



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum <sup>[1]</sup>

Generator listrik adalah peralatan yang digunakan untuk membangkit listrik melalui kerja mekanik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar dipusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha yang dapat bersal diputar menggunakan usaha luar yang dapat bersala dari turbin air atau turbin uap.

Adapun jenis gangguan dan masalah-masalah yang terdapat pada generator-generator antara lain sebagai berikut : <sup>[4]</sup>

##### 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. Frekuensi merupakan parameter yang menyebabkan terjadinya keadaan tersebut karena pada saat torsi yang dihasilkan oleh penggerak awal lebih kecil dari torsi yang dibutuhkan untuk menjaga agar kecepatan rotornya berada pada kecepatan proporsional menyebabkan rendahnya input daya dari penggerak awal sehingga generator yang fungsinya mensuplai daya aktif akan berubah fungsi menjadi motor yaitu menyerap daya aktif. Keadaan inilah yang disebut dengan *motoring*.

---

<sup>[1]</sup>Umar, Dr. Efrison 2006. *Buku Pintar Fisiska*. Cetakan pertama. Jakarta: Media Pusindo. Hal. 77

<sup>[4]</sup>Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset. Hal. 356-357



- b. Penguatan berlebihan atau *over* eksitasi ditanggulangi dengan relai 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 relai 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 berbeban lebih sehingga mengalami panas berlebihan.
- f. Relai frekuensi pada sistem PLTU besar.
- g. Gangguan yang tidak tertanggulangi ditangani dengan relai impedansi dan relai arus lebih yang kerjanya dikendalikan oleh tegangan (*voltage controlled time over current*).
- h. Relai 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 relai proteksi.

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.

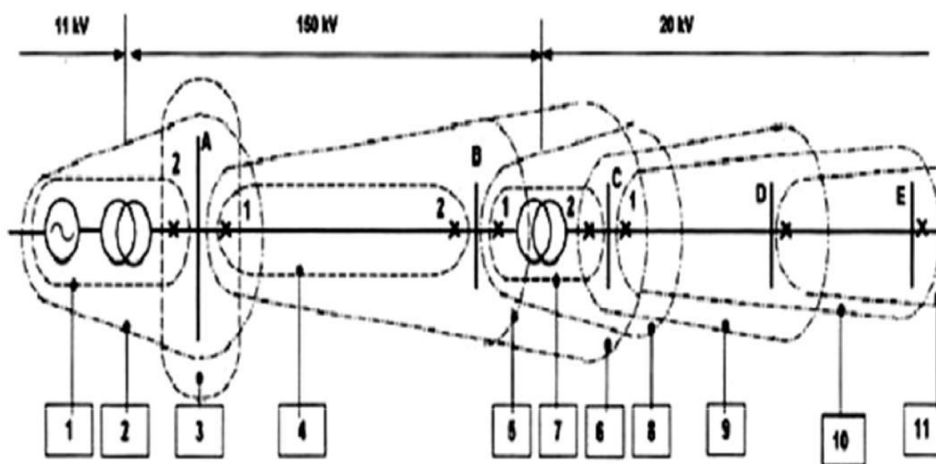


## 2.2 Sistem Proteksi <sup>[7]</sup>

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya.

### 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 relai 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 Listrik (Suprianto, 2015)

Keterangan :

#### 1. Overall Differential Relay

Pengaman utama Generator – Trafo

<sup>[7]</sup>Suprianto. 2015. *Sistem Proteksi*. (<http://blog.unnes.ac.id/antosupri/sistem-proteksi>, diakses 8 Juni 2019).



2. *Over Current Relay*

Pengaman cadangan lokal Generator – Trafo

Pengaman cadangan jauh Bus A

3. Pengaman Bus

Pengaman utama Bus A

4. *Distance Relay Zone I* dan PLC di A1

Pengaman utama saluran A-B

5. *Distance Relay Zone II* di A1

Pengaman utama Bus B

Pengaman cadangan jauh sebagian Trafo di B

6. *Distance Relay Zone III* di A1

Pengaman cadangan jauh Trafo di B sampai ke Bus C

7. *Differential* Trafo

Pengaman utama Trafo

8. *Over Current Relay* di sisi 150 KV

Pengaman cadangan local Trafo

Pengaman cadangan jauh Bus C

9. *Over Current Relay* di sisi 20 KV

Pengaman utama Bus C

Pengaman cadangan jauh saluran C-D

10. *Over Current Relay* di C1

Pengaman utama saluran C-D

Pengaman cadangan jauh saluran D-E

11. *Over Current Relay* di D

Pengaman utama saluran D-E

Pengaman cadangan jauh seksi berikutnya.



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 :

- Proteksi pada Generator
- Proteksi pada Transformator
- Proteksi pada Transmisi
- 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.

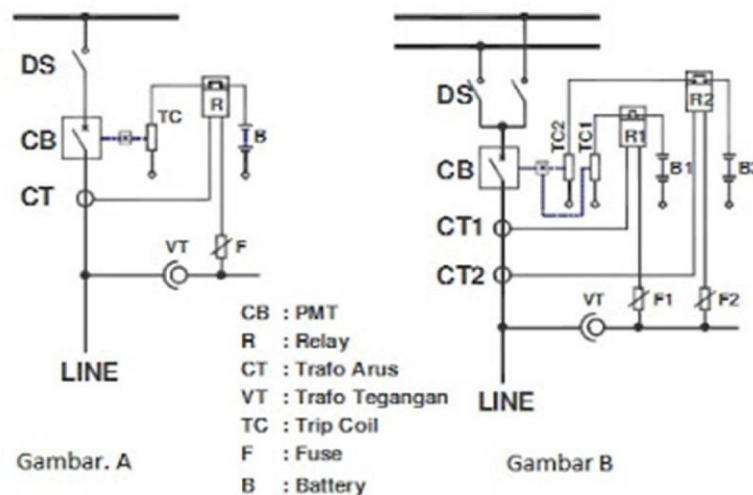


### 2.2.4 Komponen Peralatan Proteksi

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

- Relay Proteksi : Sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya (*fault detection*).
- Pemutus tenaga (PMT) : Sebagai pemutus arus gangguan di dalam sirkit tenaga untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu.
- Transformator ukur  
Trafo Arus : Meneruskan arus ke sirkit relay.  
Trafo Tegangan : Meneruskan tegangan ke sirkit relay
- Battery (Aki) : Sebagai sumber tenaga untuk mengetrip PMT dan catu daya untuk relay (relay digital / relay statik) dan relay bantu (*auxiliary relay*).

