitas GI tersebut (200 kVA, 315 kVA). Catu daya pada GI dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a) Catu daya AC

Pasokan catu daya untuk kebutuhan pemakaian sendiri diperoleh dari trafo pemakaian sendiri, dimana sisi primer 20 kV dipasok dari trafo daya melalui busbar 20 kV. Tegangan sisi sekunder 380 V dari PS-1 masuk ke rel panel pembagi AC sebagai pasokan utama. Tegangan dapat diatur melalui tap pada trafo PS dengan catatan apabila dikehendaki perubahan tap, harus dilakukan dalam kondisi padam (*offload tap changer*).



b) Catu daya DC

Sumber tegangan AC 380 Volt diubah oleh rectifier menjadi tegangan DC dan diparalel dengan batre menghasilkan tegangan 110 Vdc dan atau 48 Vdc. Sumber DC ini digunakan untuk :

- Sumber tenaga untuk alat control sinyal
- Sumber tenaga untuk motor PMT, PMS dan tap charger
- Sumber tenaga untuk differensial/proteksi
- Sumber tenaga untuk penerangan darurat
- Sumber tenaga untuk telekomunikasi

10) Meter

a) Mengukur tegangan dan arus AC

Pada sistem tiga fasa pengukuran tegangan dengan kV meter. Untuk kebutuhan pengukuran pada fasa – fasa dan fasa – netral tersedia saklar tukar (selektor switch).

Pengukuran pada TT dan TM, tegangan yang diterima kV meter adalah tegangan sekunder trafo tegangan yang nilainya telah diperkecil sehingga pembacaan sebenarnya dikalikan dengan rasio trafo tegangan yang tersambung. Namun kenyataan kV meter yang terdapat pada TT dan TM telah menunjukkan besaran tegangan primer sehingga mempermudah pembacaan.

Untuk mengukur arus pada sistem tiga fasa diperlukan 3 buah Amper meter yang dipasang pada setiap fasa. Pengukuran arus juga menggunakan arus yang berasal dari sisi sekunder trafo arus.



b) Mengukur daya dan energi aktif

Mengukur daya dan energi aktif diperlukan alat ukur Watt meter dan Kwh meter. Pada prinsipnya baik Watt meter dan Kwh meter mempunyai kumparan arus dan kumparan tegangan. Banyaknya kumparan arus bisa satu, dua atau tiga, demikian juga kumparan tegangannya. Sepasang kumparan arus dan tegangan memberikan kontribusi sebesar :

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

Jadi bila beban dalam keadaan seimbang akan memberikan

$$P_{(3 \text{ fasa})} = 3 \times V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

c) Mengukur daya reaktif

Mengukur daya reaktif diperlukan alat ukur Var meter. Pada pengukuran 3 fasa terdapat sistem pengukuran tiga fasa 4 kawat dan tiga fasa 3 kawat. Sepasang kumparan arus dan tegangan memberikan kontribusi sebesar :

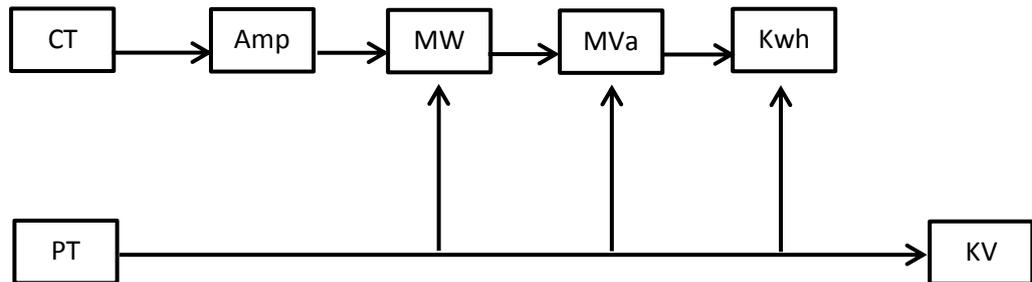
$$Q = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Jadi bila dalam keadaan seimbang akan memberikan

$$Q_{(3 \text{ fasa})} = 3 \times V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

d) Prinsip pengawatan dan pemasangan meter (Amp, kV, MW, MVar, Kwh)

