

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

Sistem proteksi bay penghantar adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. [4]

Komponen sistem proteksi terdiri dari transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/CVT), relai proteksi, pemutus tenaga (PMT), catudaya rangkaian pengawatannya (wiring) dan teleproteksi.

Daerah kerja proteksi bay penghantar adalah daerah di antara 2 (dua) atau lebih CT pada gardu-gardu induk berhadapan yang disebut sebagai unit proteksi penghantar. [4]

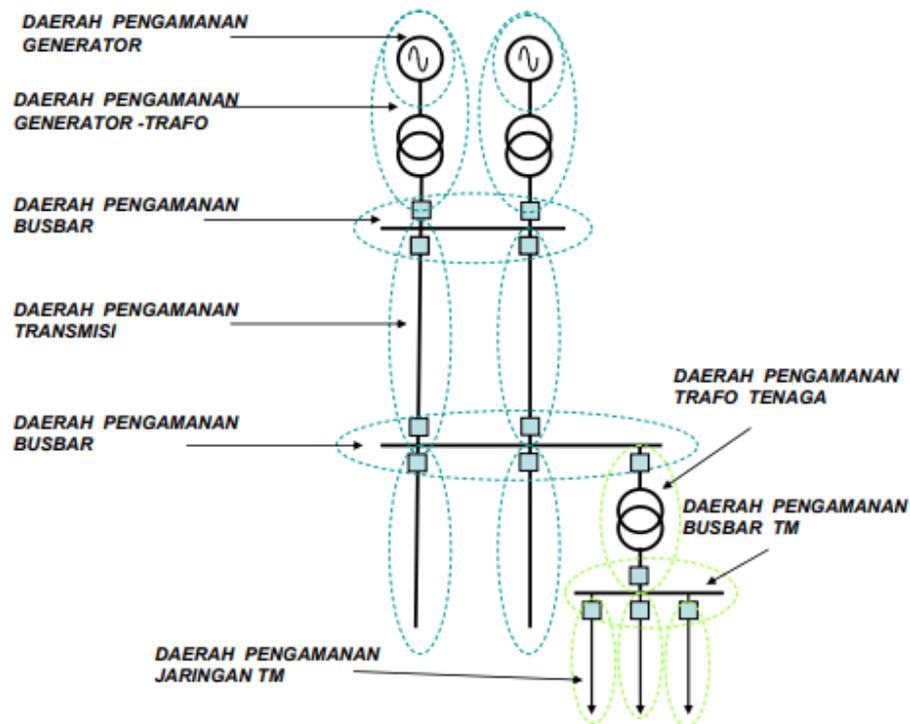


Gambar 2.1 Komponen Utama Relai Proteksi

2.1.1 Persyaratan Sistem Proteksi

Agar bisa memberikan manfaat yang maksimum, sesuai yang telah dibahas di depan, suatu sistem proteksi harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Sensitif. Sistem harus bisa mendeteksi gangguan terkecil Sensitif. yang ada pada kawasan pengamanannya. Dengan sistem proteksi yang sensitif maka seluruh gangguan yang ada pada kawasan pengamanannya akan dilihat dan direspons. Kawasan pengamanan adalah bagian dari sistem tenaga listrik dimana bila disitu ada gangguan, maka sistem proteksi yang terkait harus bekerja. Gambar 2.2 merupakan contoh kawasan pengamanan.



Gambar 2.2 Kawasan Pengaman

2. Selektif. Suatu sistem proteksi dikatakan selektif apabila b Selektif. S isa memilih daerah yang terganggu saja yang dipisahkan. Pada prinsipnya sistem proteksi hanya boleh bekerja bila ada gangguan pada kawasan pengamanannya. Bila gangguan terletak pada kawasan pengamanannya utama maka proteksi harus bekerja cepat. Bila gangguan terjadi diluar kawasan pengamanannya maka sistem proteksi tidak boleh bekerja.

3. Cepat. Untuk mencapai manfaat yang maksimum (yang telah dibahas didepan), sistem proteksi harus bekerja cepat dalam memisahkan gangguan. Apabila pemisahan daerah yang terganggu tidak dilaksanakan dengan cepat maka kerusakan peralatan akan berlanjut. Untuk proteksi cadangan biasanya diberi tunda waktu untuk memberi kesempatan proteksi utama bekerja terlebih dulu, namun tunda waktu ini hanya seperlunya saja dan tidak boleh berlebihan. Kecepatan proteksi memisahkan bagian yang terganggu dikenal sebagai 'Clearing Time'. Clearing time merupakan penjumlahan seluruh waktu kerja peralatan proteksi mulai dari relai, relai bantu dan PMT. Menurut standar PLN (SPLN 52-1)



clearing time untuk sistem 150 kV maksimum adalah 120 ms, sedangkan untuk sistem 70 kV maksimum 150 ms.