Hubungan antara komponen-komponen proteksi sebagai suatu sistem proteksi yang sederhana dapat dilihat pada Gambar A untuk sistem tegangan menengah (TM) atau tegangan tinggi (TT), dan Gambar B untuk sistem tegangan ekstra tinggi (TET) yang menggunakan proteksi double (*duplicate*).



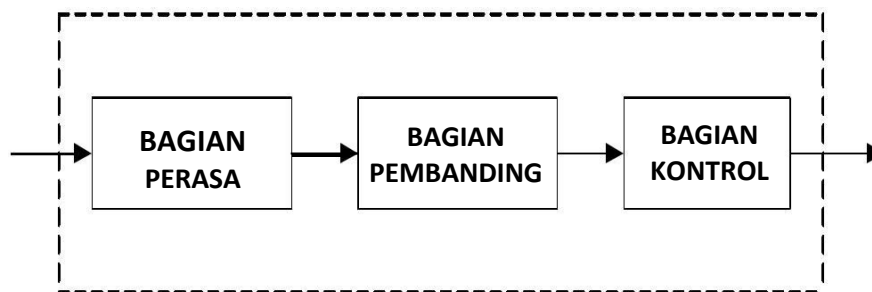
Gambar 2.2 Hubungan Komponen Proteksi Pada Suatu Sistem Proteksi (Suprianto, 2015)



### 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.

Relay proteksi umumnya mempunyai tiga bagian umum yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan. Ketiga bagian umum tersebut adalah sebagai berikut : <sup>[6]</sup>



Gambar 2.3 Bagian Umum Suatu Relay Proteksi (Samaulah, 2004 : 70)

a. Bagian perasa (*Sensing Element*)

Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dihasilkan selanjutnya diteruskan ke bagian pembanding.

b. Bagian Pembanding (*Comparison Element*)

Pada bagian ini akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak. c. Bagian Kontrol (*Control Element*)

Pada bagian ini pembukaan *circuit breaker* (PMT) atau pemberian tanda diatur dan dilaksanakan.

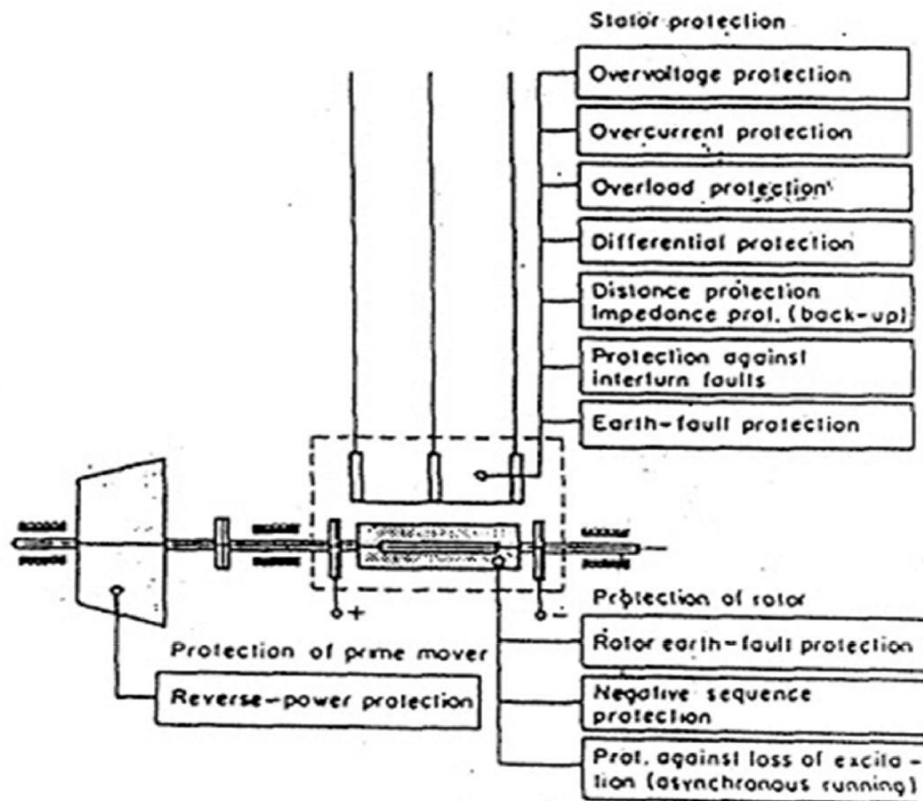
<sup>[6]</sup>Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 70



Adapun relay-relay yang digunakan dalam sistem proteksi adalah :

### 2.2.5.1 Relay Proteksi Pada Generator <sup>[5]</sup>

Terdapat beberapa macam relay yang umum digunakan sebagai pengaman elektris pada generator. Adapun penempatan peralatan pengaman elektris pada generator secara umum adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4 Penempatan Peralatan Pengaman Elektris Pada Generator (Prast, 2011)

Jenis relay yang umum digunakan pada sistem pengaman elektris generator yang memiliki rating daya output yang cukup besar adalah :

<sup>[5]</sup>Prast, Eko. 2011. *Generator Electrical Protection System*.

(<http://projects87.unnes.co.id/2009/02/generator-electrical-protection-relay.html>, diakses 22 April 2019).





