



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator adalah mesin pembangkit listrik yang prinsipnya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, proses pembangkitannya sebagian besar dilakukan dengan cara memberi putaran pada generator sehingga di dapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik tiga fasa. Energi mekanik yang diperlukan untuk memutar generator didapat dari mesin penggerak generator atau biasa disebut penggerak mula (*prime mover*). Mesin penggerak generator yang banyak digunakan yaitu: mesin diesel, turbin uap, turbin air dan turbin gas. ^[2]

Adapun jenis gangguan dan masalah-masalah yang terdapat pada generator-generator antara lain sebagai berikut : ^[3]

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

^[2]Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik (Edisi Kedua)*. Jakarta: Erlangga. Hal. 1

^[3]Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset. Hal. 356-357



sehingga generator yang fungsinya mensuplai daya aktif akan berubah fungsi menjadi motor yaitu menyerap daya aktif. Keadaan inilah yang disebut dengan *motoring*.

- 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.



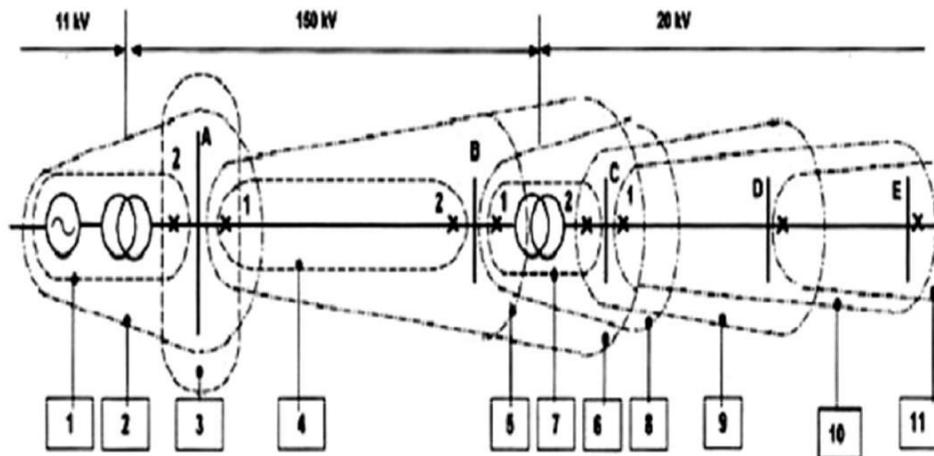
Gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari secara sempurna, akan tetapi yang dapat dilakukan adalah dengan cara mengurangi gangguan tersebut yaitu dengan jalan membatasi daerah gangguan sekecil mungkin, oleh karena itu diperlukan suatu sistem proteksi.

2.2 Sistem Proteksi ^[7]

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 Relai

Pengaman utama Generator – Trafo

^[7] Suprianto. 2015. Sistem Proteksi. (<http://blog.unnes.ac.id/antosupri/sistem-proteksi>, diakses 18 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.



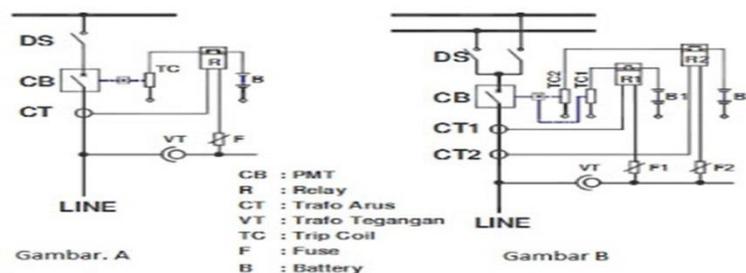
- c. Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

2.2.4 Komponen Peralatan Proteksi

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

- Relai 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 relai.
Trafo Tegangan : Meneruskan tegangan ke sirkit relai
- Battery (Aki) : Sebagai sumber tenaga untuk mengetrip PMT dan catu daya untuk relai (relai digital / relai statik) dan relai 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*).



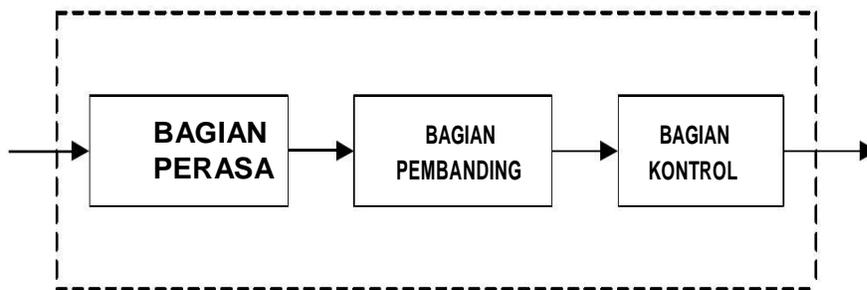
Gambar 2.2 Hubungan Komponen Proteksi Pada Suatu Sistem Proteksi (Suprianto, 2015)



2.2.5 Relai Proteksi

Relai proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Relai pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

Relai proteksi umumnya mempunyai tiga bagian umum yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan. Ketiga bagian umum tersebut adalah sebagai berikut : ^[5]



Gambar 2.3 Bagian Umum Suatu Relai 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.