4. Andal. Sistem proteksi harus setiap saat siap melaksanakan Andal. fungsinya dan tidak salah kerja. Keandalan pada prinsipnya mempunyai tiga aspek:

- a. Dependability, yaitu tingkat kepastian bekerjanya. Proteksi yang mempunyai dependability tinggi dapat dipastikan selalu bekerja apabila kondisi mengharuskan bekerja.
- b. Security, yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Proteksi yang mempunyai security tinggi menjamin untuk tidak salah kerja.
- c. Availability, yaitu kesiapan beroperasinya. Angka availability menunjukkan perbandingan antara waktu dimana proteksi dalam keadaan siap dengan waktu total terpasangnya.

Salah satu contoh dalam mewujudkan keandalan sistem proteksi antara lain dengan membuat sistem ganda, yaitu dua unit proteksi yang dipasang untuk mengamankan satu kawasan. Proteksi ini hanya dipasang pada sistem tenaga yang memerlukan proteksi yang sangat andal, misal sistem 500 kV. Contoh lain adalah penerapan proteksi dengan pola utama-10 cadangan, dimana apabila proteksi utama gagal bekerja masih ada proteksi cadangan meskipun dengan waktu kerja yang lebih tinggi. [5]

2.2 Perangkat Sistem Proteksi

Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :

1. Trafo arus dan/atau trafo tegangan sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke Rele (besaran listrik sekunder)



Gambar 2.3 Trafo arus

2. Rele, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya member perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT).



Gambar 2.4 Relay

3. Pemutus Tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.



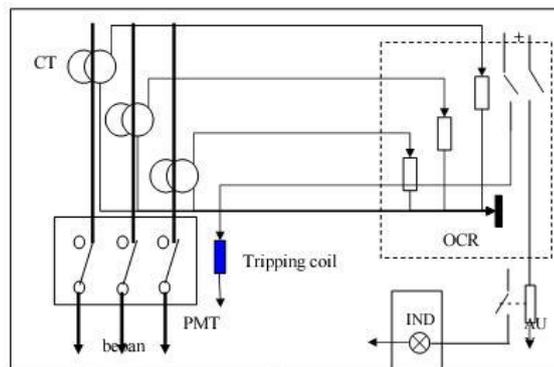
Gambar 2.5 PMT Tegangan Tinggi

4. Baterai beserta alat pengisi (*bateray charger*) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya rele, peralatan bantu tripping.



Gambar 2.6 Baterai

5. Pengawatan (wiring) yang terdiri dari sirkuit sekunder (arus dan/atau tegangan), sirkuit tripping dan sirkuit peralatan bantu.



Gambar 2.7 Contoh pengawatan relai proteksi

2.2.1 Current Transformator

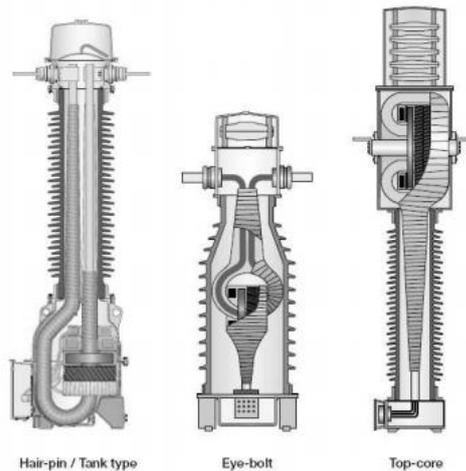
Current Transformator/Trafo arus berfungsi untuk mendeteksi arus yang mengalir pada sistem tenaga kemudian mentransfer ke arus yang cukup kecil sehingga bisa dipakai sebagai masukan Relai atau alat ukur. Dengan adanya trafo arus maka gangguan arus lebih dapat dideteksi. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan trafo arus : [5]

1. Ratio, adalah perbandingan antara arus primer dengan arus sekunder. Ratio CT dinyatakan 1000/5 artinya bila sisi primer mengalir arus 1000 amper maka sisi sekunder mengalir arus 5 amper. Sisi sekunder trafo arus sudah tertentu yaitu 1 amper atau 5 amper. [5]

2. Klas ketelitian, adalah ukuran kesalahan. Klas ketelitian CT pengukuran berbeda dengan CT proteksi. Klas CT proteksi ditulis 5P20 artinya ketika CT dialiri arus sebesar 20 kali nominal, kesalahannya maksimum 5%. [5]