Rangkai arus didapat dari sekunder CT kemudian secara seri dimasukkan pada ampermeter, MW meter, MVar meter dan Kwh meter. Rangkaian tegangan didapat dari sekunder VT kemudian secara paralel dimasukkan pada kV meter, MV meter, MVar meter dan Kwh meter.



Gambar 2.5 Prinsip Pengawatan dan Pemasangan Alat Ukur Listrik^[2]

11) Busbar / Rel

Merupakan titik pertemuan/hubungan antara trafo-trafo tenaga, Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Kabel Tegangan Tinggi dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik.

12) Rele Proteksi

Agar penyaluran energi listrik tetap terjamin kontinuitasnya serta aman terhadap lingkungan dan peralatan maka diperlukan peralatan yang dapat mengamankan/memproteksi kepentingan diatas. Peralatan yang dimaksud adalah rele proteksi. Rele – rele tersebut dapat dikelompokkan menjadi :

a) Rele – rele pada penyulang dan fungsinya :

- Rele arus lebih (OCR) sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan antar fasa atau beban lebih di penyulang.
- Rele gangguan tanah (GFR) sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan fasa – tanah di penyulang dengan sistem pentanahan titik netral langsung (*solid grounded*) atau memalui tahanan 12/40 Ohm.



- Rele Gangguan Tanah (DGFR) sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan fasa – tanah dipenyulang dengan sistem pentanahan titik netral melalui tahanan tinggi (500 Ohm).
- Rele Gangguan Tanah (*Ground Relay*), prinsip tegangan urutan nol sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan fasa – tanah penyulang dengan pentanahan titik netral yang mengambang (tidak diketanahkan) dan berfungsi sebagai pengaman cadangan jika terjadi gangguan fasa – tanah pada penyulang dengan sistem pentanahan titik netral melalui tahanan tinggi (500 Ohm).

Untuk keandalan sistem maka pada penyulang dilengkapi dengan :

- Rele penutup balik (*Reclosing Relay*) yang berfungsi menormalkan kembali SUTM jika terjadi gangguan sementara (*temporary*).
- Rele frekuensi kurang (*Under Frequency Reley/UFR*) berfungsi untuk mengurangi beban sistem bila terjadi penurunan frekuensi pada batas waktu tertentu.

b) Rele –rele pada transformator dan fungsinya :

- Rele Diferensial berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi didaerah pengamanannya.
- Rele Arus Lebih berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat antar fasa didalam dan diluar pengamannya atau terhadap beban lebih (sebagai pengaman tambahan).



- Rele Bucholz berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan yang menimbulkan gas didalam transformator.
 - Rele Jansen berfungsi mengamankan tap changer trafo.
 - Rele Suhu berfungsi mengamankan transformator akibat kenaikan suhu pada minyak dan kumparan.
 - Rele Tekanan Lebih (*Sudden Pressure Reley*) berfungsi mengamankan transformator terhadap tekanan lebih yang terjadi secara mendadak di dalam tangki transformator.
 - Rele Gangguan Tanah mengamankan trafo terhadap gangguan hubung singkat tanah (sebagai pengaman cadangan).
 - Rele Tangki Tanah mengamankan trafo terhadap gangguan hubung singkat kumparan fasa terhadap tangki.
 - Rele Arus Lebih Berarah berfungsi mengamankan trafo terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan ketiga fasa pada arah tertentu (untuk transformator yang beroperasi paralel).
 - Rele Gangguan Tanah Terbatas berfungsi mengamankan tafo terhadap gangguan tanah terutama pada daerah dekat titik netral transformator.
- c) Rele –rele pada penghantar dan fungsinya :
- Rele jarak (*Distance Relay*) berfungsi untuk mengamankan SUTT terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa tanah.



