



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik sangat berguna baik dalam pemenuhan kebutuhan rumah tangga ataupun kebutuhan dunia industri. Kebutuhan listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk. Maka dibangunlah pembangkit-pembangkit energi listrik sehingga terpenuhi kebutuhan listrik dalam negeri. Tentu saja pembangkit listrik mempunyai peran yang sangat besar pada semua sektor kehidupan masyarakat sehingga keberadaannya menjadi sangat penting.

Salah satu komponen yang sangat penting peranannya dalam sistem pembangkit listrik adalah generator. Generator merupakan mesin pembangkit tenaga listrik, pembangkitan diperoleh dengan menerima tenaga mekanis dan diubahnya menjadi tenaga listrik. Adanya gangguan pada generator dapat mengganggu operasi dari sistem pembangkit tenaga listrik. Oleh sebab itu, dalam suatu generator pada pusat pembangkit tentu dilengkapi dengan alat proteksi yang dapat melindungi generator supaya bisa terhindar dari gangguan yang tidak diinginkan. Salah satunya adalah dengan menggunakan Relay Tegangan Lebih (*Over Voltage Relay*). Relay tegangan lebih adalah relay yang bekerja berdasarkan kenaikan tegangan yang mencapai atau melebihi nilai settingnya.

Oleh sebab itu, penulis tertarik untuk mengangkat judul “**PROTEKSI TEGANGAN LEBIH PADA GENERATOR MENGGUNAKAN OVER VOLTAGE RELAY**” sebagai laporan akhir, sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Diploma III di Politeknik Negeri Sriwijaya.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada laporan ini meliputi pembahasan sebagai berikut :

1. Apa saja gangguan yang terjadi pada generator sinkron ?



2. Bagaimana cara kerja *Over Voltage Relay* ?
3. Bagaimana nilai tegangan pada generator pada saat tanpa beban dan berbeban?
4. Bagaimana nilai regulasi tegangan yang dibangkitkan generator?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan penulisan laporan akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui gangguan yang terjadi pada generator.
2. Untuk mengetahui cara kerja *Over Voltage Relay*.
3. Untuk mengetahui nilai tegangan pada generator pada saat tanpa beban dan berbeban.
4. Untuk mengetahui nilai regulasi tegangan generator turbin gas di JOB Pertamina-Talisman Jambi Merang.

1.3.2 Manfaat

Adapun manfaat laporan akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu mengatasi gangguan yang terjadi pada generator.
2. Mampu memahami cara kerja *Over Voltage Relay*.
3. Mampu mengetahui nilai tegangan pada generator dengan cara menghitung menggunakan rumus yang ditentukan.
4. Mengetahui pengaruh AVR dalam regulasi atau pengaturan tegangan pada generator saat operasi

1.4 Batasan Masalah

Pada laporan akhir ini penulis telah membatasi ruang lingkup pembahasan agar isi dan pembahasan menjadi terarah dan dapat mencapai hasil yang diharapkan. Adapun batasan masalahnya yaitu mengenai sistem proteksi tegangan lebih dengan menggunakan *Over Voltage Relay*. Penulis menitik beratkan bahasan pada tegangan yang dibangkitkan generator dan nilai regulasi tegangannya.



1.5 Metode Penulisan

Adapun metode – metode yang digunakan dalam penyusunan laporan akhir ini adalah :

1. Metode Observasi

Pada metode ini penulis melakukan pengamatan langsung ke JOB Pertamina Talisman Jambi Merang.

2. Metode Wawancara

Pada metode ini penulis melakukan diskusi tentang topik yang dibahas pada laporan akhir ini dengan dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II, instruktur atau teknisi di laboratorium Teknik Listrik, dosen pengajar, dan teman-teman sesama mahasiswa.

3. Metode Dokumentasi

Pada metode ini penulis melakukan pengambilan gambar objek bahasan laporan akhir sebagai kelengkapan data mengenai penulisan laporan akhir.

4. Metode Referensi

Pada metode ini penulis mengumpulkan data dari berbagai buku-buku referensi mengenai bahasan laporan akhir ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun tujuan dari sistematika penulisan adalah untuk memberikan pengarahan secara jelas dari permasalahan laporan akhir dan juga merupakan garis besar pembahasan dari setiap bab, dimana masing-masing bab terdapat uraian-uraian sebagai berikut :



BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan mengenai latar belakang masalah dari penulisan laporan akhir, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang landasan mengenai teori-teori pendukung untuk bab-bab selanjutnya.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang data generator dan data *exciter* dan data *Gas Turbin Engine* serta informasi yang didapatkan di lapangan bersangkutan dengan bahasan laporan akhir.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang pembahasan laporan akhir ini dan hasil analisa dari data yang telah diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil yang telah dilakukan sesuai dengan masalah yang dibahas dalam penyusunan laporan akhir.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Generator ialah mesin pembangkit tenaga listrik, pembangkitan diperoleh dengan menerima tenaga mekanis dan diubah menjadi tenaga listrik, tenaga mekanis untuk generator kecil misalnya untuk pemakaian di bengkel kecil atau sekolah, umumnya digunakan mesin diesel, diesel dan generator ini biasanya dipasang menjadi satu unit. Unit ini biasa disebut dengan generator set. Generator set pada umumnya menghasilkan listrik arus tukar satu atau tiga fasa. (Daryanto, 2006 : 90)

Adapun jenis gangguan dan masalah-masalah yang terdapat pada generator-generator antara lain sebagai berikut :

1. Gangguan Internal

- a. Gangguan fasa atau gangguan tanah pada kumparan stator dan komponen jaringan lain terkait.
- b. Gangguan tanah pada kumparan rotor generator dan hilangnya sumber penguatan.

2. Sistem gangguan dan kendala operasi

- a. Kehilangan sumber penggerak primer (*prime-mover*), dimana generator bisa berubah menjadi motor.
- b. Penguatan berlebihan atau *over* eksitasi ditanggulangi dengan relay proteksi tegangan (*Volt*) atau *Hertz*.
- c. Kesalahan operasi seperti pemasukan generator ke jaringan secara tidak sinkron.
- d. Arus *unbalance* seperti mengalirnya arus urutan negatif, karena salah satu kutub PMT mengalami *flash-over*. Prinsip kerja relay yang digunakan untuk memantau kerusakan PMT generator sama seperti pada transmisi. Pada prinsipnya yang dilakukan adalah memantau besaran-besaran arus yang



mengalir pada masing-masing fasa dan membandingkannya satu sama lain. Kalau terjadi perbedaan maka bisa dianggap salah satu fasa PMT dalam keadaan rusak.