3. Kejenuhan. CT proteksi bekerja pada arus yang sangat besar karena harus mampu mendeteksi arus gangguanyang besarnya bisa 20 kali arus 4 nominalnya atau lebih. Dalam keadaan seperti ini, CT tidak boleh jenuh karena kalau jenuh maka arus sekunder menjadi kecil sekali. CT pengukuran dibuat cepat jenuh karena arus yang diukur besarnya hanya sekitar arus nominalnya saja. [5]

4. Burden, menyatakan kemampuan CT pada beban nominal dalam volt ampere (VA), perlu diperhatikan pada CT pengukuran. Burden 50 VA dengan arus sekunder 5 ampere, maka tegangan maksimum 50/5 atau 10 volt, jadi peralatan yang terangkai dengan CT mempunyai impedansi maksimum 10/5 atau 2 ohm. [5]



Gambar 2.8 Konstruksi CT

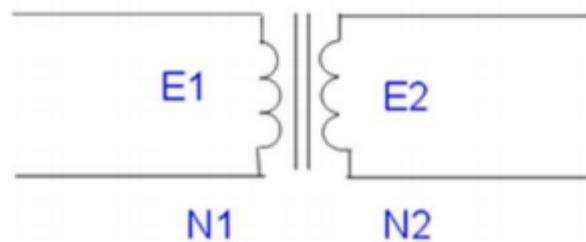
Dalam praktek kita dapatkan dua jenis transformator arus. Peralatan-peralatan daya tertentu adalah dari jenis tangki-mati (dead-tank), yaitu yang mempunyai suatu tangki logam yang ditanahkan, di dalamnya berisi peralatan daya dalam suatu bahan isolasi (biasanya minyak). Contoh-contohnya adalah transformator-transformator daya, reaktor, tor-reaktor, dan pemutus-pemutus-arus minyak. Jenis peralatan semacam itu mempunyai suatu sarung (bushing) dari mana dikeluarkan suatu terminal dari peralatan daya tersebut. Transformator-transformator arus dibuat di dalam sarung ini dan dikenal sebagai CT-sarung (bushing CT). Bila sistem tangki-mati semacam itu tidak tersedia, misalnya pada suatu stasiun

switching EHV (extra high voltage) di mana digunakan pemutus-pemutus rangkaian tangki-bertegangan (live-tank), dipakai transformator arus yang berdiri-bebas. [6]

Transformator arus mempunyai kesalahan perbandingan yang pada beberapa jenis dapat dihitung dan pada jenis-jenis yang lain harus ditentukan dengan pengujian. Kesalahan ini dapat menjadi cukup tinggi jika muatan impedansinya terlalu besar, tetapi dengan pemilihan transformator arus yang tepat terhadap muatannya, kesalahan tersebut dapat dipertahankan pada suatu nilai yang dapat diterima. Karena kita terutama berkepentingan dengan metoda-metoda perlindungan, kita tidak akan membicarakan kesalahan-kesalahan transformator arus lebih lanjut, tetapi kita harus selalu sadar akan hal ini dalam pembahasan kita tentang rele-rele. [6]

2.2.2 Current Voltage Transformator

Trafo Tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur/meter dan relai. [2]



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Trafo Tegangan

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Dimana:

a; perbandingan /rasio transformasi

$N_1 > N_2$

N_1 = Jumlah belitan primer

N_2 = Jumlah belitan sekunder

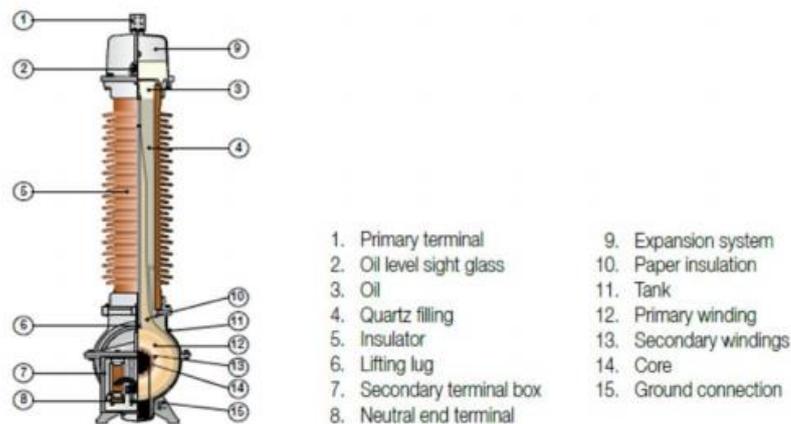
E_1 = Tegangan primer

E_2 = Tegangan sekunder

Pentanahan rangkaian sekunder diperlukan untuk mencegah adanya beda potensial yang besar antara kumparan primer dan sekunder (antara titik a dan b) pada saat isolasi kumparan primer rusak. [7]

