

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

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 pengaturan.
2. Sistem gangguan dan kendala operasi.
 - a. Kehilangan sumber penggerak primer (*prime-mover*), dimana generator bisa berubah menjadi motor.
 - b. Pengutan berlebihan atau over eksitasi ditanggulangi dengan relay proteksi tahanan (*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 membandingkan satu sama lain kalau terjadi perbedaan maka bisa dianggap salah satu fasa PMT dalam



kadaan rusak.

- e. Generator berbeban lebih sehingga mengalami panas berlebihan.
- f. Relay frekuensi pada sistem PLTU besar.
- g. Gangguan yang tidak tertanggulangi ditangani dengan relay impedensi 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 (isolasi) 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 generaor.
- k. Kehilangan output trafo tegangan atau regulator yang dapat menyebabkan gangguan terhadap sistem kontrol dan yang bisa interprestasikan salah oleh relay proteksi.

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

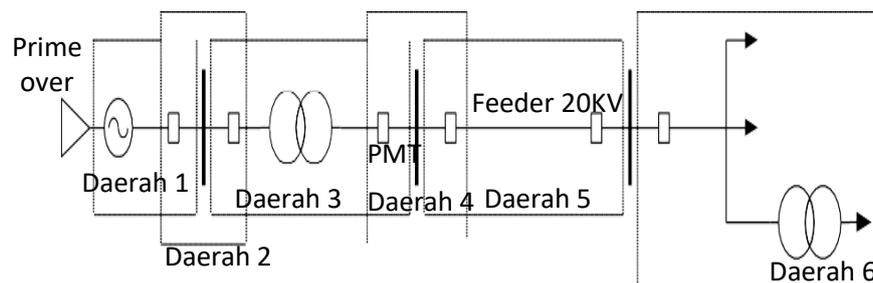
2.2 Sistem Proteksi

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 pengamannya 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 tertanggung
3. Transformator ukur.
 - a. Trafo Arus : Meneruskan arus ke sirkuit relay
 - b. Trafo Tegangan : Meneruskan tegangan ke 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 (*comparision Element*)

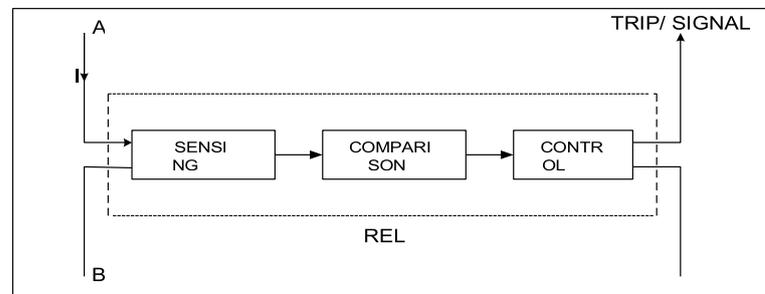
Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke relay pada saat ada gangguan dengan arus setting tersebut.

c. Elemen kontrol (*control Element*)

Berfungsi mangadakan perubahan dengan tiba – tiba dengan besaran kontrol dengan menutup arus opratif.



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



Gambar 2.3 Diagram Blok Elemen Relay Proteksi

(Fajri, 2011 : 22-25)

Adapun relay – relay yang digunakan dalam sistem proteksi adalah:

2.3 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

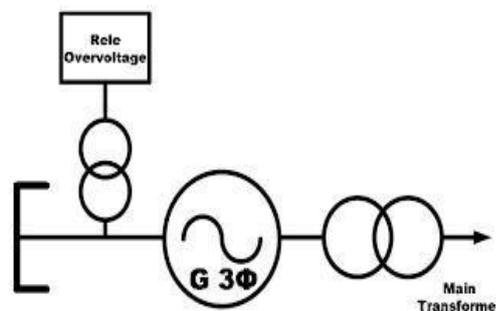


baik karena dapat membatasi aliran arus nol yang mengalir ke dalam generator ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah di sisi tegangan tinggi transformator tegangan.

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 Tenggangan 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 ternilai 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:

$$E_o = \sqrt{(V_t \cdot \cos \theta + I_a \cdot R_a)^2 + (V_t \cdot \sin \theta + I_a \cdot X_s)^2} \dots\dots\dots(2.1)^{10}$$

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 di bangkitkan oleh generator adalah:

$$(E_o)_L = \sqrt{3} \times E_o \dots\dots\dots(2.2)^{10}$$

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:

¹⁰ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 216

¹⁰ Ibid



$$1. \text{ Regulasi Naik} = \frac{(V_t)_{tb} - (V_t)_{bp}}{(V_t)_{bp}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.3)^{10}$$

$$2. \text{ Regulasi Turun} = \frac{(V_t)_{tb} - (V_t)_{bp}}{(V_t)_{tb}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.4)^{10}$$

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,

$$\text{Dimana } V_t = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.5)^{10}$$

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 rangkaian 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 rangkaian 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.

¹⁰ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 231

¹⁰ Ibid

¹⁰ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 211



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

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

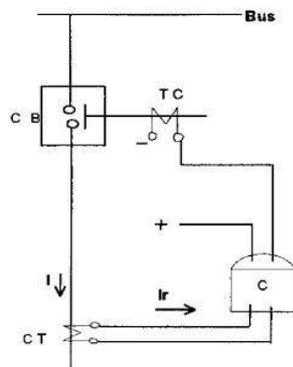
Hubung tanah dalam sirkuit rotor, yaitu hubung singkat antara konduktor rotor dengan badan rotor dimana dapat menimbulkan distorsi medan magnet yang dihasilkan rotor dan selanjutnya dapat menimbulkan getaran (vibrasi) berlebihan dalam generator. Oleh karena itu, hal ini harus dihentikan oleh relay rotor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

4. Relay Differensial (*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.

5. 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 B

I = Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan

CT = Transformator Arus

Ir = Arus yang mengalir pada relay

C = Relay arus lebih

Ip = Arus pick-up dari relay

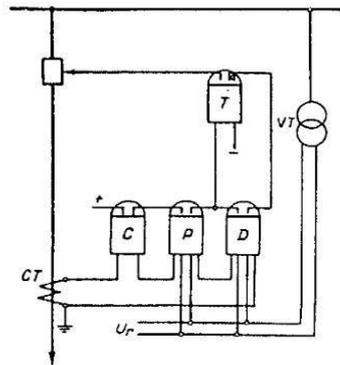
6. Relay Gngguan Frekuensi (*Frequency Fault Relay*)

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.



7. 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* Relay 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 $Z = f(I)$.



2.4 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 berlebih.
- 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 :



2.5 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 pengamanan 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)

2.6 Relay Proteksi Pada Distribusi

Adapun proteksi distribusi memiliki alat pengaman sebagai berikut:

1. Fuse (Sekering)

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- 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)

2.7 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 diamankan.
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi.
- c. Memberi tahu operator tentang adanya gangguan dan lokasinya.

Atau dengan kata lain fungsi dari suatu sistem proteksi adalah:

- a. Meminimaliskan lamanya gangguan.
- b. Mengurangi kerusakan yang mungkin timbul pada alat atau sistem.
- c. Melokalisir meluarganya gangguan pada sistem.
- d. Pengaman terhadap manusia.



2.8 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 (*reability*)

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 :

a. *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 hanya harus tinggi.

b. *Security*, adalah tingkat kepastian suatu sistem relay untuk tidak salah dalam bekerja. Salah kerja, misalnya lokasi gangguan berada di luar pengamannya, tetapi salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.

c. *Availability*, adalah perbandingan antara waktu dimana 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)