- e. Generator bebahan lebih sehingga mengalami panas berlebihan.
- f. Relay frekuensi pada sistem PLTU besar.
- g. Gangguan yang tidak tertanggulangi ditangani dengan relay impedansi dan relay arus lebih yang kerjanya dikendalikan oleh tegangan (*voltage controlled time over current*).
- h. Relay tegangan lebih.
- i. Kehilangan sinkronisasi atau *out of step*.
- j. Ayunan (osilasi) sub-sinkronisasi. Gangguan ini pada umumnya bisa timbul akibat pengaruh luar seperti pengaruh impedansi reaktor yang dihubung seri dengan transmisi yang dapat memengaruhi frekuensi dasar sistem pembangkit. Bila terjadi secara signifikan maka torsi mekanis yang timbul karena ayunan sub-sinkronisasi ini dapat merusak poros generator.
- k. Kehilangan output trafo tegangan atau regulator yang dapat menyebabkan gangguan terhadap sistem kontrol dan yang bisa diinterpretasikan salah oleh relay proteksi. (Pandjaitan, 2012 : 356-357)

Gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari secara sempurna, akan tetapi yang dapat dilakukan adalah dengan cara mengurangi gangguan tersebut yaitu dengan jalan membatasi daerah gangguan sekecil mungkin, oleh karena itu diperlukan suatu sistem proteksi.

2.2 Sistem Proteksi

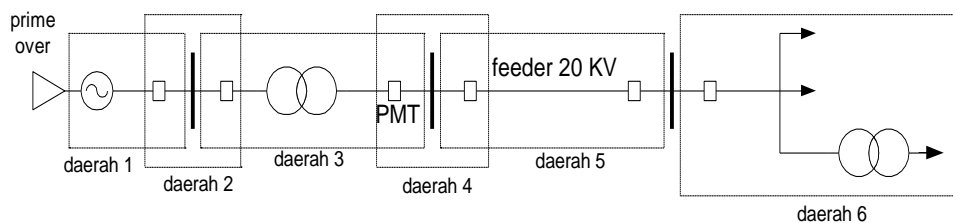
Sistem merupakan beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama dengan tujuan tertentu. Sedangkan proteksi adalah pengamanan. Jadi, sistem proteksi merupakan beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk tujuan pengamanan.

2.2.1 Pembagian Daerah Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik dibagi ke dalam seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT. Tiap seksi memiliki relai pengaman dan memiliki daerah pengamanan



(*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka relay akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan trip. Gambar 2.1 berikut ini dapat menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi.



Gambar 2.1 Pembagian Daerah Proteksi Pada Sistem Tenaga

Pada gambar 2.1 di atas dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan. Batas setiap daerah menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah terjadinya pemadaman.

2.2.2 Pengelompokan Sistem Proteksi

Berdasarkan daerah pengamanannya sistem proteksi dibedakan menjadi :

1. Proteksi pada Generator
2. Proteksi pada Transformator
3. Proteksi pada Transmisi
4. Proteksi pada Distribusi



2.2.3 Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

- a. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
- b. Proteksi pengganti, Berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
- c. Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

2.2.4 Komponen Peralatan Proteksi

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

1. Relay Proteksi
2. Pemutus tenaga (PMT) : Sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkuit yang terganggu.
3. Transformator ukur
 - a. Trafo Arus : Meneruskan arus ke sirkuit relay.
 - b. Trafo Tegangan : Meneruskan tegangan ke sirkuit relay

2.2.5 Relay Proteksi

Relay proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Relay pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas. Gambar 2.2 berikut menggambarkan diagram blok urutan kerja relay proteksi.



Gambar 2.2 Diagram Blok Urutan Kerja Relay Proteksi



Relay proteksi mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan. Ketiga elemen dasar tersebut dapat dijelaskan dijelaskan sebagai berikut :

a. Elemen perasa (*Sensing Element*)

Berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran arus, tegangan, frekuensi atau besaran lainnya yang akan diproteksi.

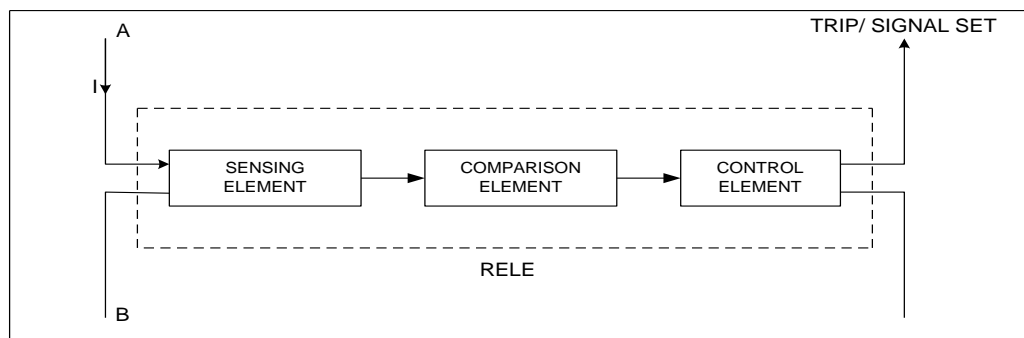
b. Elemen Pembanding (*Comparison Element*)

Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke relay pada saat ada gangguan dengan arus setting tersebut.

c. Elemen kontrol (*Control Element*)

Berfungsi mengadakan perubahan dengan tiba-tiba pada besaran kontrol dengan menutup arus operatif.