Fungsi dari trafo tegangan yaitu:

- Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.
- Sebagai standarisasi besaran tegangan sekunder (100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ dan 110 volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
- Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (0,1; 0,2; 0,5;1;3). [2]



Gambar 2.10 Bagian – Bagian Trafo Tegangan

Trafo tegangan dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- Trafo tegangan magnetik (Magnetik Voltage Transformer / VT) Disebut juga Trafo tegangan induktif. Terdiri dari belitan primer dan sekunder pada inti besi yang prinsip kerjanya belitan primer menginduksikan tegangan kebelitan sekundernya.
- Trafo tegangan kapasitif (Capacitive Voltage Transformer / CVT) Trafo tegangan ini terdiri dari dua bagian yaitu Capacitive Voltage Divider



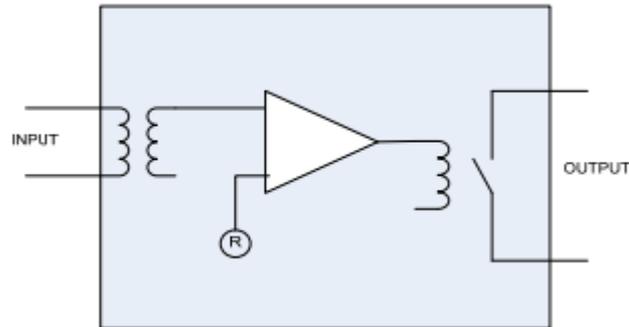
(CVD) dan inductive Intermediate Voltage Transformer (IVT). CVD merupakan rangkaian seri 2 (dua) kapasitor atau lebih yang berfungsi sebagai pembagi tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah pada primer, selanjutnya tegangan pada satu kapasitor ditransformasikan oleh IVT menjadi tegangan sekunder. [2]

2.2.3 Relay

Tugas suatu rele ialah membedakan antara suatu gangguan di dalam daerah perlindungannya dan semua keadaan-keadaan sistem yang lain. Rele-rele itu harus bertindak, yaitu memberikan daya pada kumparan pemutus (trip coil) dari pemutus-pemutus rangkaian yang berhubungan dengannya, secara pasti dan mantap untuk gangguan-gangguan di dalam daerah perlindungannya, dan menyediakan pengamanan terhadap pemutusan yang keliru untuk gangguan-gangguan yang terjadi di luar daerah tersebut.

Suatu rele dapat dibuat mantap dan aman dengan merancang ke dalamnya suatu kemampuan membuat-keputusan yang logis (logical = sesuai dengan jalan pikiran yang lurus) sedemikian sehingga berdasarkan keadaan sinyal-sinyal masukannya, rele tersebut mampu menghasilkan keluaran yang benar untuk setiap kemungkinan keadaan sinyal-sinyal masukannya. Sekarang akan kita bahas beberapa kelas dari rele-rele tersebut dan gambaran tentang fungsi-fungsi logisnya. Meskipun pada sistem-sistem daya didapatkan beraneka ragam rele, kebanyakan dari rele-rele tersebut dapat dikelompokkan ke dalam lima katagori.

Perilaku logisnya dapat didefinisikan dari masukan-masukan dan keluaran-keluaran rele tersebut dengan tidak tergantung pada perangkat keras (hardware) yang digunakan dalam penyusunan rele-rele itu. Untuk setiap jenis rele, akan kita tentukan keadaan-keadaan pada sinyal masukannya (biasanya tegangan-tegangan dan arus-arus) dan keadaan keluaran rele yang bersesuaian. Keluaran rele yang perlu diperhatikan dalam konteks yang sekarang ini adalah masukan untuk kumparan pemutus dari pemutus rangkaiannya. Karena itu, dengan kontak-kontaknya tertutup keadaan keluaran rele akan dinamakan trip, dan dengan kontak-kontak yang terbuka keadaannya disebut *ditahan* atau *ditahan untuk trip* (*block* atau *block to trip*) [6]



Gambar 2.11 Blok diagram relai

2.2.3.1 OCR/GFR

OCR/GFR adalah relai arus lebih yang digunakan sebagai proteksi cadangan lokal pada proteksi penghantar. OCR digunakan untuk mengamankan penghantar dari gangguan fasa-fasa dan GFR digunakan untuk mengamankan penghantar dari gangguan fasa - tanah. [4]