### 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.

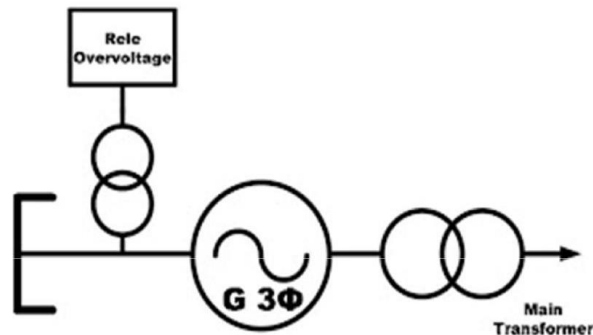
Arus hubung singkat yang terjadi di sekitar titik netral relatif kecil sehingga sulit untuk dideteksi oleh relay differensial. Dengan dipasang transformator tegangan, arus yang kecil tersebut akan mengalir dan menginduksikan tegangan pada sisi sekunder transformator. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan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

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

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



Gambar 2.5 *Single Line Diagram* Relay Tegangan Lebih Pada Generator (Prast, 2011)

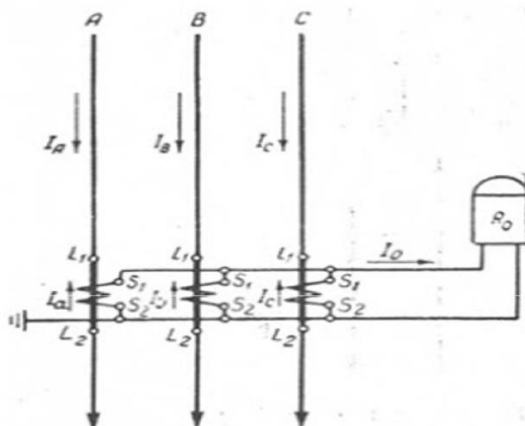
## 2. Relay Gangguan Stator Hubung Tanah (*Stator Earth Fault Relay*)

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 hubung 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.

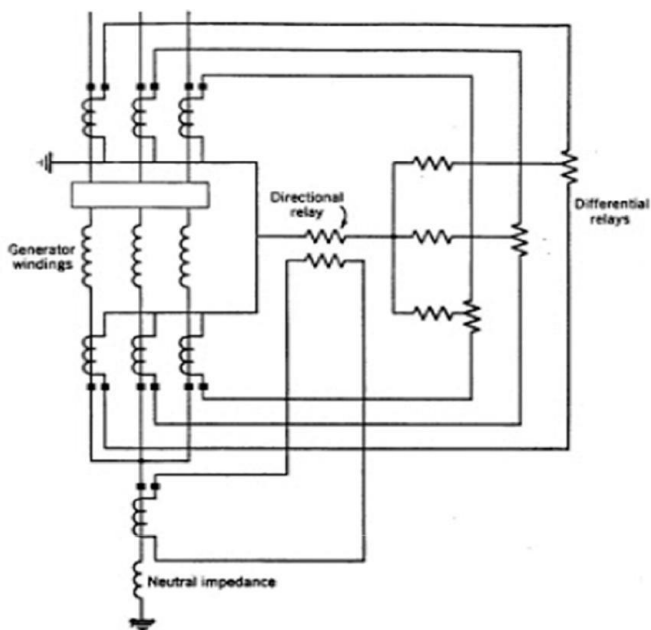
Relay ini akan mendeteksi gangguan hubung tanah yang terjadi pada sirkuit yang terhubung dengan sirkuit stator dari generator. Untuk membatasi pendeteksian gangguan hubung tanah yang terjadi pada stator generator saja dipakai relay hubung tanah terbatas, dimana jumlah arus dari 3 fasa tersebut dijumlah 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. Adapun *single line diagram* relay gangguan stator hubung tanah adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Single Line Diagram Relay Gangguan Stator Hubung Tanah (Prast, 2011)

Sedangkan *single line diagram* relay gangguan stator hubung tanah terbatas adalah sebagai berikut :



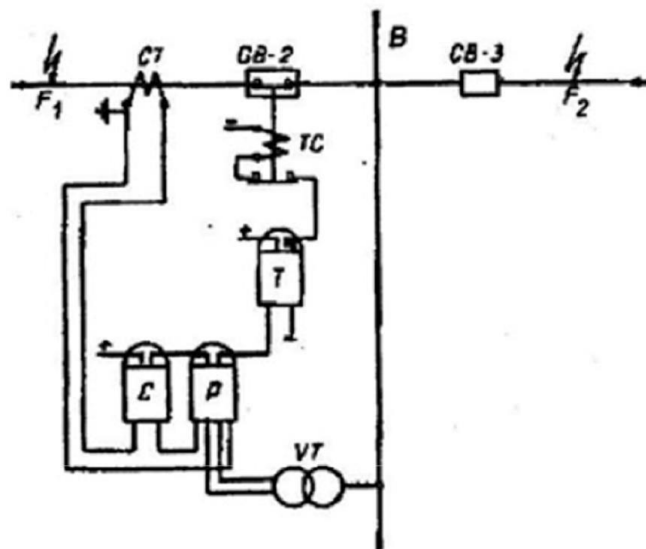
Gambar 2.7 Single Line Diagram Relay Gangguan Stator Hubung Tanah Terbatas (Prast, 2011)



### 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. Adapun *single line diagram* relay daya balik adalah sebagai berikut :



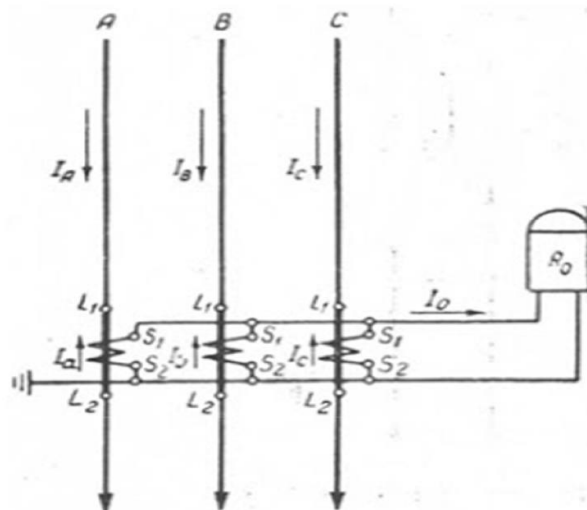
Gambar 2.8 *Single Line Diagram* Relay Daya Balik (Prast, 2011)



Pada gambar tersebut, apabila terjadi gangguan pada F1, maka relay akan men-*trip* CB2, apabila gangguan terjadi pada F2, maka relay tidak akan men-*trip* CB2 karena arah aliran arus yang terbalik dari kanan ke kiri.