- Rele Differential pilot kabel (*Pilot Wire Differential Relay*) berfungsi mengamankan SUTT dan SKTT yang pendek terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa tanah.
- Rele arus lebih berarah (*Directional Over Current Relay*) berfungsi mengamankan SUTT terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja (sebagai pengaman cadangan).
- Rele arus lebih (*Over Current Relay*) berfungsi mengamankan SUTT dan SKTT terhadap gangguan hubung singkat antar fasa atau terjadi beban lebih.
- Rele gangguan tanah berarah (*Directional Ground Relay*) berfungsi mengamankan SUTT terhadap gangguan hubung singkat fasa tanah pada arah tertentu.
- Rele gangguan tanah selektif (*Selective Ground Relay*) berfungsi mengamankan SUTT saluran ganda terhadap gangguan hubung singkat fasa tanah.
- Rele tegangan lebih (*Over Voltage Relay*) berfungsi mengamankan SUTT dan SKTT terhadap gangguan tegangan lebih.

Untuk keandalan sistem maka pada penghantar dilengkapi :

- Rele penutup balik (*Reclosing Relay*) yang berfungsi menormalkan kembali SUTT jika terjadi gangguan sementara (*temporer*).
- Rele frekuensi kurang (*Under Frequency Relay/UFR*) berfungsi melepas SUTT atau SKTT bila pada sistem terjadi penurunan frekuensi pada batas tertentu.



Beberapa kode pada rele ^[2] :

- 21 : Rele Jarak (*Distance Relay*)
- 25 : *Synchron Check*
- 27 : Rele Tegangan Kurang (UVR)
- 49 : Rele Thermis/Suhu
- 50 : Rele Arus Lebih Seketika (OCR Instant)
- 51 : Rele Arus Lebih Dengan Waktu Tunda (OCR td)
- 50N : Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Seketika (GFR Instant)
- 51N : Rele arus lebih gangguan tanah dengan waktu tunda (GFR td)
- 59 : Rele Tegangan Lebih (OVR)
- 64 : Rele Gangguan Tanah Tterbatas (REF)
- 67 : Rele Arus Lebih Berarah (DOCR)
- 67N : Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Berarah (DGFR)
- 79 : Rele Penutup Balik (*Reclosing Relay*)
- 81 : *Under Frequency Relay (UFR)*
- 87 : *Differntial Relay*
- 95 : *Bucholz Relay*

13) Switch Yard (*Switchgear*)

Adalah bagian dari Gardu Induk yang dijadikan sebagai peletakan utama komponen gardu induk.

14) Got Kabel (*Cable Duck*)

Adalah tempat peletakan kabel yang menghubungkan *Switch Yard*, maupun antara peralatan di *switch yard* dengan peralatan digedung kontrol.



2.2 Sistem Proteksi^[3]

2.2.1 Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah susunan sejumlah perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi pengamanan terhadap suatu peralatan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Gangguan pada sistem distribusi dapat diakibatkan oleh faktor alam, kelalaian manusia atau kerusakan pada peralatan itu sendiri. Gangguan ini dapat bersifat temporer yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan cara memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangan, dan gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan untuk menghilangkan penyebab terjadi gangguan tersebut.

2.2.2 Fungsi Sistem Proteksi

- a) Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem proteksi yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b) Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu.
- c) Memberi tahu operator mengenai adanya gangguan serta lokasi gangguannya.
- d) Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
- e) Memperkecil bahaya listrik bagi manusia.



2.2.3 Syarat Sitem Proteksi

Persyaratan terpenting dari sistem proteksi adalah :

A. Kepekaan

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan dikawasan pengamanannya, meskipun rangsangan yang diberikan dalam kondisi minimum.