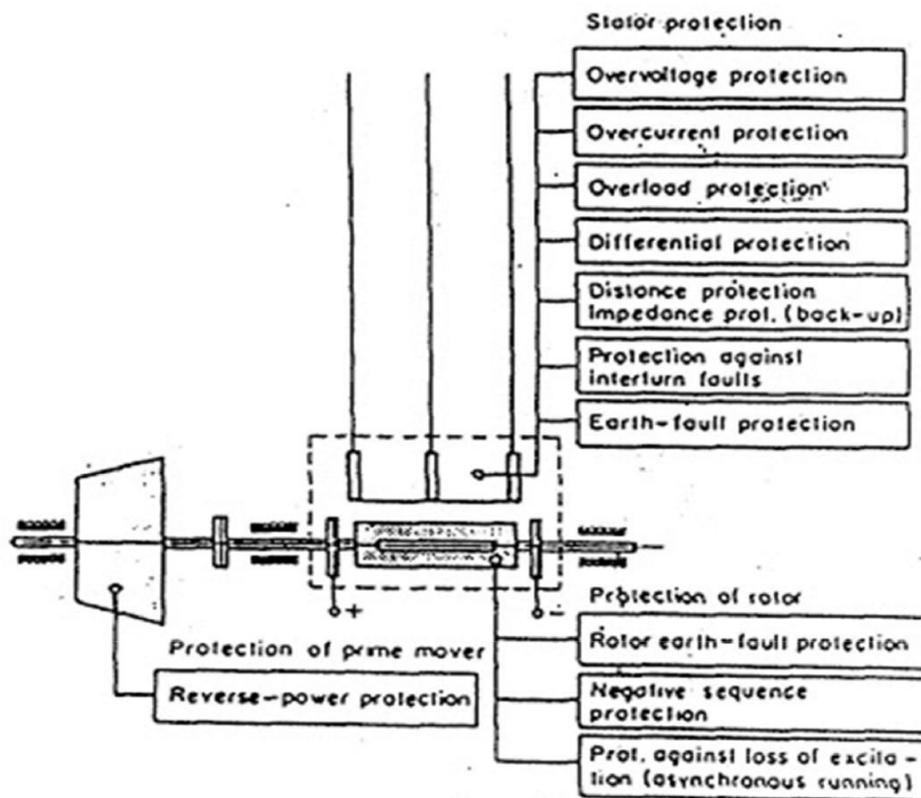
^[5]Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 70



Adapun relai-relai yang digunakan dalam sistem proteksi adalah :

2.2.5.1 Relai Proteksi Pada Generator ^[4]

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



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

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

^[4]Prast, Eko. 2011. *Generator Electrical Protection System*. (<http://projects87.blogspot.co.id/2009/02/generator-electrical-protection-relay.html>, diakses 18 Juni 2019).



1. Relai 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.

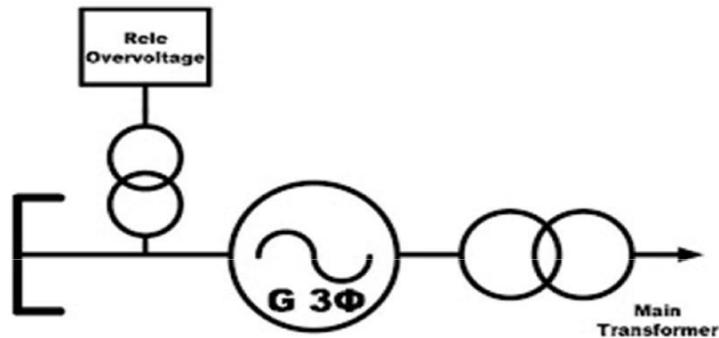
Arus hubung singkat yang terjadi di sekitar titik netral relatif kecil sehingga sulit untuk dideteksi oleh relai differensial. Dengan dipasang transformator tegangan, arus yang kecil tersebut akan mengalir dan menginduksikan tegangan pada sisi sekunder transformator. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan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

Tegangan yang muncul pada sisi sekunder transformator tegangan akan membuat relai 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 relai tegangan lebih di sisi netral generator. Dengan demikian relai tegangan lebih yang dipasang harus mempunyai waktu tunda yang dapat dikoordinasikan dengan relai 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* relai gangguan tegangan lebih adalah sebagai berikut :



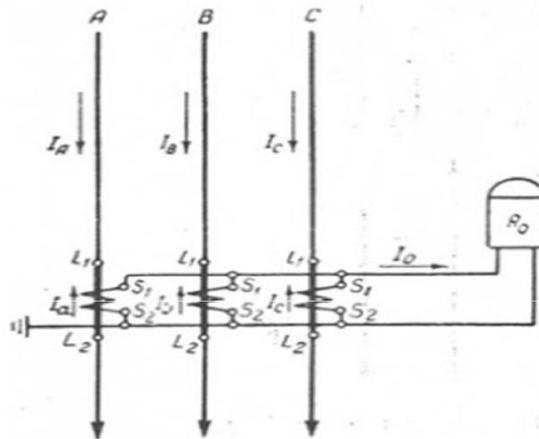
Gambar 2.5 *Single Line Diagram* Relai Tegangan Lebih Pada Generator (Prast, 2011)

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

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

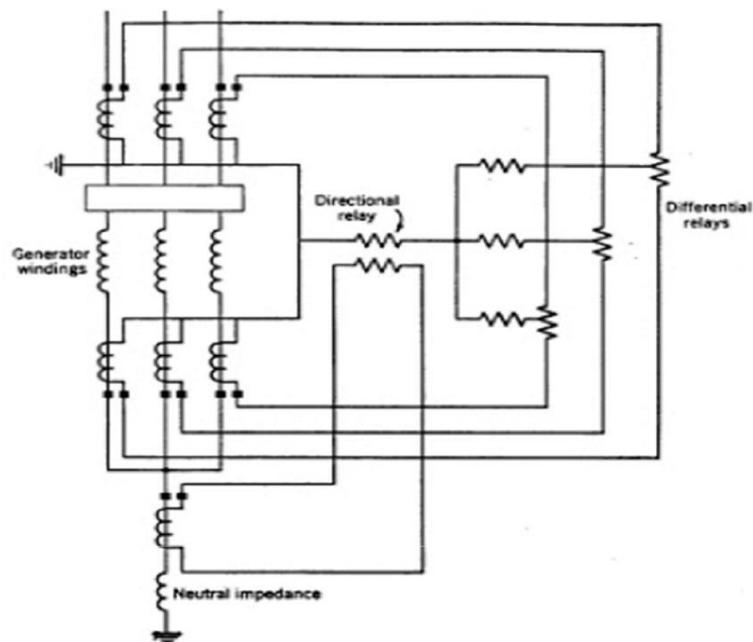
Relai gangguan tanah ini dipasang pada sirkuit stator seperti umumnya relai hubung tanah pada sirkuit 3 fasa yaitu dengan menjumlah melalui transformator arus ke 3 fasa yang ada. Jika tidak terdapat gangguan hubungan tanah jumlah ini sama dengan 0, tapi jika terdapat gangguan hubungan tanah maka jumlah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