Ketiga elemen dasar relay proteksi di atas dapat dijelaskan oleh gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Diagram Blok Elemen Relay Proteksi

(Fajri, 2011 : 22-25)

Adapun relay-relay yang digunakan dalam sistem proteksi adalah :

2.2.5.1 Relay Proteksi Pada Generator

Terdapat beberapa macam relay yang umum digunakan sebagai pengaman listrik pada generator. Jenis relay yang umum digunakan pada sistem pengaman listrik generator yang memiliki rating daya output yang cukup besar adalah :



1. Relay Tegangan Lebih (*Over Voltage Relay*)

Pada generator yang besar umumnya menggunakan sistem pentanahan netral melalui transformator dengan tahanan di sisi sekunder. Sistem pentanahan ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai impedansi yang tinggi sehingga dapat membatasi arus hubung singkat agar tidak menimbulkan bahaya kerusakan pada belitan dan saat terjadi gangguan hubung singkat stator ke tanah.

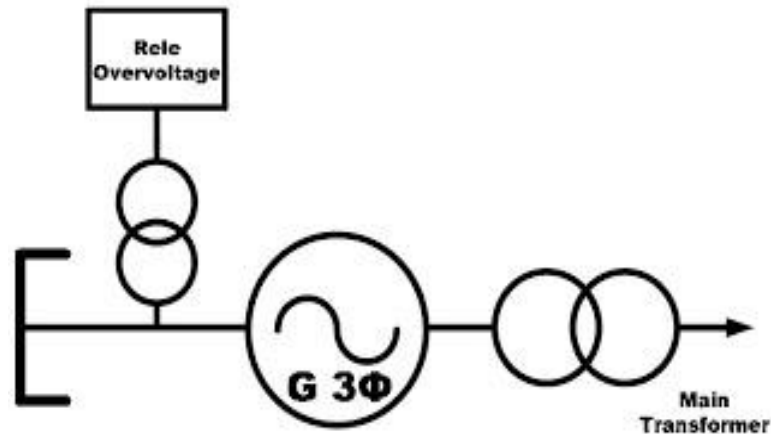
Arus hubung singkat yang terjadi di sekitar titik netral relatif kecil sehingga sulit untuk dideteksi oleh relay differensial. Dengan dipasang transformator tegangan, arus yang kecil tersebut akan mengalir dan menginduksikan tegangan pada sisi sekunder transformator. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan relay pendeteksi tegangan lebih yang dipasang pada sisi sekunder transformator tegangan.

Tegangan yang muncul pada sisi sekunder transformator tegangan akan membuat relay tegangan berada pada kondisi mendeteksi apabila perubahan tegangan melebihi nilai settingnya dan generator akan *trip*. Rangkaian ini sangat baik karena dapat membatasi aliran arus nol yang mengalir ke dalam generator ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah di sisi tegangan tinggi transformator tegangan.

Akan tetapi karena efek kapasitansi pada kedua belitan transformator dapat menyebabkan adanya arus bocor urutan nol yang dapat mengaktifkan relay tegangan lebih di sisi netral generator. Dengan demikian relay tegangan lebih yang dipasang harus mempunyai waktu tunda yang dapat dikoordinasikan dengan relay di luar generator. Adapun penyebab *over voltage* adalah sebagai berikut :

- a. Kegagalan AVR.
- b. Kesalahan operasi sistem eksitasi.
- c. Pelepasan beban saat eksitasi dikontrol secara manual.
- d. Pemisahan generator dari sistem saat *islanding*.

Adapun *single line diagram* relay gangguan tegangan lebih adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4 *Single Line Diagram* Relay Tegangan Lebih pada Generator
(Sumber : roubinpangaribuan.blogspot.co.id)

Pengaturan Tegangan Generator

Jika beban ditambahkan pada generator AC yang sedang bekerja pada kecepatan konstan dengan eksitasi medan konstan, tegangan terminal akan berubah. Besarnya perubahan akan bergantung pada rancangan mesin dan faktor daya beban.

Pengaturan generator AC didefinisikan sebagai persentase kenaikan tegangan terminal ketika beban dikurangi dari arus beban penuh terminal sampai nol, dimana kecepatan dan eksitasi medan dijaga konstan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengaturan generator adalah sebagai berikut :

- a. Penurunan tegangan IR pada lilitan jangkar
- b. Penurunan tegangan IXL pada lilitan jangkar
- c. Reaksi jangkar (pengaruh magnetisasi dari arus jangkar)¹

Untuk menghitung tegangan yang dibangkitkan generator perfasa maka dapat dilihat dari persamaan berikut :



$$E_o = \sqrt{(V_t \cdot \cos \theta + I_a \cdot R_a)^2 + (V_t \cdot \sin \theta + I_a \cdot X_s)^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

E_o = Tegangan yang dibangkitkan (volt)

V_t = Tegangan per fasa (Volt)

I_a = Arus nominal (A)

R_a = Tahanan dalam jangkar

X_s = Reaktansi⁵

dan menghitung tegangan yang dibangkitkan oleh generator adalah :

$$(E_o)_L = \sqrt{3} \times E_{o/ph} \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk mengatasi generator terhindar dari beban lebih, maka diperlukan pengaturan tegangan beban atau presentase regulasi tegangan. Adapun besar persentase regulasi tegangan maksimum yang diizinkan adalah 40% dan secara matematis ditulis:

$$1. \text{Regulasi Naik} = \frac{(V_t)_{tb} - (V_t)_{bp}}{(V_t)_{bp}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.3)$$

$$2. \text{Regulasi Turun} = \frac{(V_t)_{tb} - (V_t)_{bp}}{(V_t)_{tb}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana $(V_t)_{tb}$ adalah tegangan terminal atau tegangan output generator tanpa beban yang besarnya sama dengan ggl armatur (E_o) pada persamaan 2.1 sedangkan $(V_t)_{bp}$ adalah tegangan terminal beban penuh,

$$\text{dimana, } V_t = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.5)$$



2. Relay Gangguan Stator Hubung Tanah (*Stator Earth Fault Relay*)

Gangguan hubungan tanah adalah gangguan yang paling banyak terjadi. Arus gangguan hubung tanah yang terjadi belum tentu cukup besar untuk dapat mengoperasikan relay arus lebih. Oleh sebab itu, harus ada relay arus hubung tanah yang harus dapat mendeteksi arus urutan nol, karena setiap gangguan hubungan tanah menghasilkan arus urutan nol.