Rele-rele ini memberikan reaksi terhadap besarnya arus masukan, dan bekerja untuk memutuskan (trip) bilamana besarnya arus melebihi suatu nilai tertentu yang dapat diatur. Jika suayu nilai $|I_p|$ yang dinyatakan menurut gulungan sekunder CT dapat diperoleh dari studi-studi hubung singkat sistem sedemikian sehingga untuk semua gangguan di dalam daerah perlindungan suatu rele, besarnya arus gangguan $|I_f|$ yang juga dinyatakan mepurut gulungan sekunder akan lebih besar daripada $|I_p|$, maka gambaran fungsi yang berikut ini akan memberikan suatu rele-rele yang mantap dan aman:

$$|I_f| > |I_p| \text{ bekerja}$$

$$|I_f| < |I_p| \text{ ditahan}$$

Ketidaksamaan yang dinyatakan oleh gambaran diatas merupakan gambaran yang logis dari suatu rele arus-lebih. Besarnya arus $|I_p|$ dikenal sebagai nilai pickup dari rele itu (nilai pickup - daya tarik/angkat).

Phasor arus gangguan I_f digambarkan dalam bidang kompleks dengan suatu phasor sembarang yang dianggap sebagai pedoman. Sudut fasa arus gangguan dapat bernilai di antara 0 dan 360 derajat, karena phasor pedomannya adalah sembarang. Suatu lingkaran yang digambar dengan titik asal sebagai pusat dan besarnya arus

angkat $|I_p|$ sebagai jari-jarinya akan membagi bidang fasor kompleks ke dalam dua daerah yang ditandai dengan trip dan block

Setiap arus gangguan yang wakil fasornya terletak di luar lingkaran ini dalam daerah yang diarsir akan menyebabkan rele itu "trip." Phasor-phasor yang mewakili arus gangguan yang besarnya kurang dari $|I_p|$ akan berada di dalam lingkaran, dan akan mengakibatkan suatu keputusan "block" oleh rele tersebut. Diagram-diagram semacam ini sangat berguna untuk memahami karakteristik rele-rele dan banyak sekali digunakan dalam buku-buku tentang rele. [6]

Seperti akan ditunjukkan kemudian, bentuk yang sangat sederhana dari suatu rele arus-lebih ini ternyata belum cukup memadai dalam banyak hal. Masih diperlukan suatu parameter lain — yaitu waktu yang diperlukan oleh rele untuk bekerja setelah $|I_f|$ Melebihi $|I_p|$ Kita dapat menambah keadaan-keadaan dengan persamaan.



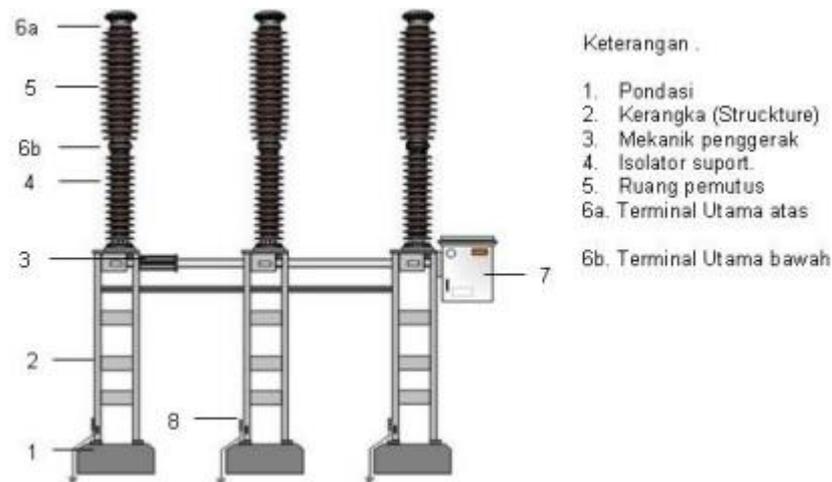
Gambar 2.12 Over Current Relay

2.2.4 Pemutus Tenaga (PMT)

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (short circuit). [3]

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatann lain. [3]

PMT harus mempunyai kemampuan memutus arus yang sangat besar, yaitu sampai dengan 40 kiloamper atau bahkan lebih. Disamping itu PMT juga harus bisa bekerja dengan cepat (sekitar 20 – 60 mili detik) agar pemutusan rangkaian yang terganggu tidak terlambat. Dalam hal terjadi gangguan yang mengakibatkan relai bekerja, maka relai menyambungkan tripping coil dari PMT ke suplai dc sehingga tripping coil bekerja. Bekerjanya tripping coil membuat mekanik PMT bekerja menggerakkan kontak PMT sehingga membuka (trip). [5]