B. Keandalan

Ada 3 aspek yaitu :

b.1 *Dependability*

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

b.2 *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja, salah kerja maksudnya adalah kondisi yang semetinya rele tersebut tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak terjadi gangguan atau kerja rele yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja.



b.3 Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi atau siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan rele elektromekanis, jika rusak/tidak berfungsi dapat diketahui sesegera mungkin sehingga bisa 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 dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki dengan segera sebelum kegagalan proteksi meluas.

C. Selektifitas

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 yang demikian disebut pengaman yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah :

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

Untuk itulah rele dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik rele yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar serta penentuan setting rele yang benar, maka selektifitas yang baik dapat diperoleh.



D. Kecepatan

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

Kecepatan itu sangat penting untuk :

- Menghindari kerusakan secara termis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- Mempertahankan kestabilan sistem.
- 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).

2.3.4 Kegagalan Sistem Proteksi

Hal yang menyebabkan terjadinya kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a) Kegagalan pada rele itu sendiri
- b) Kegagalan suplai arus dan atau tegangan ke rele yang terganggu.
Hal ini disebabkan rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c) Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, atau terjadi hubung singkat pada rangkaian arus searah.
- d) Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutusannya.



Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengamanan maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (Back up Protection). Dengan demikian sistem proteksi menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

- 1) Pengaman utama yang umumnya harus memenuhi semua syarat dari sistem proteksi.
- 2) Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu, hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama untuk bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal barulah pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak selektif pengaman utama.

2.3 Gangguan Hubung Singkat

2.3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (Sistem kelistrikan) yaitu ^[6]:

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan hubungan singkat tiga fasa dan ground
3. Gangguan hubung singkat dua fasa
4. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah
5. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Untuk menentukan nilai settingan pada rele proteksi yang dibutuhkan ^[1] :

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa
- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa
- c. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Ketiga jenis gangguan hubung singkat tersebut, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.5)$$



Dimana :

I = Arus yang mengalir pada hantaran Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

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

Yang membedakan antara gangguan hubungan singkat tiga fasa, dua fasa dan satu 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 ini :

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$

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

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$ (2.6)

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ohm)

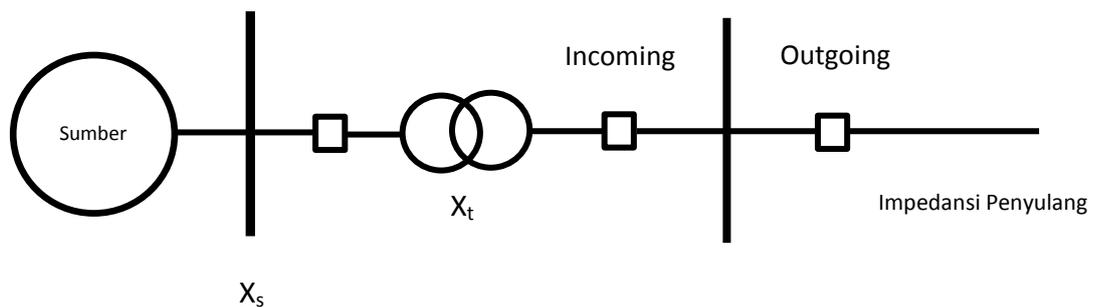
2.3.1.1 Menghitung Impedansi^[1]

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu :

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.



Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator dan impedansi penyulang.



Gambar 2.6 Sketsa Penyulang Tegangan Menengah

Dimana :

X_s = Reaktansi Sumber (Ohm)

X_t = Reaktansi Transformator (Ohm)

a) Reaktansi Sumber^[1]

Untuk menghitung reaktansi sumber disisi busbar 20 kV, maka dihitung dulu reaktansi sumber di bus 70 kV. Reaktansi sumber di bus 70 kV diperoleh dengan rumus :

$$X_{s(sisi\ 70\ kV)} = \frac{kV^2(sisiprimertrafo)}{Ish} \dots\dots\dots(2.7)$$



Dimana :