Relai ini akan mendeteksi gangguan hubungan tanah yang terjadi pada sirkuit yang terhubung dengan sirkuit stator dari generator. Untuk membatasi pendeteksian gangguan hubungan tanah yang terjadi pada stator generator saja dipakai relai hubung tanah terbatas, dimana jumlah arus dari 3 fasa tersebut dijumlah lagi dengan arus yang dideteksi transformator arus pada konduktor pentanahan titik netral generator. Relai hubung tanah terbatas sesungguhnya merupakan relai diferensial khusus yang dirangkai untuk mendeteksi gangguan stator hubung tanah. Adapun *single line diagram* relai gangguan stator hubung tanah adalah sebagai berikut :



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

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



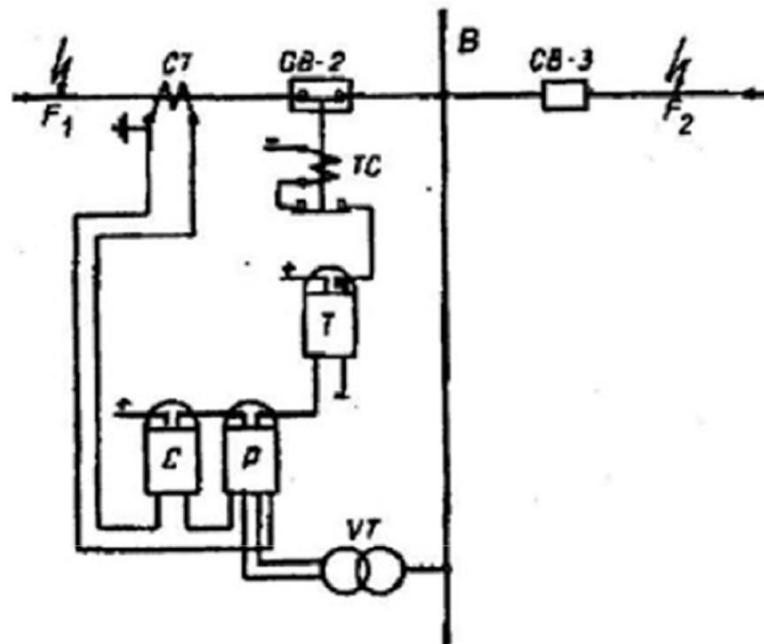
Gambar 2.7 *Single Line Diagram* Relai Gangguan
Stator Hubung Tanah Terbatas (Prast,
2011)



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

Relai 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 relai untuk *trip*. Akan tetapi pada generator juga dipasang relai daya balik yang berfungsi sebagai cadangan bila pengaman di turbin gagal bekerja. Adapun *single line diagram* relai daya balik adalah sebagai berikut :



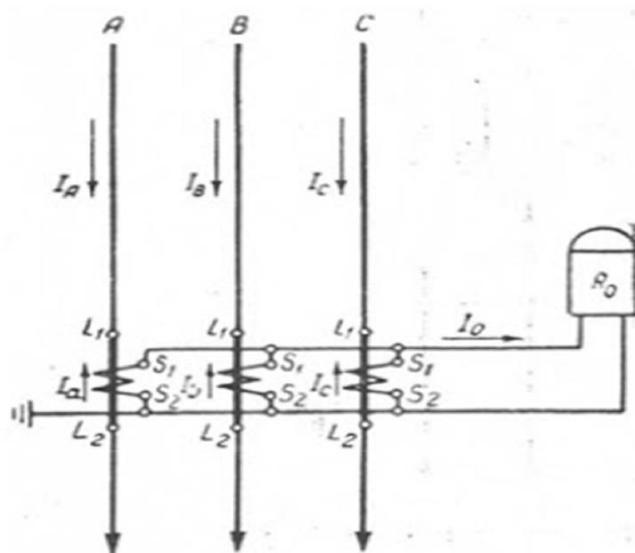
Gambar 2.8 *Single Line Diagram* Relai Daya Balik (Prast, 2011)



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

4. Relai 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 relai rotor hubung tanah. Karena sirkuit rotor adalah sirkuit arus searah, maka relai rotor hubung tanah pada prinsipnya merupakan relai arus lebih untuk arus searah. Adapun *single line diagram* relai gangguan rotor hubung tanah adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 *Single Line Diagram* Relai 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 relai dan membuat relai mendeteksi gangguan.

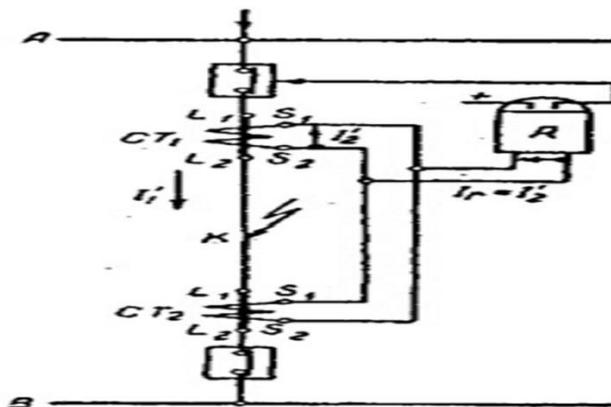


5. Relai Fasa Urutan Negatif (*Negative Phase Sequence Relay*)

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. Relai arus urutan negatif berfungsi untuk mendeteksi dengan karakteristik invers. Hal ini dikarenakan setiap jenis mesin sinkron memiliki harga yang berbeda.