#### 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. Adapun *single line diagram* relay gangguan rotor hubung tanah adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 *Single Line Diagram* Relay Gangguan Rotor Hubung Tanah (Prast, 2011)

Pada gambar di atas, ketika tidak ada gangguan maka arus simetri,  $\{I_r = I_a + I_b + I_c = 0\}$ , namun ketika terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka arus menjadi tak simetri  $\{I_r = I_a + I_b + I_c = 3I_{a0}\}$ , sehingga terdapat arus yang mengalir pada relay dan membuat relay mendeteksi gangguan.



### 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:

$$I_2 \cdot T = K$$

Dimana,  $I_2$  = Arus urutan fasa

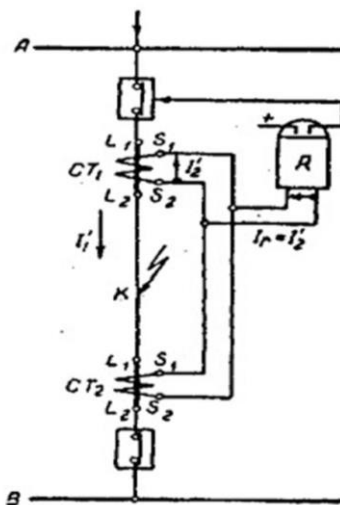
$T$  = waktu

$K$  = 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. Adapun *single line diagram* relay diferensial adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10 Single Line Diagram Relay Differensial (Prast, 2011)

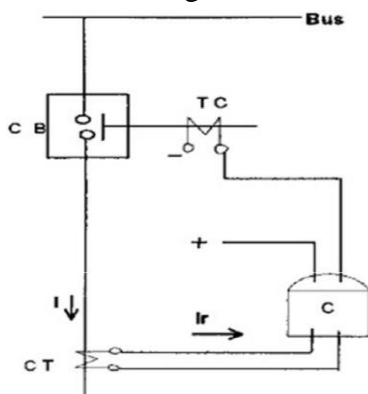
Dalam keadaan normal :  $I_r = I_1' - I_2'' = 0$  Relay tidak kerja

Gangguan di K :  $I_r = I_1'$  relay kerja

Gangguan di bus B :  $I_r = I_1' - I_2'' = 0$  Relay tidak kerja

### 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 2.11 Single Line Diagram Relay Arus Lebih (Prast, 2011)



Keterangan : CB = Circuit Breaker

TC = Trip Coil CB

I = Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan CT =  
Transformator Arus

I<sub>r</sub> = Arus yang mengalir pada relay

C = Relay arus lebih

I<sub>p</sub> = Arus pick-up dari relay

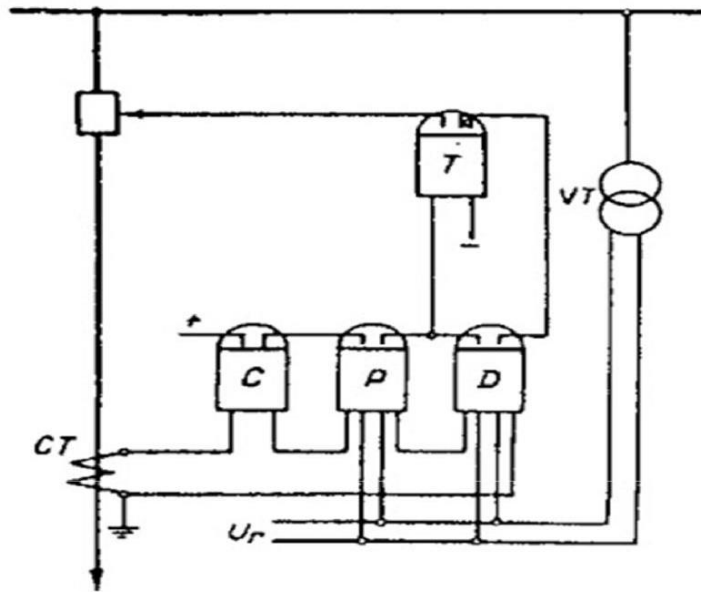
#### 8. Relay Gangguan Frekuensi (*Frequency Fault Relay*)

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.





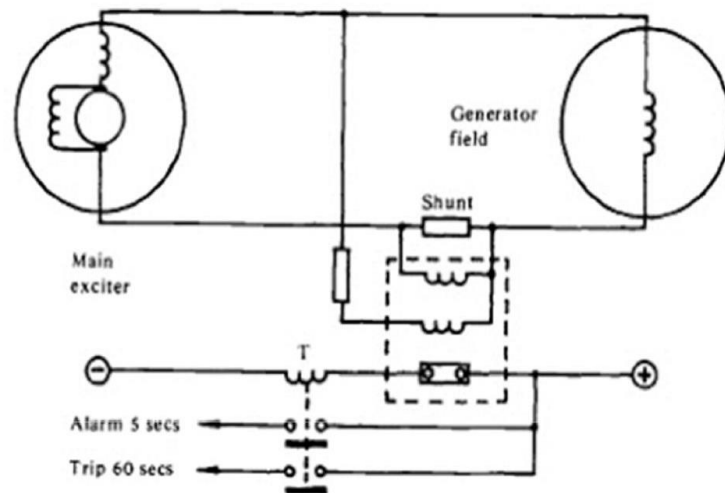
Gambar 2.12 *Single Line Diagram* Relay Impedansi (Prast, 2011)

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.