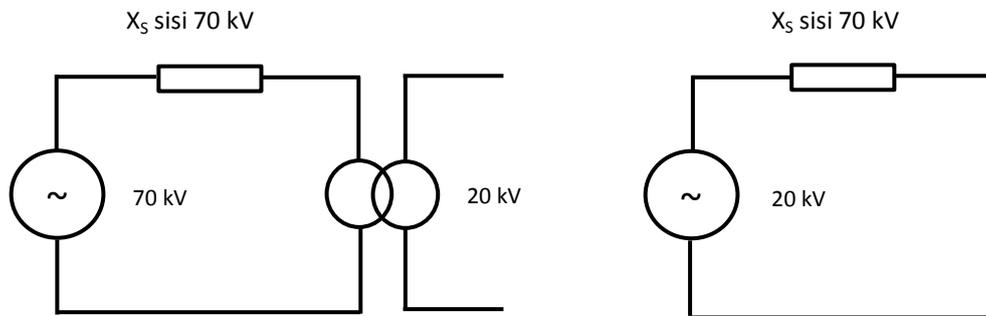
X_s = Reaktansi Sumber (Ohm)

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

I_{sh} = Arus hubung singkat di bus 70 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 70 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan reaktansi yang terletak di sisi 70 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung menggunakan rumus :

$$X_s \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{20^2}{70^2} \times X_s \text{ (sisi 70 kV)} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.7 Konversi X_s dari 70 kV ke 20 kV

b) Reaktansi Transformator^[1]

Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam satuan Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut :

Langkah pertama mencari nilai Ohm pada 100% untuk trafo 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.9)$$



Dimana :

X_t = Reaktansi trafo tenaga (Ohm)

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

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tegangannya :

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

$$X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_{t(\text{pada } 100\%)} \dots \dots \dots (2.10)$$

- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :

- ✓ Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama dengan besar kapasitas kelitan bintang, maka :

$$X_{t0} = X_{t1} \dots \dots \dots (2.11)$$

- ✓ Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan $YY\Delta$ dimana kapasitas belitan delta biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan bintang (belitan Y adalah belitan yang digunakan untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan Δ tetap ada didalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilainya adalah :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} \dots \dots \dots (2.12)$$

- ✓ Untuk trafo tenaga dengan hubunga belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara :

$$9 \text{ s.d } 14 \times X_{t1} \dots \dots \dots (2.13)$$



c) Impedansi Penyulang^[1]

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per Km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya. Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya impedansi suatu penyulang :

$Z = (R+jX)$. Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

- Urutan positif dan urutan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang(Km)} \times Z_1/Z_2(\text{Ohm})..(2.14)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ohm)

- Urutan nol

$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang(Km)} \times Z_0(\text{Ohm}).....(2.15)$$

Dimana :

Z_0 = Impedansi urutan nol



d) Impedansi Ekuivalen Jaringan^[1]

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari mulai dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitunga Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi Z_{0eq} ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafo tersebut. Sehingga untuk impedansi ekuivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

- Urutan positif dan urutan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1(\text{penyulang}) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (Ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (Ohm)

Z_s = Impedansi sumber sisi 20 kV (Ohm)

Z_{t1} = Impedansi trafo tenaga urutan negatif (Ohm)

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negatif (Ohm)

- Urutan Nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0(\text{penyulang}) \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen jaringan nol (Ohm)

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

R_N = Tahanan tanah trafo tenaga (Ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ohm)



2.3.1.2 Menghitung Arus Hubung Singkat^[1]

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah jenis gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ke tanah. Sehingga rumus yang digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ketanah berbeda.