Relay gangguan tanah ini dipasang pada sirkuit stator seperti umumnya relay hubung tanah pada sirkuit 3 fasa yaitu dengan menjumlah melalui transformator arus ke 3 fasa yang ada. Jika tidak terdapat gangguan hubung tanah jumlah ini sama dengan 0, tapi jika terdapat gangguan hubung tanah maka jumlah ini tidak sama dengan 0 lalu relay akan bekerja.

Relay ini akan mendeteksi gangguan hubung tanah yang terjadi pada sirkuit yang terhubung dengan sirkuit stator dari generator. Untuk membatasi pendeteksian gangguan hubung tanah yang terjadi pada stator generator saja dipakai relay hubung tanah terbatas, dimana jumlah arus dari 3 fasa tersebut dijumlah lagi dengan arus yang dideteksi transformator arus pada konduktor pentanahan titik netral generator.

Relay hubung tanah terbatas sesungguhnya merupakan relay diferensial khusus yang dirangkai untuk mendeteksi gangguan stator hubung tanah.

3. Relay Daya Balik (*Reverse Power Relay*)

Relay daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya balik aktif yang masuk pada generator. Berubahnya aliran daya aktif pada arah generator akan membuat generator menjadi motor, dikenal sebagai peristiwa motoring. Pengaruh ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input daya dari *prime mover*. Bila daya input ini tidak dapat mengatasi rugi-rugi daya yang ada maka kekurangan daya dapat diperoleh dengan menyerap daya aktif dari jaringan. Selama penguatan masih ada maka aliran daya aktif generator sama halnya



dengan saat generator bekerja sebagai motor, sehingga daya aktif masuk ke generator dan daya reaktif dapat masuk atau keluar dari generator.

Peristiwa *motoring* ini dapat juga menimbulkan kerusakan lebih parah pada turbin ketika aliran uap berhenti. Temperatur sudu-sudu akan naik akibat rugi gesekan turbin dengan udara. Untuk itu di dalam turbin gas dan uap dilengkapi sensor aliran dan temperatur yang dapat memberikan pesan pada relay untuk *trip*. Akan tetapi pada generator juga dipasang relay daya balik yang berfungsi sebagai cadangan bila pengaman di turbin gagal bekerja.

4. Relay Gangguan Rotor Hubung Tanah (*Rotor Earth Fault Relay*)

Hubung tanah dalam sirkuit rotor, yaitu hubung singkat antara konduktor rotor dengan badan rotor dimana dapat menimbulkan distorsi medan magnet yang dihasilkan rotor dan selanjutnya dapat menimbulkan getaran (vibrasi) berlebihan dalam generator. Oleh karena itu, hal ini harus dihentikan oleh relay rotor hubung tanah. Karena sirkuit rotor adalah sirkuit arus searah, maka relay rotor hubung tanah pada prinsipnya merupakan relay arus lebih untuk arus searah.

5. Relay Fasa Urutan Negatif (*Negative Phase Sequence Relay*)

Arus yang tidak seimbang pada stator akan menimbulkan arus urutan negatif dalam stator. Arus urutan negatif ini akan menimbulkan medan magnet yang berlawanan arah terhadap rotor dan menghasilkan arus putar eddy. Pada permukaan rotor, arus pusar ini akan menimbulkan panas yang pada akhirnya dapat menyebabkan *over-heat*. Efek pemanasan yang ditimbulkan dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bagian-bagian rotor yang juga dapat menimbulkan getaran pada rotor. Karena material rotor memiliki batas temperatur yang dinyatakan dalam :

$$I_2 \cdot T = K \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana, I_2 = Arus urutan fasa

T = waktu

K = karakteristik kerja



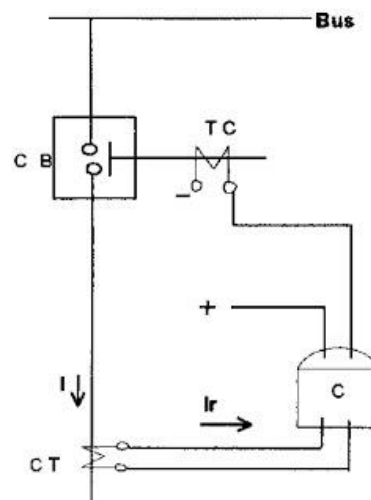
Rumus tersebut menunjukkan hubungan antara arus negatif dan batas waktu yang diijinkan mengalir pada generator. Relay arus urutan negatif berfungsi untuk mendeteksi dengan karakteristik invers. Hal ini dikarenakan setiap jenis mesin sinkron memiliki harga yang berbeda.

6. Relay Diferensial (*Differential Relay*)

Relay ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan dalam kumparan stator generator dan harus bekerja lebih cepat daripada relay arus lebih agar terdapat selektifitas. Prinsip kerja relay ini adalah membandingkan arus yang masuk dan keluar dari kumparan stator generator. Apabila terdapat selisih, berarti terdapat gangguan dalam kumparan stator generator. CT pertama dipasang pada bagian dekat pentanahan stator, sedangkan CT kedua dipasang pada bagian output stator. Selisih arus yang terdeteksi di antara kedua zona inilah yang mengoperasikan relay diferensial.

7. Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Relay ini berfungsi mendeteksi arus lebih yang mengalir dalam kumparan stator generator. Arus yang berlebihan dapat terjadi pada kumparan stator generator atau di dalam kumparan rotor. Arus yang berlebihan pada kumparan stator dapat terjadi karena pembebanan berlebihan terhadap generator. Adapun *single line diagram* relay arus lebih adalah sebagai berikut :





Gambar 2.5 *Single Line Diagram* Relay Arus Lebih

(Sumber : projects87.blogspot.co.id)

Keterangan : CB = Circuit Breaker
 TC = Trip Coil CB
 I = Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan
 CT = Transformator Arus
 I_r = Arus yang mengalir pada relay
 C = Relay arus lebih
 I_p = Arus pick-up dari relay