6. Relai 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 Diferensial (Prast, 2011)

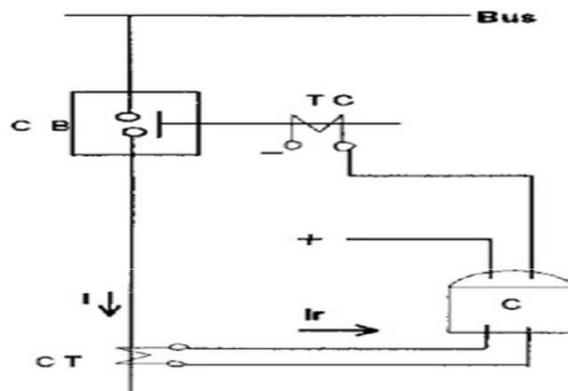


Dalam keadaan normal : $I_r = I'_2 - I''_2 = 0$ relai tidak kerja
 Gangguan di K : $I_r = I'_2$ relai kerja
 Gangguan di bus B : $I_r = I'_2 - I''_2 = 0$ relai tidak kerja

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

Relai 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* relai arus lebih adalah sebagai berikut

:



Gambar 2.11 *Single Line Diagram* Relai Arus Lebih (Prast, 2011)

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 relai

C = Relai arus lebih

I_p = Arus pick-up dari relai

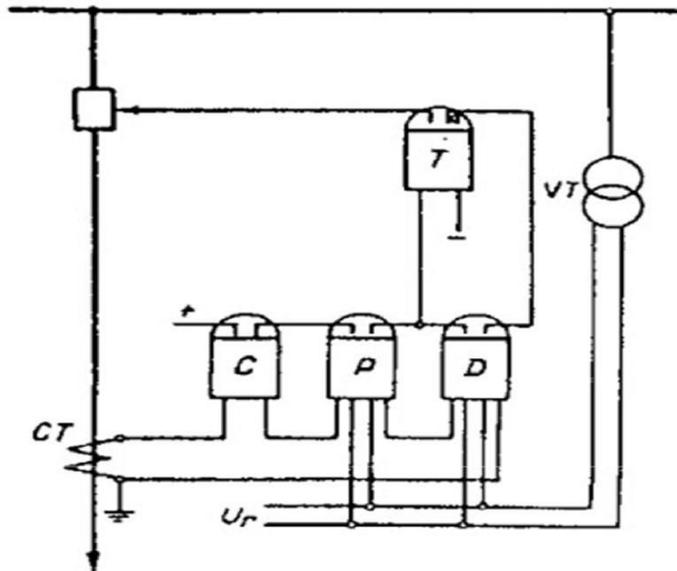


8. Relai Gangguan Frekuensi (*Frequency Fault Relay*)

Relai 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 relai frekuensi dipasang pada tiap fasa yang keluar dari generator.

9. Relai Impedansi (*Impedance Relay*)

Relai ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan antar fasa pada posisi output generator (di saluran penghantar atau *feeder*). Dengan adanya setting keterlambatan waktu, relai ini memberi kesempatan terlebih dahulu pada relai penghantar untuk mengatasi gangguan tersebut. Sensor relai ini berupa transformator tegangan, transformator arus, serta elemen *directional* yang hanya melihat gangguan yang ada pada posisi output generator saja, sehingga relai tidak akan bekerja karena zona tersebut tidak berada dalam zona pengamanan yang dapat diamankan oleh relai impedansi.



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

Keterangan :

C = elemen *starting*

P = *power directional*

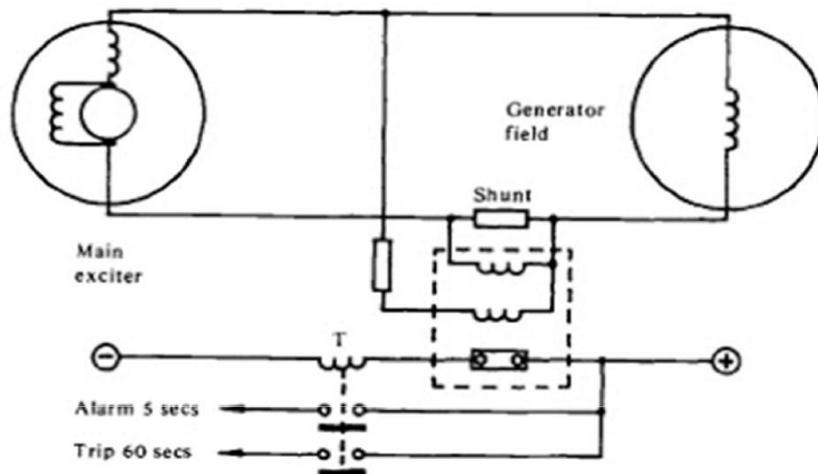
D = elemen/relai jarak

ratio $U_r/I_r = Z_{fault}$

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

10. Relai 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.

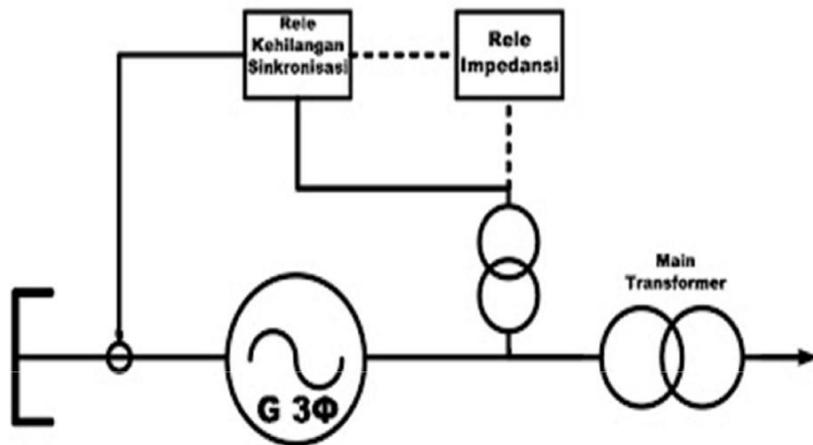


Gambar 2.13 Diagram Relai Kehilangan Medan Penguat Rotor (Prast, 2011)

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 relai mengeluarkan sinyal alarm atau *trip*.