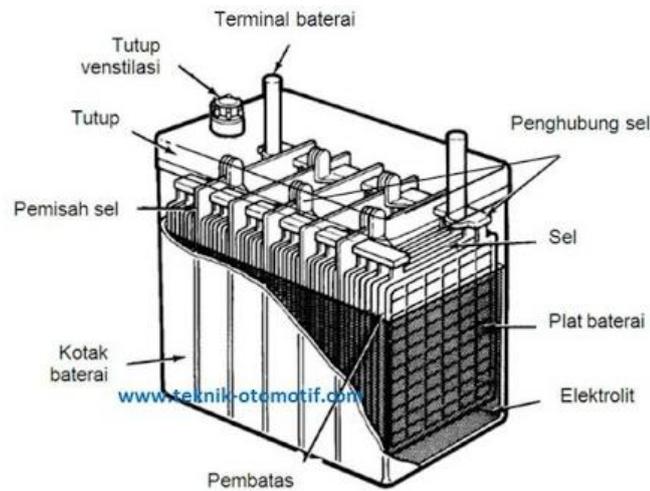
Gambar 2.13 Bagian-Bagian PMT

2.2.5 Baterai

Baterai atau *akumulator* adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan efesiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversible adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (Proses Pengisian), pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan didalam sel. [1]

Sumber arus searah (DC source). Berupa baterai yang berfungsi untuk memberi suplai kepada relai dan rangkaian kontrol / proteksi. Batere harus

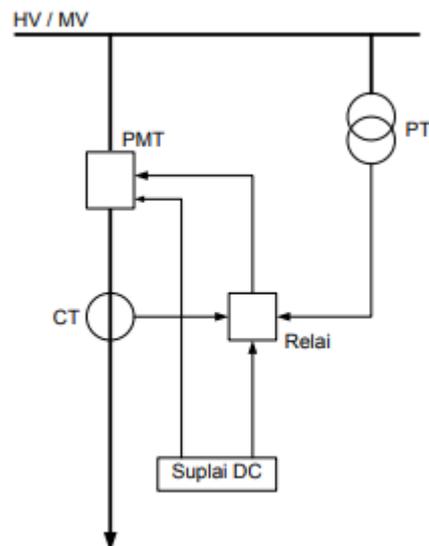
mempunyai tegangan yang cukup untuk menghidupkan relai dan peralatan lainnya seperti tripping coil, relai bantu dan lain lain. Batere juga harus mempunyai kapasitas ampere-hour (Ah) yang cukup sehingga dalam hal tidak ada suplai dari rectifier, batere masih mampu bekerja beberapa saat. [5]



Gambar 2.14 Konstruksi Baterai

2.2.6. Pengawatan (Wiring).

Keseluruhan peralatan proteksi tersebut diatas harus dirangkai sehingga merupakan suatu sistem yang disebut Fault Clearing System (FCS). [5]



Gambar 2.15 Fault Clearing System



2.3 Karakteristik Relai Arus Lebih

Karakteristik OCR memberikan hubungan antara arus input dengan waktu kerja relai. Berdasarkan karakteristiknya, relai arus lebih diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Relai arus lebih seketika.
2. Relai arus lebih dengan tunda waktu.

Selanjutnya relai arus lebih dengan tunda waktu dibedakan menjadi :

1. Relai arus lebih tunda waktu definite
2. Relai arus lebih tunda waktu invers

Relai Arus Lebih Seketika (disebut juga instant atau moment) mempunyai waktu kerja (mulai kerja sampai selesainya kerja) sangat cepat / waktunya pendek (20–100 milli detik), sedangkan untuk Relai Arus Lebih dengan tunda waktu (time delayed), jangka waktu relai mulai pick-up sampai selesai kerja diperpanjang dengan nilai waktu tertentu. [5]

2.3.1 Relai Arus Lebih Inverse

Jangka waktu relai mulai pick-up sampai selesai kerja relai diperpanjang dengan nilai waktu yang tergantung dari besarnya arus inputnya. Semakin besar arus yang lewat rele, maka semakin cepat rele bekerja, dan sebaliknya. Karakteristik OCR Inverse ada 4 macam:

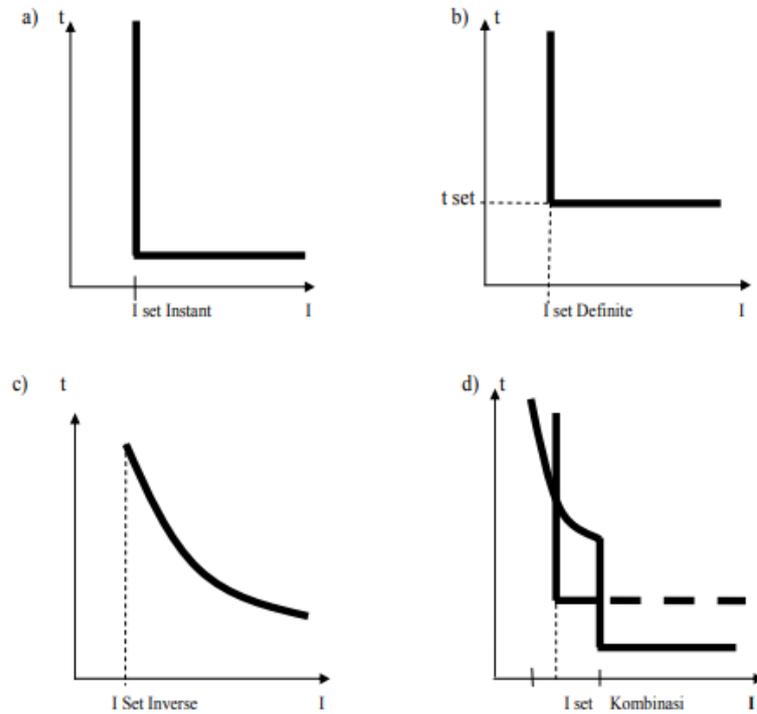
1. Normal Inverse
2. Very Inverse
3. Extremelly Inverse
4. Long Time Inverse

2.3.2 Relai Arus Lebih Definite

Jangka waktu relai mulai pick-up sampai selesai kerja diperpanjang dengan nilai waktu tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus inputnya.

2.3.3 Kombinasi invers - definite

Jangka waktu kerja relai merupakan kombinasi dari Inverse dan definite. Rele mulai pick-up sampai selesai diperpanjang dengan nilai waktu tertentu dan tergantung dari besarnya arus yang menggerakkannya, dan pada nilai arus tertentu rele harus kerja dengan definite time.

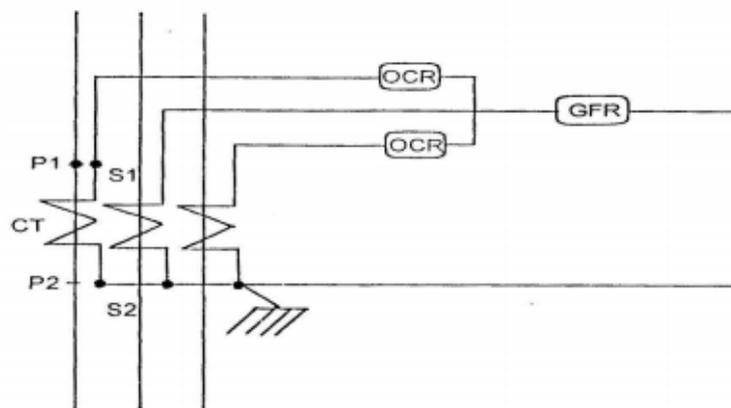


Gambar 2.16 Karakteristik Relai Arus Lebih :

a. instant, b.definite, c.invers, d kombinasi

2.3.4. Sambungan relai arus lebih

Pada penyulang TM, relai arus lebih untuk pengaman gangguan antar fasa pada umumnya dipasang pada fasa R dan T (gambar 2.9), namun bisa juga dipasang pada ketiga fasa (R,S dan T). Untuk pengaman gangguan fase-tanah dipasang satu relai setiap penyulang yaitu pada titik bintang CT dan biasa disebut sebagai Ground Fault Relay (GFR). [5]



Gambar 2.17 Pemasangan OCR dan GFR



2.3.5. Relai Arus Lebih Berarah (Directional Over Current Relay)

Adalah relai arus lebih yang bekerja hanya bila terjadi gangguan pada lokasi / arah didepannya. Relai ini mempunyai dua elemen :

1. Elemen arah (directional element , directional unit), berfungsi untuk menentukan arah kerja relai.
2. Elemen kerja (operation element over current unit) berfungsi untuk mendeteksi besaran arus gangguan .

Dalam menentukan arah relai ini bekerjanya menggunakan dua besaran listrik ,yaitu tegangan sebagai referensi dan arus sebagai besaran kerja (sudut fasanya tergantung pada lokasi gangguan).

Relai arus lebih berarah digunakan untuk pengamanan gangguan tanah pada sistem distribusi dengan pentanahan tahanan tinggi (pola I). [5]

2.4 Penyetelan Rele Arus Lebih OCR

2.4.1 Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Arus

Pada dasarnya penyetelan pengamanan arus lebih dilakukan penyetelan atas besaran arus dan waktu. Batasan dalam penyetelan arus yang harus diperhatikan adalah Batas penyetelan minimum arus kerja yang tidak boleh bekerja pada saat arus beban maksimum.