8. Relay Gangguan Frekuensi (*Frequency Fault Relay*)

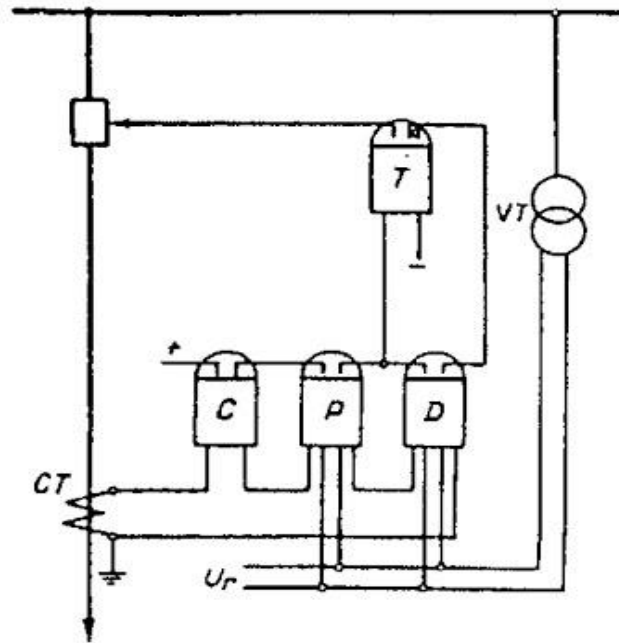
Relay ini berfungsi untuk mendeteksi adanya perubahan frekuensi dalam nilai yang besar secara tiba – tiba. Kisaran frekuensi yang diijinkan adalah $\pm 3\%$ sampai $\pm 7\%$ dari nilai frekuensi nominal. Penurunan frekuensi disebabkan oleh adanya kelebihan permintaan daya aktif di jaringan atau kerusakan regulator frekuensi. Frekuensi yang turun menyebabkan naiknya arus magnetisasi pada generator yang akan menaikkan temperatur. Pada turbin uap, hal tersebut akan mereduksi umur *blade* pada rotor. Kenaikan frekuensi disebabkan oleh adanya penurunan permintaan daya aktif pada jaringan atau kerusakan regulator frekuensi. Frekuensi yang naik akan menyebabkan turunnya nilai arus magnetisasi pada generator yang akan menyebabkan generator kekurangan medan penguat. Sensor relay frekuensi dipasang pada tiap fasa yang keluar dari generator.

9. Relay Impedansi (*Impedance Relay*)

Relay ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan antar fasa pada posisi output generator (di saluran penghantar atau *feeder*). Dengan adanya setting keterlambatan waktu, relay ini memberi kesempatan terlebih dahulu pada relay penghantar untuk mengatasi gangguan tersebut. Sensor relay ini berupa transformator tegangan, transformator arus, serta elemen *directional* yang hanya melihat gangguan yang ada pada posisi output generator saja, sehingga apabila terjadi gangguan dalam generator itu sendiri atau pada input generator (turbin atau



exciter), relay tidak akan bekerja karena zona tersebut tidak berada dalam zona pengamanan yang dapat diamankan oleh relay impedansi.



Gambar 2.6 *Single Line Diagram* Rele Impedansi

(Sumber : projects87.blogspot.co.id)

Keterangan : C = elemen *starting*

P = *power directional*

D = elemen/relay jarak

ratio $U_r/I_r = Z_{fault}$

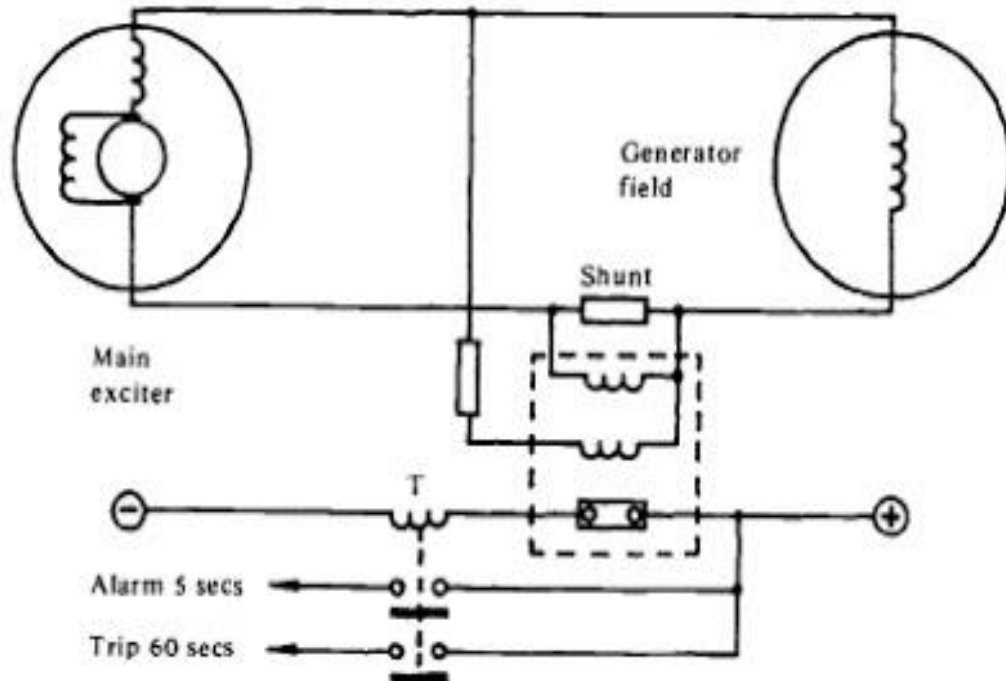
Sinyal pada relay tidak tergantung pada arus gangguan, tetapi tergantung jarak dimana gangguan terjadi, berhubungan dengan parameter saluran dimana $Z = f(I)$.

10. Relay Kehilangan Medan Penguat Rotor (*Lost of Rotor Excitation Relay*)

Hilangnya medan penguat pada rotor akan mengakibatkan generator kehilangan sinkronisasi dan berputar di luar kecepatan sinkronnya sehingga generator beroperasi sebagai generator asinkron. Daya reaktif yang diambil dari sistem ini akan dapat melebihi *rating* generator sehingga menimbulkan *overload*



pada belitan stator dan menimbulkan *overheat* yang menimbulkan penurunan tegangan generator.