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



Gambar 2.14 *Single Line Diagram* Relai Kehilangan Sinkronisasi (Prast, 2011)

2.2.5.2 Relai Proteksi Pada Transformator ^[2]

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. Relai Arus Lebih di sisi primer dan sisi sekunder

Relai 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. Relai Hubung Tanah

Relai 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. Relai hubung tanah pada prinsipnya adalah relai yang mendeteksi adanya arus urutan nol karena gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

^[2] Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik. (Edisi Kedua)*. Jakarta: Erlangga. Hal. 40



3. Relai Differensial

Relai 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 relai differensial ini. Relai differensial transformator pada prinsipnya sama dengan relai differensial generator.

4. Relai Hubung Tanah Terbatas

Relai ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi dalam transformator. Prinsip kerjanya hampir sama dengan relai 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. Relai Buchholz

Relai 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 relai ini bekerja dan men-*trip* pemutus tenaga (PMT) baik di sisi primer maupun sekunder.

6. Relai Suhu

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

7. Relai Tekanan Mendadak

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



8. Relai Arus Urutan Negatif

Apabila salah satu kawat fasa putus atau lepas kontak, maka timbul arus urutan negatif yang dapat dideteksi oleh relai arus urutan negatif ini.

2.2.5.3 Relai Proteksi Pada Transmisi ^[5]

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

1. Relai Jarak

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

2. Relai Differensial Pilot Kabel

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

3. Relai Arus Lebih Berarah

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

4. Relai Arus Lebih

Relai ini berfungsi untuk memproteksi SUTT/SKTT terhadap gangguan antar fasa, maupun gangguan hubung tanah dan relai ini berfungsi sebagai pengamanan cadangan bagi SUTT dan SKTT.

5. Relai Gangguan Tanah Berarah

Relai ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan hubung tanah.

^[5]Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 102-103



6. Relai Gangguan Tanah Selektif

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

7. Relai Tegangan Lebih

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

8. Relai Penutup Balik (*Recloser*)

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

9. Relai Frekuensi Kurang

Relai ini berfungsi untuk melepas SUTT/SKTT bila terjadi penurunan frekuensi sistem.

2.2.5.4 Relai Proteksi Pada Distribusi ^[5]

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 Relai arus lebih

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

3. CB dengan Relai arus tanah dengan arah

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

^[5]Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 114-116



4. CB dengan Relai arus tanah

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

5. CB dengan Relai *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 Relai Proteksi

Fungsi relai proteksi pada suatu sistem tenaga listrik antara lain : ^[1]

1. Membebaskan bagian / peralatan yang terkena gangguan atau sedang bekerja tidak normal (overvoltage, misalnya).

^[1]Irfan, Abdullah. 2019. *Fungsi Relay Pengaman*.
(<http://vnooss.net/fungsi-syarat-relay-pengaman.html>, diakses 18 Juni 2019).



2. Membebaskan segera peralatan atau bagian yang terjadi gangguan.
3. Melokalisir dampak gangguan.
4. Mampu dikoneksikan untuk membunyikan alarm saat terjadi gangguan.
5. Dapat memberikan petunjuk berupa lokasi dan jenis gangguan.
6. Mencegah kerugian material dan korban jiwa, seandainya terjadi gangguan pada sistem tegangan tinggi.

2.2.7 Syarat Relai Proteksi

Relai proteksi dalam fungsinya sebagai pengaman memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu : ^[6]

1. Kepekaan (*sensitivity*)

Pada prinsipnya relai 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 relai 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 relai 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.

[6] Saputra, Bayu. 2012. *Syarat Relai Pengaman*.
 (<http://bayu93saputra.blogspot.co.id/2012/10/syarat-relay-pengaman.html>, diakses
 18 Juni 2019).



Security, adalah tingkat kepastian suatu sistem relai 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 relai dan waktu kerja pemutus daya ($t_{\text{kerja}} = t_{\text{relai}} + t_{\text{pemutus daya}}$). Namun pengaman yang baik adalah pengaman yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50ms.

5. Sederhana (*Simplicity*)

Relai 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.



2.3 Transformator^[9]

Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain (belitan primer ke belitan sekunder) melalui sebuah gandengan magnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang tenaga listrik pada umumnya pemakai transformator dapat dikelompokkan dalam transformator daya, transformator distribusi dan transformator *instrument*.

Transformator *instrument* sendiri digunakan sebagai alat instrument pengukuran yang terdiri dari transformator arus (*current transformer*) dan transformator tegangan (*potential transformer*)

2.3.1 Transformator Tegangan

Trafo tegangan digunakan untuk menurunkan tegangan sistem dengan perbandingan transformasi tertentu. Transformator Tegangan/Potensial (PT) adalah trafo instrument yang berfungsi untuk merubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah sehingga dapat diukur dengan Volt meter.

Prinsip kerja trafo tegangan satu fasa sama dengan trafo arus. Bila pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan timbul gaya gerak magnet sebesar $N_1 I_1$. Gaya gerak ini memproduksi fluks pada inti, dan fluks ini membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Bila terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_1 .

^[9]Supriyadi. 2015. Rancang Bangun Sistem Telemetri Pengukuran Tegangan Dan Arus Listrik Dengan Tampilan Komputer Berbasis Atmega 328p, Lampung: Unila, Hal. 6

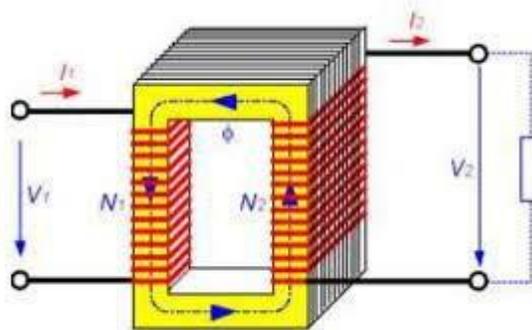


Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder. Pada trafo arus biasa dipasang burden pada bagian sekunder yang berfungsi sebagai impedansi beban, sehingga trafo tidak benar-benar short circuit. Apabila trafo adalah trafo ideal, maka berlaku persamaan :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- N_1 : Jumlah Lilitan Primer
- N_2 : Jumlah Lilitan Sekunder
- I_1 : Arus Primer
- I_2 : Arus Sekunder
- V_1 : Tegangan Primer
- V_2 : Tegangan Sekunder