Tabel 2.1 Gangguan Hubung Singkat

No	Jenis Gangguan Hubung Singkat	Gambar Rangkaian
1	3 Fasa	
2	2 Fasa	
3	1 Fasa ke tanah	



1) Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa

Rangkaian gangguan 3 fasa pada suatu jaringan dengan hubungan transformator tenaga YY. Ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.5)$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

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

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

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

2) Perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa pada saluran tenaga dengan hubungan transformator YY, ditunjukkan dengan gambar no 2 pada tabel 2.1. Persamaan pada kondisi gangguan hubung singkat 2 fasa adalah :

$$E_A = E_C$$

$$I_B = 0$$

$$I_A = - I_C$$



Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat dua fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.5)$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka :

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2xZ_{1eq}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

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

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

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

3) Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah pada saluran tenaga dengan hubungan transformator YY, ditunjukkan dengan gambar no 3 pada tabel 2.1 diatas :

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah juga dengan adalah :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.5)$$



Sehingga arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{1\text{ fasa}} = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}+Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka :

$$I_{1\text{ fasa}} = \frac{3xV_{ph}}{2xZ_{1eq}+Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

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

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

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

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)

2.4 Rele Arus Lebih (OCR)

2.4.1 Pengertian OCR

Rele arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Rele arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut rele ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan.

Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (*Back Up Protection*) untuk gangguan eksternal atau sebagai *back up* bagi *outgoing feeder*. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana rele



terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis *defenite time* atau *inverse time* dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

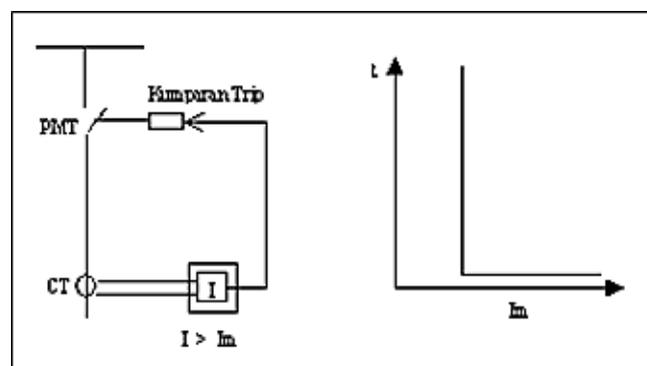
Pemasangan OCR sebagai pengaman transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk :

- Mencegah kerusakan transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
- Membatasi luas daerah yang terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- Hanya bekerja bila pengaman utama transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

2.4.2 Jenis Rele Berdasarkan Karakteristik Waktu

1) Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time*)

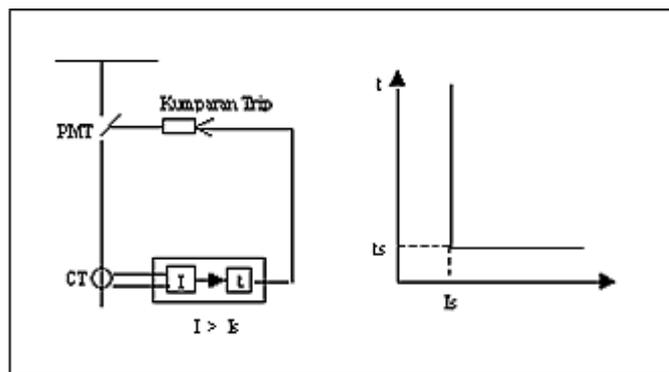
Adalah rele yang bekerja tanpa waktu tunda ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang berbeda.



Gambar 2.8 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time*)

2) Rele Arus Lebih Defenite (*Definite Time*)

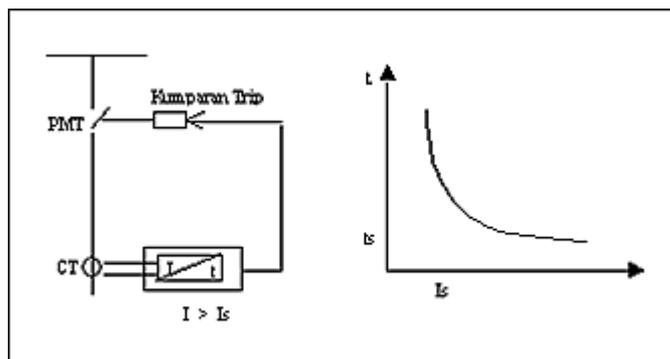
Adalah rele dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besar arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya, berapapun besar arus gangguan rele akan bekerja dengan waktu yang tetap.