Gambar 2.7 Diagram Relay Kehilangan Medan Penguat Rotor

(Sumber :roubinpangaribuan.blogspot.co.id)

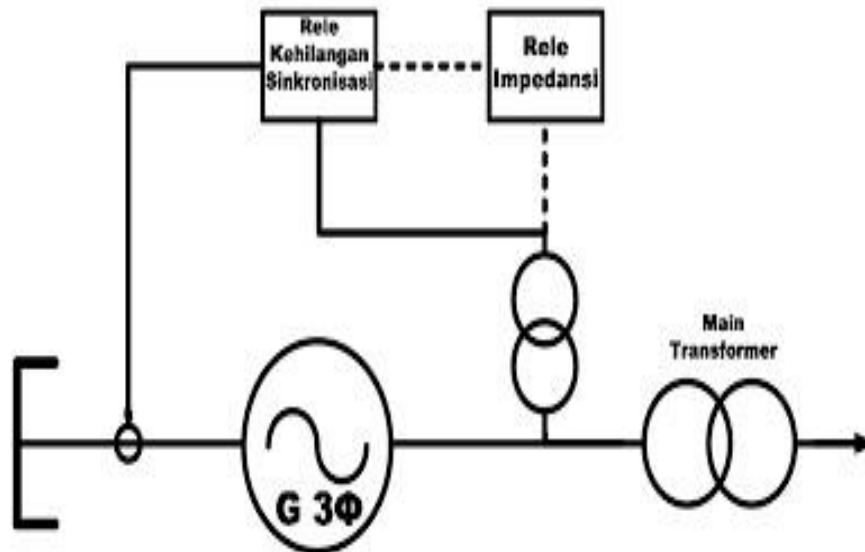
Hilangnya medan penguat rotor dapat dideteksi dengan kumparan yang dipasang paralel dengan *main exciter* dan kumparan rotor generator. Pada kumparan ini akan mengalir arus yang apabila nilainya kurang dari arus *setting* yang diinginkan, maka akan membuat relay mengeluarkan sinyal alarm atau *trip*.

11. Relay Kehilangan Sinkronisasi (*Out of Synchronism Relay*)

Peristiwa lepasnya sinkronisasi pada generator yang sedang beroperasi disebabkan oleh generator yang beroperasi melampaui batas stabilnya. Yang dimaksud dengan stabilitas adalah kemampuan sistem untuk kembali bekerja normal setelah mengalami sesuatu seperti perubahan beban, *switching*, dan gangguan lain. Gangguan tersebut akan berdampak pada tidak sinkronnya tegangan generator dan sistem. Untuk mengamankan generator yang berkapasitas beban besar terhadap peristiwa ayunan beban dari kondisi tak sinkron digunakan



relay lepas sinkron. Relay ini mendeteksi besar impedansi (arus dan tegangan sistem). Apabila kondisi sistem akan memasuki impedansi generator maka relay tersebut akan mengaktifkan relay untuk *trip* PMT generator. Relay impedansi merupakan *backup* bagi relay ini.



Gambar 2.8 *Single Line Diagram* Relay Kehilangan Sinkronisasi

(Sumber : projects87.blogspot.co.id)

2.2.5.2 Relay Proteksi Pada Transformator

Proteksi transformator penaik tegangan generator sudah tercakup dalam proteksi generator. Apabila dalam suatu pusat listrik terdapat transformator antar rel, maka transformator semacam ini umumnya mempunyai proteksi yang meliputi :

1. Relay Arus Lebih di sisi primer dan sisi sekunder

Relay ini berfungsi melindungi transformator terhadap arus lebih yang dapat terjadi karena :

- a. Pembebanan yang berlebihan.
 - b. Ada gangguan hubung singkat antar fasa diluar maupun didalam transformator.
2. Relay Hubung Tanah



Relay ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi di dalam maupun di luar transformator. Gangguan hubung tanah adalah gangguan yang paling banyak terjadi. Relay hubung tanah pada prinsipnya adalah relay yang mendeteksi adanya arus urutan nol karena gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

3. Relay Differensial

Relay ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan dari dalam (internal) transformator tersebut. Apabila terjadi gangguan dalam transformator, maka timbul selisih antara arus yang masuk dan keluar dari transformator bersangkutan dan selisih arus inilah yang mengoperasikan relay differensial ini. Relay differensial transformator pada prinsipnya sama dengan relay differensial generator.

4. Relay Hubung Tanah Terbatas

Relay ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi dalam transformator. Prinsip kerjanya hampir sama dengan relay differensial tetapi yang dideteksi adalah selisih antara arus urutan nol yang masuk dan yang keluar dari transformator, mengingat bahwa gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

5. Relay Buchholz

Relay ini mendeteksi terjadinya gelembung-gelembung gas dalam transformator. Apabila terjadi gelembung gas yang banyak dalam transformator (yang menandakan terjadinya loncatan busur listrik yang cukup banyak), maka relay ini bekerja dan men-*trip* pemutus tenaga (PMT) baik di sisi primer maupun sekunder.

6. Relay Suhu

Relay suhu ini mengukur suhu kumparan transformator. Cara kerja dan fungsinya serupa dengan relay suhu pada generator. Pada suhu tertentu relay ini akan membunyikan alarm. Jika suhu kumparan transformator terus naik, maka relay ini kemudian men-*trip* PMT transformator di sisi primer dan sekunder.



7. Relay Tekanan Mendadak

Relay ini fungsinya sama dengan relay Buchholz, hanya saja yang dideteksi adalah tekanan gas dalam transformator yang naik secara mendadak.

8. Relay Tangki Tanah

Karena bagian-bagian logam (misalnya inti kumparan) dan transformator ditanahkan melalui tangki transformator, maka relay tangki tanah yang mendeteksi arus yang mengalir antara tangki dan tanah sesungguhnya juga merupakan relay gangguan hubung tanah.

9. Relay Arus Urutan Negatif

Apabila salah satu kawat fasa putus atau lepas kontak, maka timbul arus urutan negatif yang dapat dideteksi oleh relay arus urutan negatif ini. (Marsudi, 2011 : 40)

2.2.5.3 Relay Proteksi Pada Transmisi

Sistem proteksi saluran transmisi ada dua jenis, yaitu : Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT). Adapun relay proteksi yang terdapat pada jaringan transmisi (SUTT/SKTT) adalah sebagai berikut :

1. Relay Jarak

Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan antar fasa maupun gangguan hubung tanah.