Gambar 2.15 Prinsip Kerja Transformator Tegangan (Supriyadi, 2015)

2.3.2 Transformator Arus

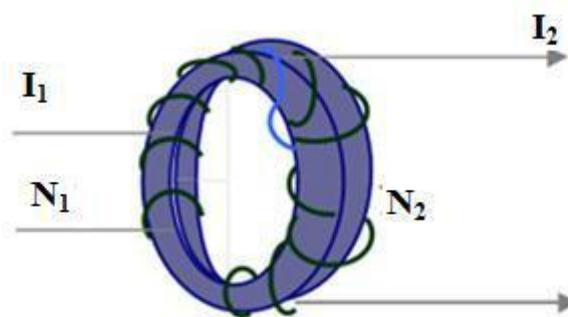
Trafo Arus (*Current Transformer*) adalah salah satu tipe trafo instrumentasi yang menghasilkan arus di sekunder di mana besarnya sesuai dengan ratio dan arus primernya, yang dipergunakan dalam rangkaian arus bolak-balik.



Transformator arus berfungsi untuk memperoleh arus yang sebanding dengan arus yang hendak diukur (sisi sekunder 5A atau 1A) dan untuk memisahkan sirkuit dari sistem yang arusnya hendak diukur (yang selanjutnya disebut sirkuit primer) terhadap sirkuit di mana instrumen tersambung (yang selanjutnya disebut sirkuit sekunder). Berbeda dari transformator tenaga yang arusnya tergantung beban di sisi sekunder, tetapi pada trafo arus seperti halnya amperemeter yang disisipkan ke dalam sirkuit primer, arusnya tidak bergantung beban di sisi sekunder, melainkan semata-mata tergantung pada arus di sisi primernya.

Pada transformator arus prinsip kerja transformator arus sama dengan Transformator daya. Jika pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet sebesar $N_1 I_1$. Gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti, kemudian membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Jika terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_2 , arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder.

Prinsip kerja trafo arus adalah sebagai berikut:



Gambar 2.16 Rangkaian Trafo Arus (Supriyadi, 2015)

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.2)$$



Dimana,

$$a = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

$I_1 > I_2$ sehingga $N_1 < N_2$,

Keterangan:

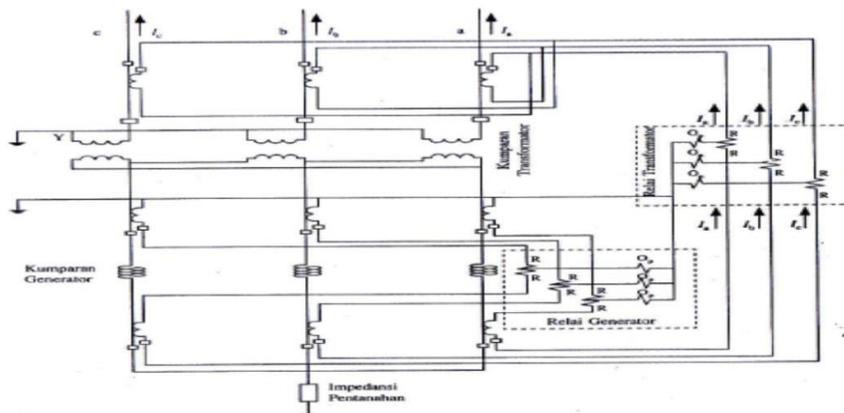
a : *Ratio*

N_1 : Jumlah lilitan primer,

N_2 : Jumlah lilitan sekunder.

2.4 Relai Differensial^[2]

Fungsi dari relai differensial adalah melindungi lilitan stator generator terhadap gangguan antar fasa kumparan stator. Walaupun relai differensial bekerja dan men-*trip* PMT utama generator serta PMT sirkuit penguat, sesungguhnya terjadi kerusakan pada kumparan stator generator. Namun dengan bekerjanya relai differensial diharapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan yang lebih berat pada kumparan stator generator. Kumparan *restraint* pada relai differensial dimaksudkan untuk menyetel kepekaan relai, 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 2.17 Proteksi Differensial Gangguan Antar Fasa Generator Beserta Trafo Block (Marsudi, 2011 : 339)

^[2] 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 relai differensial dijadikan satu kesatuan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.17. Pada Gambar 2.17 terlihat relai 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 Δ -Y. Tetapi hubungan kumparan trafo arus di sisi generator adalah Δ sedangkan hubungan trafo arus di sisi kumparan Δ 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 relai 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.

2.4.1 Fungsi Relai Differensial Pada Generator

Untuk menjaga kehandalan dari kerja generator, maka dilengkapilah 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 penggerak, karena generator digerakkan oleh mesin penggerak. Gangguan pada generator tidak dapat dihindari, namun gangguan dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

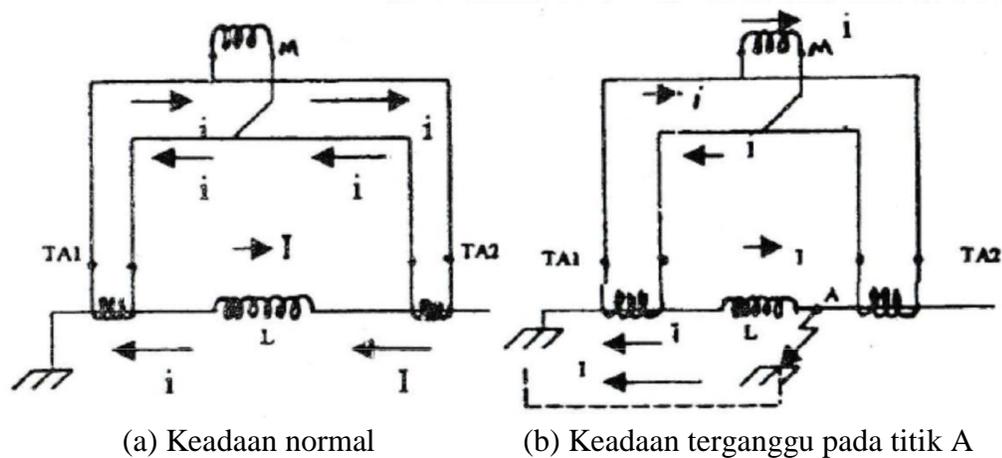


Fungsi relai differensial pada generator adalah sebagai berikut :

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.