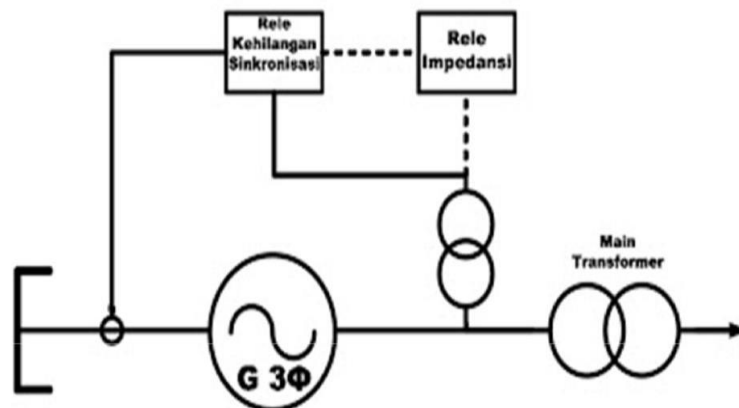


Gambar 2.13 Diagram Relay Kehilangan Medan Penguat Rotor (Prast, 2011)

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 sinkron-nya 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 2.14 *Single Line Diagram* Relay Kehilangan Sinkronisasi (Prast, 2011)

### 2.5.2.2 Relay Proteksi Pada Transformator <sup>[3]</sup>

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 :

- Pembebanan yang berlebihan.
- 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.

<sup>[3]</sup>Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga. Hal. 40



### 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.

#### **2.2.5.3 Relay Proteksi Pada Transmisi** <sup>[6]</sup>

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

---

<sup>[6]</sup>Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 102-103



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.

#### 2.2.5.4 Relay Proteksi Pada Distribusi <sup>[6]</sup>

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.

---

<sup>[6]</sup>Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 114-116



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.



### 2.2.6 Fungsi Relay Proteksi<sup>[2]</sup>

. Fungsi utama peralatan proteksi atau perlindungan adalah melepaskan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem keseluruhannya guna memperkecil kerusakan yang dapat terjadi dan sebanyak mungkin mempertahankan kontinuitas melakukannya dalam waktu yang secepatnya sehingga sehingga perlu seluruhnya dilaksanakan secara otomatis. Hal itu dilakukan dengan rele pengaman

### 2.2.7 Syarat Relay Proteksi<sup>[2]</sup>

Bilamana terjadi sesuatu gangguan didalam rangkaian listrik, instalasi harus diamankan, dan bagian yang terganggu harus dipisahkan dalam waktu yang secepatnya, guna mencegah atau memperkecil kerusakan yang dapat diakibatkan gangguan itu. Hal itu perlu dilakukan secara otomatis dan selektif, sehingga bagian dari instalasi yang tidak terganggu dapat berfungsi seterusnya. Hal ini perlu dilakukan dengan berbagai pengaman atau proteksi.

Sifat-sifat utama suatu sistem pengaman sebagai berikut:

1. *Selektif*. System proteksi harus selektif dan memilih dengan tepat bagian mana dari instalasi yang terganggu dan harus dipisahkan dari rangkaian yang tidak terganggu dan harus beroperasi terus.
2. *Sensitif*. Sistem proteksi perlu memiliki suatu tingkat sensitivitas tinggi, agar gangguan dapat dideteksi sedini mungkin sehingga bagian yang terganggu, atau kemungkinan terjadinya kerusakan menjadi sekecil mungkin.
3. *Andal*. Sistem proteksi perlu memiliki suatu taraf keandalan yang tinggi, dan senantiasa dapat bekerja pada kondisi-kondisi gangguan yang dapat terjadi.
4. *Cepat*. Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan, sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia dan peralatan, dan stabilitas operasi.
5. *Perluasan sistem*. Sistem proteksi harus didesain sedemikian rupa, hingga tidak akan mengganggu kemungkinan terjadinya perluasan instalasi atau jaringan diwaktu yang akan datang.

<sup>[2]</sup> Kadir, Abdul. 2010. *Pembangki Tenaga Listrik*. Jakarta : UI-Press. Hal. 107

<sup>[2]</sup> Kadir, Abdul. 2010. *Pembangki Tenaga Listrik*. Jakarta : UI-Press. Hal. 196

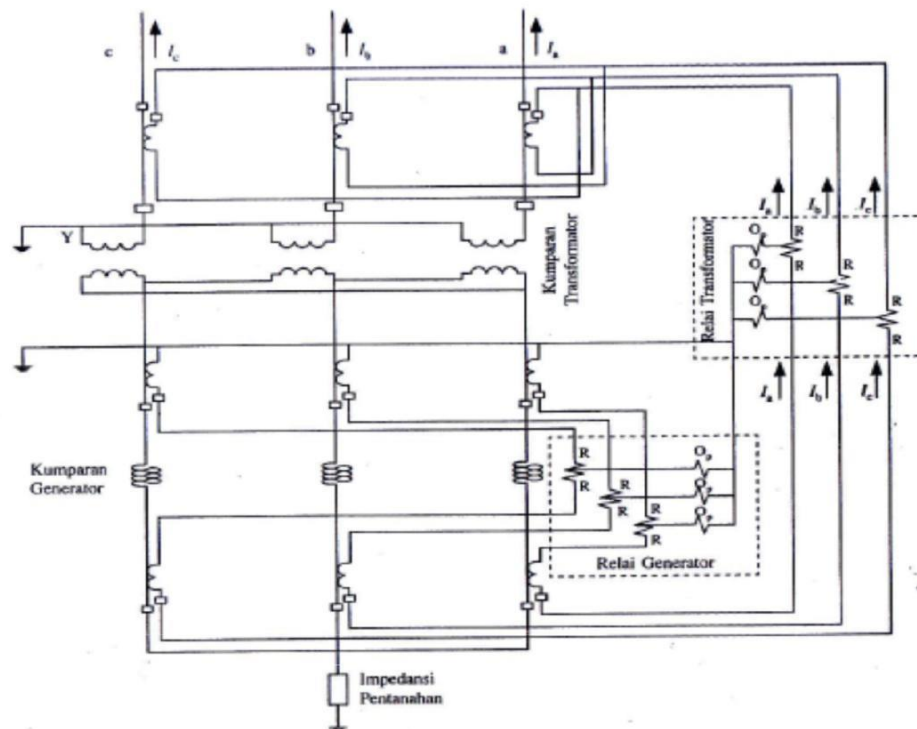






### 2.3 Relay Differensial <sup>[3]</sup>

Fungsi dari relay differensial adalah melindungi lilitan stator generator terhadap gangguan antar fasa kumparan stator. Walaupun relay differensial bekerja dan men-*trip* PMT utama generator serta PMT sirkuit penguat, sesungguhnya terjadi kerusakan pada kumparan stator generator. Namun dengan bekerjanya relay differensial diharapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan yang lebih berat pada kumparan stator generator. Kumparan *restraint* pada relay differensial dimaksudkan untuk menyetel kepekaan relay, karena pasti ada selisih antara arus yang diukur oleh trafo arus di sisi masuk dan di sisi keluar kumparan stator generator sebagai akibat kesalahan trafo arus.