2. Relay Differensial Pilot Kabel

Relay ini berfungsi untuk memproteksi SKTT dan juga SUTT yang pendek terhadap gangguan antar fasa, maupun gangguan hubung singkat.

3. Relay Arus Lebih Berarah



Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan antar fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. Karena relay ini dapat membedakan arah arus gangguan.

4. Relay Arus Lebih

Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTT/SKTT terhadap gangguan antar fasa, maupun gangguan hubung tanah dan relay ini berfungsi sebagai pengaman cadangan bagi SUTT dan SKTT.

5. Relay Gangguan Tanah Berarah

Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan hubung tanah.

6. Relay Gangguan Tanah Selektif

Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTT (saluran ganda) terhadap gangguan hubung tanah.

7. Relay Tegangan Lebih

Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTT/SKTT terhadap tegangan lebih.

8. Relay Penutup Balik (*Recloser*)

Relay ini berfungsi untuk menormalkan kembali SUTT akibat gangguan hubung singkat yang temporer.

9. Relay Frekuensi Kurang

Relay ini berfungsi untuk melepas SUTT/SKTT bila terjadi penurunan frekuensi sistem. (Samaulah, 2004 : 102-103)

2.2.5.4 Relay Proteksi Pada Distribusi

Adapun proteksi distribusi memiliki alat pengaman sebagai berikut :

1. Fuse (Sekring)

Merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubung singkat antar fasa. Dapat pula sebagai pengaman hubung tanah bagi



sistem yang diketanahkan langsung dan bagi peralatan pada sistem dengan tahanan rendah.

2. CB dengan Relay arus lebih

Sebagai pengaman utama sistem terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung.

3. CB dengan Relay arus tanah dengan arah

Pengaman utama terhadap gangguan hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung dan diketanahkan dengan tahanan rendah.

4. CB dengan Relay arus tanah

Pengaman utama terhadap gangguan hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung dan diketanahkan dengan tahanan tinggi.

5. CB dengan Relay *Recloser* atau *Automatic Circuit Recloser* (disingkat ACR atau *Recloser*)

Pengaman pelengkap untuk membebaskan gangguan yang bersifat temporer. Dengan ACR jumlah pemutusan tetap dapat diperkecil 95 % dari gangguan yang bersifat temporer dapat dibebaskan.

6. ACR ke-2 dst

Disamping sebagai pengaman gangguan temporer, juga sebagai pembatas daerah yang padam karena gangguan.

7. Pemisah manual

Alat pemutus untuk mengurangi daerah yang padam karena gangguan dan mengurangi lamanya pemadaman.

8. AS (*Automatic Sectionalizer*)

Alat pemutus otomatis untuk mengurangi/membatasi daerah yang padam karena gangguan.

9. Indikator gangguan



Untuk mempercepat lokalisasi gangguan. (Samaulah, 2004 : 114-116)

2.2.6 Fungsi Relay Proteksi

Fungsi relay proteksi pada suatu sistem tenaga listrik antara lain :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya.
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi.
- c. Memberitahu operator tentang adanya gangguan dan lokasinya.

Atau dengan kata lain fungsi dari suatu sistem proteksi adalah :

- a. Meminimalisasikan lamanya gangguan.
- b. Mengurangi kerusakan yang mungkin timbul pada alat atau sistem.
- c. Melokalisir meluasnya gangguan pada sistem.
- d. Pengamanan terhadap manusia.

2.2.7 Syarat Relay Proteksi

Relay proteksi dalam fungsinya sebagai pengaman memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Kepekaan (*sensitivity*)

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun gangguan yang ada relatif kecil.

2. Keandalan (*reliability*)

Maksud dari keandalan adalah bahwa sebuah relay proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan pengamanan pada daerah yang diamankan.

Keandalan memiliki 3 aspek, antara lain :



- *Dependability*, adalah kemampuan suatu sistem relay untuk beroperasi dengan baik dan benar. Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain *dependability*-nya harus tinggi.
 - *Security*, adalah tingkat kepastian suatu sistem relay untuk tidak salah dalam bekerja. Salah kerja, misalnya lokasi gangguan berada di luar pengamanannya, tetapi salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.
 - *Availability*, adalah perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.
3. Selektifitas (*selectivity*)
Maksudnya pengaman harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di daerah proteksi utama dimana pengaman harus bekerja cepat atau terletak di luar zona proteksinya dimana pengaman harus bekerja dengan waktu tunda atau tidak bekerja sama sekali.
 4. Kecepatan kerja (*Speed Of Operation*)
Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Selang waktu sejak dideteksinya gangguan sampai dilakukan pemisahan gangguan merupakan penjumlahan dari waktu kerja relay dan waktu kerja pemutus daya ($t_{kerja} = t_{relai} + t_{pemutusdaya}$). Namun pengaman yang baik adalah pengaman yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms.
 5. Sederhana (*Simplicity*)
Relay pengaman harus disusun sesederhana mungkin namun tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya.
 6. Ekonomis (*Economic*)



Faktor ekonomi sangat mempengaruhi pengaman yang akan digunakan. Namun sebaiknya pilihlah suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maksimum dengan biaya yang minimum. (Fajri, 2011 : 26-28)

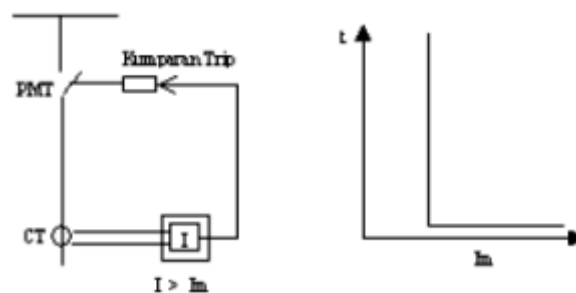
2.3 Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Relay arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting. Macam-macam karakteristik relay arus lebih:

- a. Relay waktu seketika (*Instantaneous relay*)
- b. Relay arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)
- c. Relay arus lebih waktu terbalik (*Inverse Relay*)

2.3.1 Relay Waktu Seketika (*Instantaneous relay*)

Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Karakteristik Relay Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*).