Gambar 2.9 Rele Arus Lebih Definite (*Definite Time*)

3) Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

Rele ini bekerja dengan waktu tunda 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 waktu dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu : *standar inverse*, *very inverse* dan *extreemely inverse*.

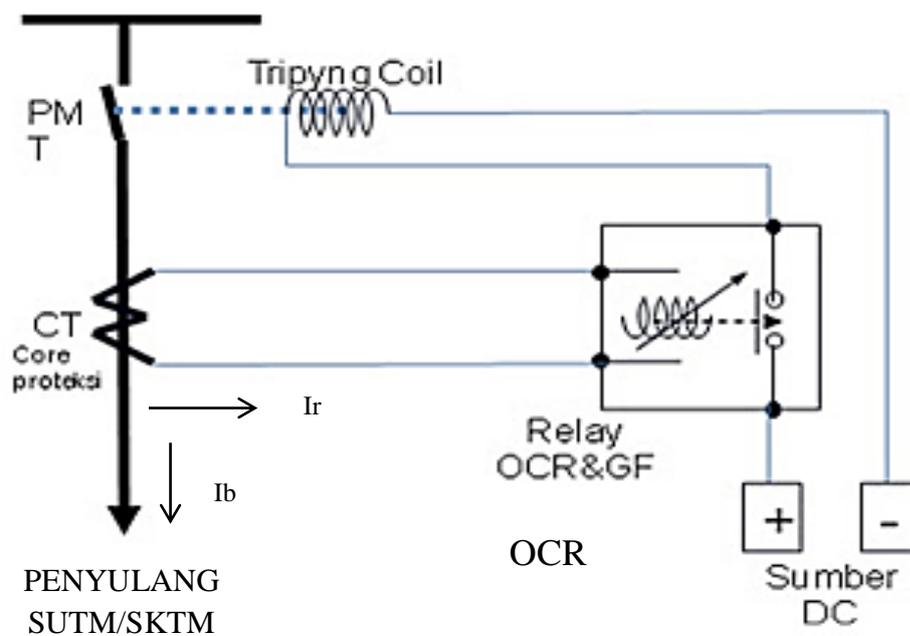


Gambar 2.10 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

2.4.3 Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dideteksi oleh rele, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat ataupun *overload* (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah ttrip ke PMT sesuai dengan karakteristik OCR tersebut.

REL 20 KV



Gambar 2.11 Rangkaian Pengawatan Rele Arus Lebih

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir ke penyulang SUTM/SKTM dan oleh trafo arus (CT) besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan rele tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada harga yang telah disetting, maka rele OCR tidak akan bekerja.



2. Bila terjadi gangguan hubung singkat ataupun beban lebih, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) pada *Current Transformer* (CT) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi nilai yang telah di *setting* pada OCR, maka rele akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM/SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

2.4.4 *Setting* OCR^[1]

a) *Setting* arus OCR

Penyetelan rele OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung nominal transformator tenaganya. Arus setting untuk rele OCR pada sisi primer transformator tenaga adalah :

$$I_{set(Primer)} = 1.05 \times I_N \dots \dots \dots (2.23)$$

Nilai I_N didapat berdasarkan rumus berikut :

$$I_{N(sisi\ 20\ kV)} = \frac{MVA}{kV\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Nilai tersebut ialah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder untuk settingan pada rele OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set(sec)} = I_{set(Primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots \dots \dots (2.25)$$



b) *Setting* waktu OCR (TMS)

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam – macam sesuai dengan desain pabrik pembuat rele. Dalam hal ini diambil rumus TMS dengan rele merk MC 30.