Gambar 2.15 Proteksi Differensial Gangguan Antar Fasa Generator Beserta Trafo Block (Marsudi, 2011 : 339)

<sup>[3]</sup>Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga. Hal. 338-339



Pada generator yang besar, di atas 5 MVA, umumnya generator dihubungkan langsung dengan transformator penaik tegangan (*block transformer*) dan dari segi proteksi dengan relay differensial dijadikan satu kesatuan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.15. Pada Gambar 2.15 terlihat relay differensial yang memproteksi kumparan stator generator dan yang memproteksi kumparan transformator. Perlu diperhatikan bahwa kumparan stator generator dihubungkan dalam hubungan Y yang ditanahkan melalui sebuah impedansi sedangkan hubungan kumparan transformator adalah – Y. Tetapi hubungan kumparan trafo arus di sisi generator adalah sedangkan hubungan trafo arus di sisi kumparan dari transformator adalah Y. Hal ini diperlukan untuk menetralsir pergeseran fasa yang terjadi di sisi primer agar tidak terjadi kesalahan dalam pengukuran di sisi sekunder. Gangguan-gangguan yang tidak dapat dideteksi oleh relay differensial adalah :

- a. Gangguan hubung singkat antar lilitan satu fasa.
- b. Gangguan hubung tanah apabila titik netral generator tidak ditanahkan.
- c. Gangguan berupa konduktor kumparan putus atau sambungannya longgar atau lepas.
- d. Gangguan antar fasa yang terjadi ditengah-tengah masing-masing kumparan fasa, gangguan yang demikian tidak menimbulkan selisih  $I_1 - I_2$  pada Gambar 2.15.

### 2.3.1 Fungsi Relay Differensial Pada Generator

Untuk menjaga kehandalan dari kerja generator, maka dilengkapi dengan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan tersebut selain akan menelan biaya perbaikan yang mahal juga sangat mengganggu operasi sistem pembangkit tenaga listrik. Proteksi generator juga harus mempertimbangkan pula proteksi bagi mesin penggerakannya, karena generator digerakkan oleh mesin penggerak.

Gangguan pada generator tidak dapat dihindari, namun gangguan dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

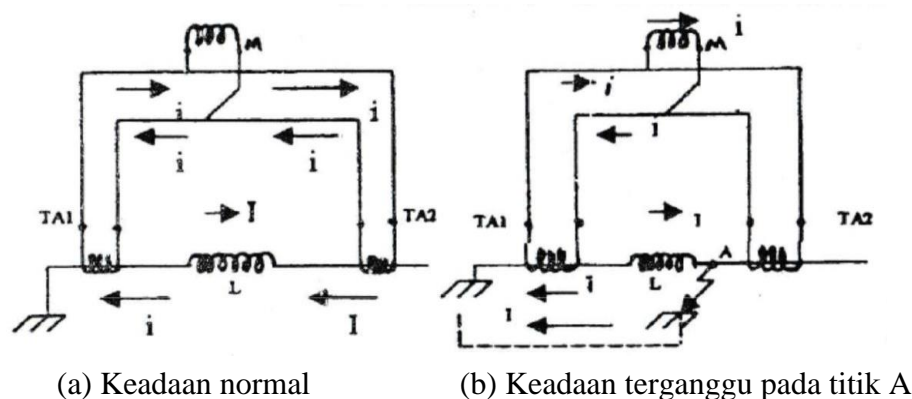
Fungsi relay differensial pada generator adalah sebagai berikut :



1. Merasakan dan melokalisir bagian yang terganggu pada generator
2. Mengurangi kerusakan pada generator
3. Meminimalisasikan lamanya gangguan pada generator
4. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian yang tidak terganggu
5. Memperkecil bahaya pada jaringan distribusi dari generator tersebut
6. Mengurangi kerusakan isolasi kawat kumparan
7. Mengurangi gangguan terhadap hubung singkat antar arus.
8. Mengurangi gangguan terhadap hubung singkat satu fasa ketanah
9. Pengamanan terhadap manusia.

### 2.3.2 Cara Kerja Relay Differensial

Relay differensial adalah suatu alat proteksi yang sangat cepat bekerjanya dan sangat selektif berdasarkan keseimbangan (balance) yaitu perbandingan arus yang mengalir pada kedua sisi generator melalui suatu perantara yaitu trafo arus (CT).



Gambar 2.16 Cara Kerja Relay Differensial (Samaulah, 2004 : 99)

Dalam keadaan normal maka rele differensial nilai penjumlahan antara kedua CT adalah sama atau nol, sehingga rele tidak bekerja seperti pada persamaan berikut.

$$I_{RD} = I_{CT1} - I_{CT2} = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$I_{CT1} = I_{CT2}$$

Sedangkan pada keadaan gangguan maka rele differensial nilai penjumlahan antara kedua CT tidak lagi sama, sehingga rele akan bekerja.

$$I_{RD} = I_{CT1} - I_{CT2} \neq 0 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I_{CT1} \neq I_{CT2}$$

Adapun cara kerja relay differensial adalah arus stator dimuka kumparan adalah sama dengan arus setelah kumparan. Pada Gambar 2.16 (a) terlihat satu kumparan stator yang dilengkapi dengan dua transformator arus, yaitu TA1 dan



TA2. Bilamana kumparan tidak terganggu maka mengalir arus I baik melalui TA1 maupun TA2, sedangkan kumparan M yang terletak ditengah-tengah rangkaian antara kedua transformator arus tidak dilalui arus listrik.