Secara umum Batasan dalam penyetelan arus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_{\max} < I_s < I_{sc \min} \quad (2.1)$$

Dimana :

I_s = Nilai setting arus (ampere)

I_{\max} = Arus beban maksimum yang diizinkan untuk alat yang diamankan, pada umumnya diambil arus nominalnya/ I_n . (ampere)

$I_{sc \min}$ = Arus hubung singkat minimum. (ampere) [8]

Sedangkan untuk setelan arus dari rele arus lebih dihitung berdasarkan arus beban, yang mengalir di penyulang atau incoming feeder, penjelasannya seperti dibawah ini:



1. Rele arus lebih yang terpasang di penyulang outgoing, dihitung berdasarkan arus beban maksimum (beban puncak) yang mengalir di penyulang tersebut.
2. Rele arus lebih yang terpasang di penyulang incoming, dihitung berdasarkan arus nominal trafo tenaga.

Arus setelan primer pada rele arus lebih pada OCR Sesuai british standard untuk

- Rele Inverse biasa diset sebesar 1,05 s/d 1,3 x I_{beban}
- Rele Definite biasa diset sebesar 1,2 s/d 1,3 x I_{beban}

Untuk arus setting pada rele menggunakan perhitungan

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,05 \times I_{\text{beban}} \quad (2.2)$$

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (pri)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$I_{\text{set (sek)}}$ = nilai setting arus sekunder rele (Ampere)

$I_{\text{set (pri)}}$ = nilai setting arus primer rele (Ampere)[8]

2.4.2 Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Waktu

Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif maka penyetelan waktunya dibuat bertingkat agar bila ada gangguan arus lebih di beberapa seksi rele arus akan bekerja.

Cara penyetelan waktu :

- a. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*)

Untuk rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh besarnya arus.

- b. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*)

Untuk rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik, grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana makin besar arus makin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka PMT.

Setelan waktu kerja standar inverse didapat dengan menggunakan kurva waktu dan arus.

Secara matematis untuk setting Over Current Rele (OCR) penyulang dapat ditentukan dengan persamaan :



$$tms = \frac{t_{set} \times \left(\frac{I_{fault}}{I_{set\ primer}} \right)^{\alpha} - 1}{\beta} \quad (2.4)$$

Untuk t = waktu diambil 0,3 detik sebagai permulaan setting. [8]

Setting rele OCR di Incoming Feeder

$$tms = \frac{\Delta t + t_{outg} \times \left(\frac{I_{f\ 3\ fasa}}{I_{set\ primer}} \right)^{\alpha} - 1}{\beta} \quad (2.5)$$

$$t = \frac{tms \times \beta}{\left(\frac{I_{f\ 3\ fasa}}{I_{set\ primer}} \right)^{\alpha} - 1} \quad (2.6)$$

Dimana :

- t = waktu trip rele (detik)
- tms = factor pengali terhadap waktu (Time Multiplier Setting)
- I_{fault} = Arus gangguan (Ampere)
- Iset = Arus setting (Ampere)
- t_{set} = Waktu setting (detik)
- α = 0,02 konstanta
- β = 0,14 konstanta
- Δt = waktu tunda antara rele di incoming dan outgoing diambil 0,4 detik dan $t_{outgoing}$ 0,3 detik.

Tabel 2.1 Tabel karakteristik Inverse

Karakteristik	α	β
Standard Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1.0	13.5
Extremely Inverse	2.0	80.0
Long Time Inverse	1.0	120.0



Tms (Time Multiplier Setting) merupakan pengali waktu untuk penyetelan rele arus lebih (OCR) satuannya bukan detik namun satuannya berdasarkan setelan inverse. Persyaratan lain yang harus dipenuhi Penyetelan waktu minimum untuk Rele arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0,3 detik, pertimbangan ini diambil agar rele tidak sampai trip lagi, akibat arus inrush current dari transformator distribusi yang tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang dioperasikan. yang terpenting adalah menentukan beda waktu (Δ) antara dua tingkat pengaman agar pengamanan selektif atau pola waktu bertingkat (cascading).

2.5 Electrical Transient Analysis Program

PowerStation adalah software untuk power system yang bekerja berdasarkan plant (project). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat - alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya generator, data motor, data kabel dll. Sebuah plant terdiri dari subsistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam PowerStation, setiap plant harus menyediakan data base untuk keperluan itu.

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), motor starting, harmonisa, transient stability, protective device coordination, dan cable derating.

ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

1. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah : One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.

3. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai
4. Study Case, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa



Gambar 2.18 ETAP 12.6