2.4.2 Cara Kerja Relai Differensial^[5]

Relai 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 2.18 Cara Kerja Relai Differensial (Samaulah, 2004 : 99)

^[5]Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Cetakan Kedua. Palembang: Unsri. Hal. 99-100



Adapun cara kerja relai differensial adalah arus stator dimuka kumparan adalah sama dengan arus setelah kumparan. Pada Gambar 2.18 (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 2.18 (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 relai differensial, yang kemudian akan bekerja dan menggerakkan pemutus daya.

2.4.3 Setting Arus Relai Differensial

Untuk mendapatkan nilai arus *setting* I_{set} pada relai differensial, kita harus mengetahui nilai arus nominal dari generator tersebut terlebih dahulu. Berikut adalah rumus untuk nilai arus nominal pada generator:

$$I_{nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \times V_{nom}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

- I_{nom} : Arus nominal generator
- S_{nom} : Daya nominal generator
- V_{nom} : Tegangan nominal generator



Sedangkan untuk mengetahui nilai arus aktual CT adalah sebagai berikut :

$$I_{\text{aktual CT}} = \frac{I_{\text{aktual}}}{R_{\text{CT}}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$I_{\text{aktual CT}}$: Arus pada transformator arus

I_{aktual} : Arus aktual generator

R_{CT} : Rasio CT

Lalu untuk rekomendasi *setting* nilai arus *pickup* dan *break* adalah :

Untuk arus *setting pickup*:

$$I_{\text{nom set pickup CT}} = I_{\text{nom pickup CT}} - I_{\text{nom CT}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana,

$$I_{\text{nom pickup CT}} = I_{\text{nom CT}} + (I_{\text{nom CT}} \times \text{pickup}) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$I_{\text{nominal set pickup CT}}$: Arus nominal *setting pickup* CT

$I_{\text{nominal pickup CT}}$: Arus nominal *pickup* CT

I_{nominal} : Arus nominal generator

Pickup : Rekomendasi *setting* dari Pusri 1B (0,050 pu)

Kemudian, arus *setting break* :

$$I_{\text{nom set break CT}} = I_{\text{nom break CT}} - I_{\text{nom}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana,

$$I_{\text{nom break CT}} = I_{\text{nom CT}} \times f_k \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

$I_{\text{nom set break CT}}$: Arus nominal *setting break* CT

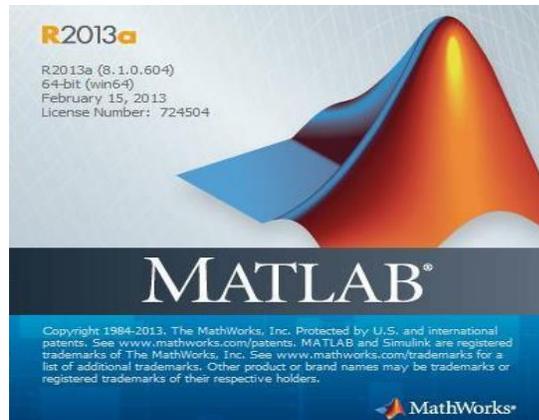
$I_{\text{nom break CT}}$: Arus nominal *break* CT

I_{nom} : Arus nominal generator

f_k : Faktor keamanan rekomendasi *setting* dari Pusri 1B
(1,15 pu)



2.5 MATLAB^[8]



Gambar 2.19 Aplikasi MATLAB

MATLAB[®] merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh *MathWorks* dan dikhususkan untuk komputasi numerik, visualisasi, dan pemrograman. Dengan memanfaatkan MATLAB, pengguna dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma, dan membuat model maupun aplikasi. Bahasa, *tools*, dan fungsi-fungsi *built-in* akan memudahkan pengguna untuk mengeksplorasi berbagai pendekatan dan memperoleh solusi dengan lebih cepat dibandingkan apabila menggunakan *spreadsheets* atau bahasa pemrograman tradisional, seperti C/C++ atau Java[™]. MATLAB menggunakan konsep *array* / *matrik* sebagai standar *variabel* elemennya tanpa memerlukan pendeklarasian *array* seperti pada bahasa lainnya. Selain itu juga dapat diintegrasikan dengan aplikasi dan bahasa pemrograman *eksternal* seperti C, Java, .NET, dan Microsoft[®] Excel[®].

[8] Rani, Septia. 2013. *Modul Pelatihan Pemrograman MATLAB*, Yogyakarta : UGM, Hal.1.



2.5.1 Sintak Dasar Pada MATLAB

Seperti bahasa pemrograman lainnya, MATLAB juga memiliki *sintak* tersendiri. Pada MATLAB hanya terdapat dua tipe data, yaitu *numerik* dan *string*. Tidak dibutuhkan pendeklarasian secara eksplisit karena tipe data akan dikenali oleh MATLAB secara otomatis. Namun demikian terdapat beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam penulisan sintak :

- Penamaan *variabel* bersifat *case sensitive*.
- Penamaan *variabel* harus selalu diawali dengan huruf, tidak boleh dengan simbol atau angka.
- Penamaan *variabel* dan *M-File* tidak boleh sama dengan nama-nama *default* yang dikenal MATLAB.