Misalkan bahwa pada titik A pada Gambar 2.16 (b) terjadi gangguan berupa hubungan tanah, aliran listrik I yang melalui kumparan stator akan melewati TA1, akan tetapi tidak melewati TA2 karena pada titik A arus I akan melalui tempat gangguan ke tanah dan kembali ke stator melalui titik bintang. Karenanya kumparan M yang dalam keadaan normal tidak akan dilalui listrik, pada keadaan hubungan singkat dengan tanah akan dilewati arus listrik I dan mengaktifkan relay differensial, yang kemudian akan bekerja dan menggerakkan pemutus daya. <sup>[6]</sup>

### 2.3.3 Penggunaan Relay Differensial<sup>[8]</sup>

Relay differensial merupakan suatu relay yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (balance), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan relay differensial sebagai relay pengaman, antara lain pada generator, transformator daya, bus bar, dan saluran transmisi. Relay differensial digunakan sebagai pengaman utama (main protection) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Relay ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat.

### 2.3.4 Tinjauan Beberapa Masalah Terhadap Relay Differensial

#### 1. Karakteristik CT

Relay differensial dalam operasinya bahwa dalam keadaan normal atau terjadi gangguan diluar daerah pengamanannya arus pada relay sama dengan nol. arus yang besar mengalir melalui suatu trafo arus maka arus pada terminal sekunder

---

<sup>[6]</sup>Samulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 99-100

<sup>[8]</sup>Ida, Susanto. 2017. *Penggunaan Relay Differensial*.

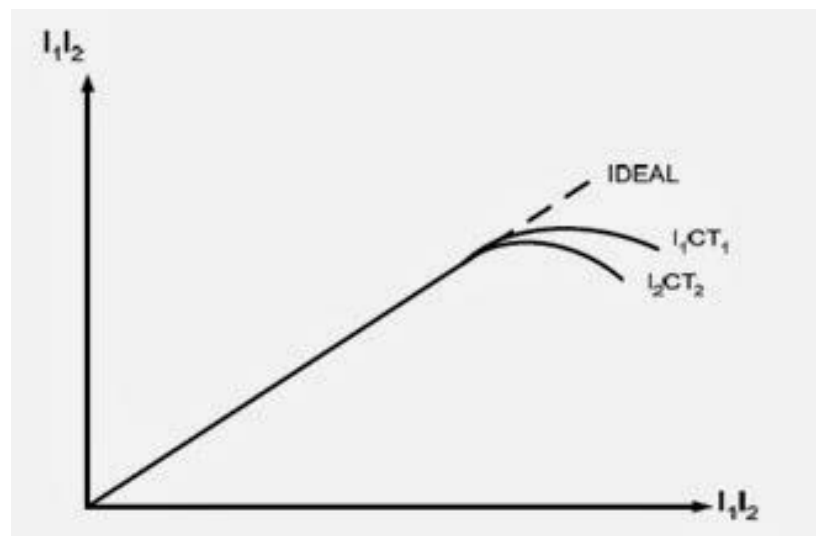
(<https://docplayer.info/47528660-Penggunaan-relay-differensial-relay-differensial-merupakan-suatu-relay-yang-prinsip-kerjanya-berdasarkan.html> diakses 12 Juli 2019).



tidak lagi linear terhadap arus primer. Hal ini disebabkan kejenuhan pada intinya.

Pada relay differensial trafo arusnya harus identik, namun kejenuhan intinya tidak dapat sama betul. Hal ini disebabkan perbedaan beban dari masing-masing trafo arus tersebut.

Karakteristik Trafo Arus pada relay differensial, seperti gambar 3.9. berikut ini :



Gambar 2.17 Karakteristik Trafo Arus (CT) Pada Relay Differensial

## 2. Perubahan Sadapan Berbeban

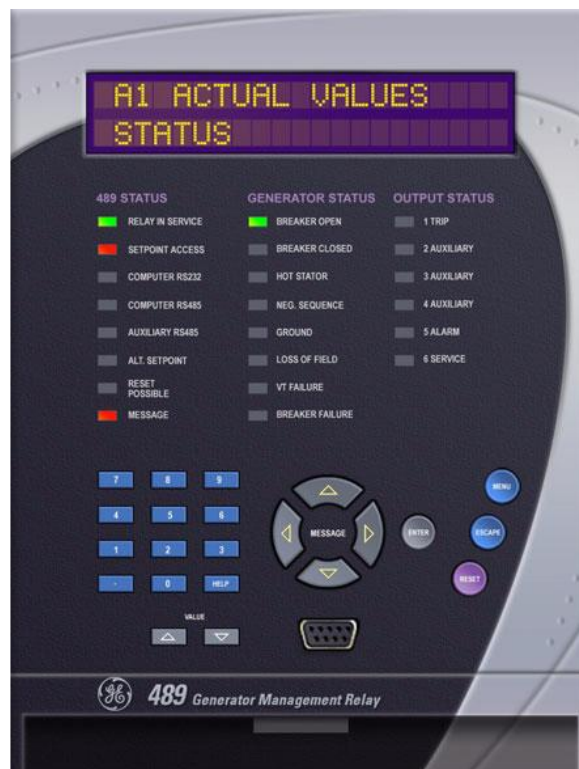
Pada saat ini umumnya transformator sudah dilengkapi dengan pengubah sadapan berbeban dimana tap input dapat dirubah untuk mendapatkan output yang dikehendaki. Penyetelan dari trafo-trafo arus pada transformator daya telah diset pada tegangan nominal dari transformator daya tersebut. Dengan demikian bila terjadi gangguan pada waktu operasi transformator tersebut, maka tegangan pada sisi primernya harus dirubah agar tegangan pada sisi sekundernya tetap. Oleh karena itu harga-harga tap trafo yang telah diset pada tegangan nominalnya tadi tidak akan tepat lagi. Hal tersebutlah yang menyebabkan terjadinya arus ketidak seimbangan yang dapat membuat relay salah kerja.