$$TMS = \frac{k}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{\alpha} - 1} + c \dots \dots \dots (2.26)$$

Tabel 2.2 Konstanta Karakteristik OCR

No	Deskripsi	k	c	α
1	Definit time	-	0-100	-
2	Standart inverse	0,14	0	0,02
3	Very inverse	13,5	0	1
4	Extremely inverse	80	0	2
5	Long time inverse	120	0	1

Sumber: PT. PLN, 2005c

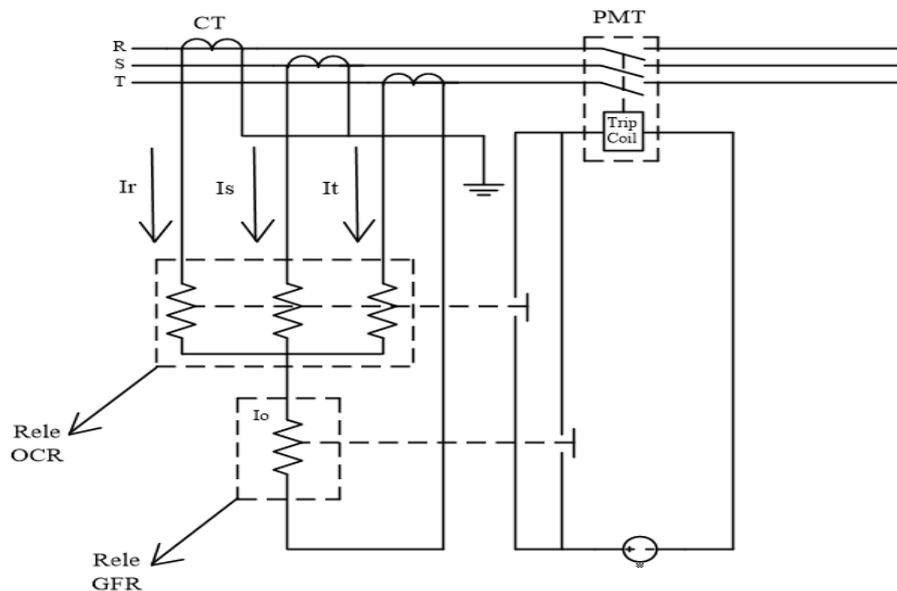
Dimana :

- TMS = Time multiple setting (sekon)
- If = Arus gangguan (A)
- Is = Arus penyetelan (A)

2.5 Rele Gangguan Tanah (GFR)

2.5.1 Pengertian GFR

Rele hubung tanah yang lebuah dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi adanya hubung singkat antara fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Dibawah ini merupakan gambar rangkaian pengawatan GFR.



Gambar 2.12 Rangkaian Pengawatan Rele GFR

2.5.2 Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal I_r, I_s itu sama besar sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele GFR tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidak simbangn arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga rele GFR akan bekerja.



2.5.3 *Setting* GFR^[1]

a) *Setting* arus GFR

Setting arus pada rele GFR lebih kecil dibanding dengan *setting* arus pada rele OCR, untuk menghitung besarnya arus *setting* pada GFR menggunakan arus gangguan 1 fasa ke tanah yang terkecil, yaitu di daerah gangguan 100% dari panjang penyulang.

➤ Sisi Incoming

$$8\% \times \text{ arus gangguan tanah terkecil} \dots \dots \dots (2.27)$$

➤ Sisi Penyulang

$$10\% \times \text{ arus gangguan tanah terkecil} \dots \dots \dots (2.28)$$

b) *Setting* waktu GFR (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja rele (TMS). Sama halnya dengan rele OCR, rele GFR menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan rele OCR. Tetapi waktu kerja rele yang diinginkan berbeda, rele GFR cenderung lebih sensitif dari pada rele OCR.

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetting pada rele GFR sisi Incoming 20 kV dan 70 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat satu fasa ke tanah.