Cara Penulisan Variabel

Data *Numerik* Tunggal

`x = 20;`

Data *Numerik* Berdimensi Banyak (*Array/Matrik*)

`x = [20 11; 20 13];`

Data *String*

`x = 'bonjour';`

Berikut tabel operator yang digunakan dalam pemrograman MATLAB

Tabel 2.1 Operasi Matematika Pada MATLAB

Operasi	Simbol	Contoh
Perjumlahan	+	$X + Y$
Pengurangan	-	$X - Y$
Perkalian	*	$X * Y$
Pembagian	/ atau \	X / Y atau $X \setminus Y$
Perpangkatan	^	$X ^ Y$



Selain itu MATLAB juga menyediakan fungsi-fungsi matematika, diantaranya:

Tabel 2.2 Fungsi-fungsi Matematika Pada MATLAB

Fungsi	Deskripsi
exp	Eksponensial
log	Logaritma natural
log10	Logaritma basis 10
log2	Logaritma basis 2
sqrt	Akar pangkat
cos	Kosinus
sin	Sinus
tan	Tangen

2.5.2 GUI (*Graphical User Interface*)

Mengapa menggunakan GUI di MATLAB? Alasan utama menggunakan GUI karena dapat memudahkan *end-user* untuk mengoperasikan program yang telah dibuat. Jika tidak ada GUI, maka *user* harus bekerja melalui *interface command line* yang tentu saja lebih sulit.

Berikut cara menggunakan GUI:

1. Langkah pertama, pada *Command Window* ketikkan perintah berikut ini :

```
>> guide
```

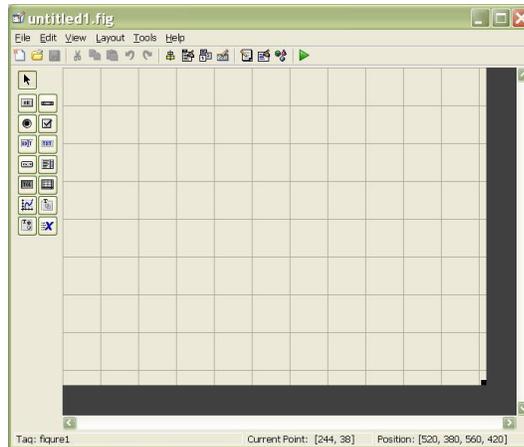
2. Selanjutnya akan muncul *window* seperti gambar di bawah ini. Pilih *option* pertama : *Blank GUI*.



Gambar 2.20 *Blank GUI*

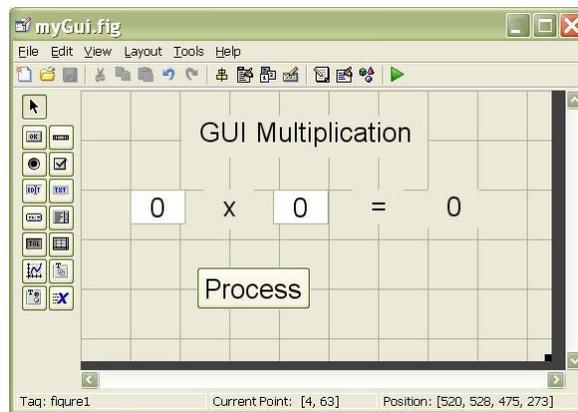


3. Selanjutnya akan muncul *window* seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.21 Tampilan *Figure* Kosong MATLAB

4. Sebelum menambahkan komponen pada *figure*, sebaiknya Anda sudah membuat desain / gambaran seperti apakah tampilan GUI nantinya. Berikut ini contoh dari tampilan GUI yang sudah jadi.



Gambar 2.22 Tampilan *Figure* yang Sudah Dibentuk

2.5.3 Menjalankan GUI

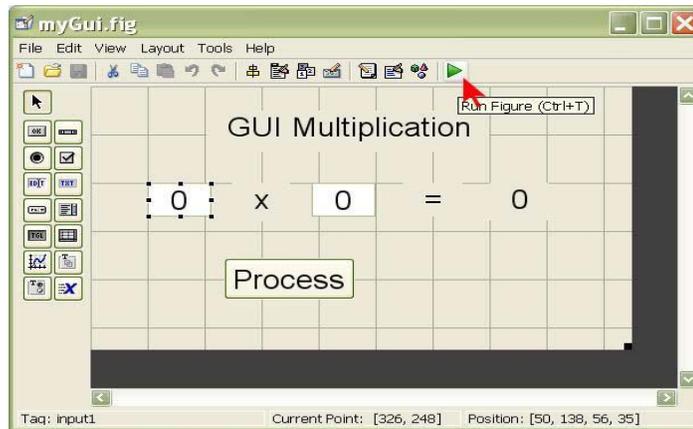
Terdapat dua buah cara untuk menjalankan GUI :

1. Menjalankan GUI dari *Command Window* MATLAB. Ketikkan perintah berikut ini :

```
>>myGui
```

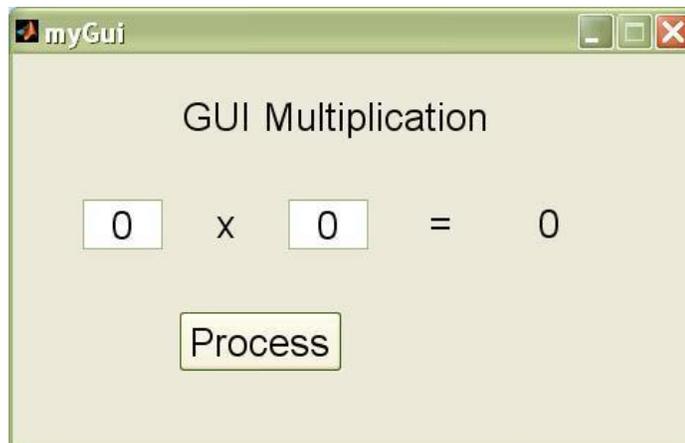


2. Melalui *GUIDE editor* atau *M-File editor*. Pilih icon  pada *GUIDE* seperti diperlihatkan gambar berikut ini :



Gambar 2.23 Tombol Untuk Menjalankan GUI

Selanjutnya akan muncul window baru yang merupakan GUI yang sudah Anda buat dan yang sudah di *coding*.



Gambar 2.24 Tampilan GUI yang Telah Dibuat dan Telah Diding