### 3. Adanya Arus Serbu Magnetisasi (Magnetising Inrush Current) Pada Trafo

Jika trafo daya dihubungkan kesuatu sumber tenaga (jaringan) maka pada sisi primernya akan terjadi proses transient yaitu meningkatnya arus yang dinamakan arus serbu magnetisasi (Magnetising Inrush Current) yang besarnya dapat mencapai 8 sampai 30 kali dari arus beban penuh yang terjadi dalam waktu relatif cepat. Peristiwa ini dapat membawa pengaruh terhadap kerja suatu relay kendatipun pada daerah pengamanan tidak terjadi kesalahan.

## 2.4 Rele GE-SR489<sup>[9]</sup>



Gambar 2.18 Rele GE-SR489

Management relay type GE-SR489 generator merupakan rele digital yang di desain dengan menggunakan standard ANSI *device number* untuk memproteksi

<sup>[9]</sup> Markham, Ontario. 2010. *489 Management Relay Instruction Manual Revision 4.0X*. Canada: GE Multilin.





generator dan *setpoint* untuk penyetelannya. Ada beberapa tipe kurva standar untuk arus lebih pada rele ini, diantaranya; ANSI (american national standart institute), IEC (international electrotechnical commisson), IAC dan yang lainnya ialah FlexCurve™ dan Definite Time. Namun kita hanya berfokus pada tipe ANSI karena pada generator pusri area 4 sendiri menggunakan satuan ANSI. Untuk lebih jelasnya lihat tabel tipe kurva standar ANSI dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Tipe Kurva Standar Untuk Arus Lebih

ANSI	IEC	GE Type IAC	Other
Extremely Inverse	Curve A (BS142)	Extremely Inverse	FlexCurve™
Very Inverse	Curve A (BS142)	Very Inverse	Definite Time
Normally Inverse	Curve A (BS142)	Inverse	
<b>Moderately Inverse</b>	Short Inverse	Short Inverse	

Management relay type GE-SR489 generator, merupakan relay yang berbasis mikroprosesor yang dirancang untuk perlindungan terhadap generator sinkron dan induksi. Dengan dilengkapi pengetripan dan alarm. Perlindungan generator, diagnostik kesalahan, pengukuran daya dan fungsi RTU diintergrasikan ke dalam satu paket alat yang ekonomis. Relay digital ini dapat disetel secara manual dan software ( *EnerVista* ).



Gambar 2.19 tampilan pada relay GE ER-489



### 2.4.1 Arus Nominal Beban Penuh

Rele SR489 mempunyai *Definite Time* alarm dan berbagai macam kurva trip arus lebih waktu terbalik untuk melindungi rotor generator dari panas berlebih (*Over Heating*) yang disebabkan oleh beban yang berlebihan atau penuh. Untuk mengetahui arus nominal beban penuh menggunakan rumus:

Berikut adalah rumus untuk nilai arus nominal pada generator :

$$I_{nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3}V_{nom}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$I_{nom}$  : Arus Nominal Generator

$S_{nom}$  : Daya Nominal Generator

$V_{nom}$  : Tegangan Nominal Generator

Untuk dapat menentukan arus hubung singkat dan impedansi ( $Z = \frac{V}{I}$ ) pada generator yaitu dengan rumus berikut:

$$Z_G = \frac{V \cdot V}{I \cdot V} = \frac{V^2}{V \cdot I} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$I_{HS} = \frac{V}{Z_G} \dots\dots\dots(2.5)$$

### 2.4.2 Penyetelan Arus Kerja pada Rele GE-SR489

Untuk mengetahui nilai arus aktual pada CT adalah sebagai berikut :

$$I_{CT} = \frac{I_A}{R_{CT}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan

$I_{CT}$  : Arus pada Transfomator arus

$I_A$  : Arus Aktual Generator

$R_{CT}$  : Rasio CT



### 2.4.3 Penyetelan Waktu *Trip* pada Rele GE-SR489

Untuk penyetelan waktu *trip* sendiri berbeda-beda tergantung pada standar kurva yang digunakan (lihat tabel 2.2), seperti standar kurva ANSI, IEC, GE Type IAC, FlexCurve™ dan Definite Time. Namun pada rele ini, Pusri IV menggunakan standar kurva ANSI dan standar kurva ANSI yang digunakan pada rele ini yaitu *Moderately Inverse*.

### 2.4.4 Penyetelan Waktu *Trip* Rele GE-SR489 standar ANSI

Kurva arus lebih standar ANSI merupakan bentuk kurva yang banyak dipakai untuk standard industri. Dan juga, kurva ANSI C37.90 memiliki klasifikasi untuk *Extremely*, *Very*, *Normally*, dan *Moderately Inverse*. Dengan rumus Waktu *trip* sebagai berikut:

$$T = M \times \left( A + \frac{B}{\left\{ \left( \frac{I}{I_{pickup}} \right) - C \right\}} + \frac{D}{\left\{ \left( \frac{I}{I_{pickup}} \right) - C \right\}^2} + \frac{E}{\left\{ \left( \frac{I}{I_{pickup}} \right) - C \right\}^3} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

T = Waktu *trip* (s)

M = *Multiplier setpoint* (Tms)

$I_{pickup}$  = Arus Kerja (A)

A,B,C,D,E = Konstanta standar ANSI

Untuk konstanta standar ANSI bisa dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Konstanta Standar ANSI

ANSI Curve Shape	Constants				
	A	B	C	D	E
Extremely Inverse	0.0399	0.2294	0.5000	3.0094	0.7222
Very Inverse	0.0615	0.7989	0.3400	-0.2840	4.0505
Normally Inverse	0.0274	2.2614	0.3000	-4.1899	9.1272
<b>Moderately Inverse</b>	<b>0.1735</b>	<b>0.6791</b>	<b>0.8000</b>	<b>-0.0800</b>	<b>0.1271</b>



#### 2.4.5 Penyetelan Waktu *Reset* Pada Rele GE-SR489

Untuk penyetelan Waktu *Reset* ( $T_{reset}$ ) pada rele GE-SR489 ini menggunakan rumus:

$$T_{reset} = \frac{E \times M \times Cr}{100} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$T_{reset}$  = Waktu *reset* (s)

E = Kapasitas Energi (100%)

M = *Time dial* (Tms)

Cr = Konstanta Karakteristik (5 untuk ANSI, IAC, Definite Time, FlexCurve™. dan 8 untuk kurva IEC)