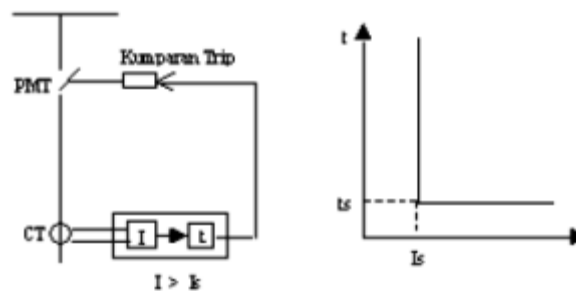
(Sumber : dunia-listrik.blogspot.co.id)

Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.



2.3.2 Relay arus lebih waktu tertentu (*definite time relay*)

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



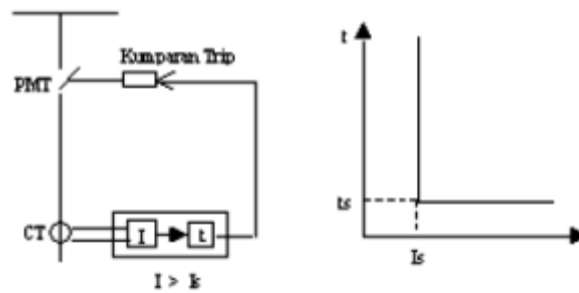
Gambar 2.10 Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*).

(Sumber : dunia-listrik.blogspot.co.id)

2.3.3 Relay arus lebih waktu terbalik

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktunya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- Standar invers
- Very inverse
- Extremely inverse



Gambar 2.11 Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Relay*).

(Sumber : dunia-listrik.blogspot.co.id)

2.4 Prinsip Kerja Relay Arus lebih (OCR)

Relay Arus Lebih merupakan Relai yang bekerja terhadap arus lebih, Relai ini akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai setting arusnya (I_{set}). Relai ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh Relai melebihi nilai setting, maka Relai akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting.

Relay Arus Lebih – OCR memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan Relai Arus Gangguan tanah atau Ground Fault Relay (GFR). Prinsip kerja GFR sama dengan OCR, yang membedakan hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus. OCR biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan GFR hanya memiliki satu sensor arus (satu fasa).

2.5 Setting Dan Pengujian

Sebelum diuji, Relai harus terlebih dahulu disetel (di setting). Menyetel Relai tergantung pada merk dan tipe masing – masing. Secara umum hal – hal



yang perlu di setting adalah arus kerja dan waktu kerja. Untuk Relai seketika, waktu kerja tidak perlu diset karena sudah pasti mendekati nilai nol.

Dibawah ini disampaikan contoh cara menyetel dan menguji Relai arus lebih elektro mekanik.

a. Menyetel Relai Arus Lebih

Menyetel Arus Is (dengan tunda waktu)

$$I_s = K \cdot I_N$$

dimana I_s = arus nominal Relay, arus ini mempunyai dua nilai yang merupakan kelipatan, misal: 2,5A (Seri) dan 5 A (paralel) K = Faktor tergantung dari pabriknya: misal: 1 sampai dengan 2. Ada juga arus nominal Relai hanya mempunyai "satu besaran dan faktor K . berkisar antara 0,05 sampai dengan 2,4 dengan step 0,05.

b. Menyetel waktu kerja Relai

Untuk Relai waktu tertentu penyetelan waktu kerja Relai dapat dilaksanakan langsung sesuai dengan waktu yang dikehendaki. I_{hs} = arus hubung singkat pada sistem bila dilihat dari sisi sekunder CT. (sama dengan arus yang masuk ke Relai).

c. Menyetel arus untuk Relai arus lebih seketika (moment/instantaneous).

a. I_s (Moment) = $K \cdot I_N$ atau I_s (Moment) = $K \cdot I_s$

dimana: I_N = arus nominal Relai

$$I_s = \text{setting arus (tunda waktu)}/$$

$$K = 3 \text{ sampai dengan } \infty \text{ (tak terhingga).}$$

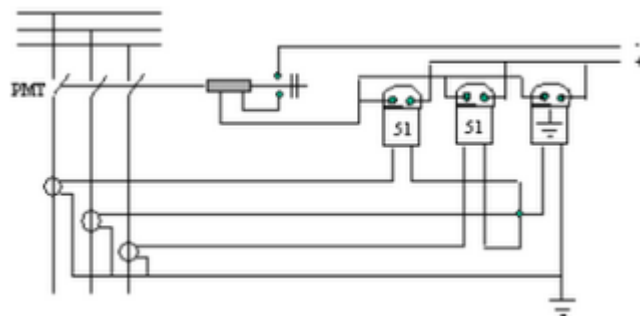
2.6 Pengaman Pada Relay Arus Lebih



Pada relay arus lebih memiliki 2 jenis pengamanan yang berbeda antara lain:

- a. Pengamanan hubung singkat fasa. Relay mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Relay fasa”. Karena pada relay tersebut dialiri oleh arus fasa, maka settingnya (I_s) harus lebih besar dari arus beban maksimum. Ditetapkan $I_s = K \times I_n$ (I_n = arus nominal peralatan terlemah).
- b. Pengamanan hubung tanah. Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban, ini disebabkan karena salah satu atau dari kedua hal berikut:

Gangguan tanah ini melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi. Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi/tahanan yang tinggi, atau bahkan tidak ditanahkan. Dalam hal demikian, relay pengamanan hubung singkat (relay fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Supaya relay sensitive terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka relay dipasang tidak pada kawat fasa melainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya. Dengan demikian relay ini dialiri oleh arus netralnya, berdasarkan komponen simetrisnya arus netral adalah jumlah dari arus ketiga fasanya. Arus urutan nol dirangkaian primernya baru dapat mengalir jika terdapat jalan kembali melalui tanah (melalui kawat netral).



Gambar 2.12 Sambungan Relay GFR dan 2 OCR.



(Sumber : cvsapto.blogspot.co.id)