

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar-dasar Sistem Proteksi

Sistem proteksi atau pengaman suatu tenaga listrik yang membantu suatu pola pengaman tidak hanya rele pengaman saja tetapi juga Trafo Arus (Current Transformer) dan Trafo Tegangan (Voltage Transformer) yang merupakan sumber informasi dari rele pengaman. Sumber daya (DC Supply) yang merupakan sumber untuk mengoperasikan rele pengaman dan pemutus tenaga (Circuit Breaker) yang akan menerima perintah akhir dari rele pengaman. Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik adalah suatu kesatuan antara komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama-sama untuk tujuan dalam mengatasi permasalahan yang terjadi yang disebabkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi dalam sistem operasi komponen peralatan pengaman.

Adapun macam-macam gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik seperti :

1. Gangguan beban lebih Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut.
2. Gangguan Hubung Singkat Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa), 2 fasa ketanah dan 1 fasa ketanah yang sifatnya bisa temporer atau permanen.
3. Gangguan tegangan lebih Gangguan tegangan lebih terjadi akibat adanya kelainan pada sistem tenaga listrik, seperti tegangan lebih karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik.
4. Gangguan Ketidakstabilan Gangguan ini disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik atau lepasnya pembangkit, yang dapat menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron.

2.2 Dasar-Dasar Kegagalan Pada Sistem Proteksi

Penyetelan yang memenuhi semua kriteria diatas adakalanya sulit dicapai, yaitu terutama antara selektif dan cepat sehingga adakalanya harus diadakan kordinasi. Sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik. Tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal yang menimbulkan kegagalan pengamanan dapat dikelompokan sebagai berikut :

1. Kegagalan rele itu sendiri
2. Kegagalan pada rangkaian suplai dari trafo arus atau tegangan ke rele tersebut terbuka atau terhubung singkat.
3. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan.
4. Kegagalan pada pemutusan tenaga . kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan elktromagnetik tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaga.

Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokan menjadi :

1. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat dan pengaman jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele diferensial.
2. Pengaman cadangan umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan pada pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak seselektif pengaman utama.

Pada pengaman cadangan dapat dikelompokan menjadi dua macam yaitu :

1. Pengaman cadangan setempat yang berfungsi menginformasikan adanya gangguan tersebut kepada seluruh pemutus tenaga (PMT) yang terkait dengan kegagalan sistem proteksi sehingga pemutus tenaganya tidak terbuka.

2. Pengaman cadangan Dalam hal ini bila terdapat suatu kegagalan pada pengaman maka pengaman disisi hulunya harus dapat mendeteksi dan kemudian bekerja dengan suatu perlambatan waktu. Disamping hal diatas pada sistem pengamanan kita kenal disebut daerah pengamanan (Protection Zone) dalam hal ini semua komponen peralatan dalam sistem tenaga listrik harus termasuk didalam daerah pengamanan sehingga tidak ada daerah yang mati. Dalam menentukan kaidah penyetelan rele kesemua hal diatas menjadi suatu pertimbangan. Mengingat pada sistem distribusi pengamananya hanyalah rele arus lebih maka setiap rele berfungsi pengaman utama di daerahnya dan sebagai pengaman utama didaerahnya dan sebagai pengaman cadangan di seksi berikutnya sehingga jangkuan rele ini harus dapat mencapai satu seksi berikutnya dalam keadaan gangguan yang minimum.

Kekeliruan dalam perencanaan sistem pengaman pada sebagai sistem sedikit banyak akan mempengaruhi kinerja dari sistem. Hal-hal yang menentukan dalam perencanaan dan operasi guna menghindari gangguan adalah :

1. Kekuatan isolasi yang cukup.
2. Tahanan isolasi dengan kemampuan lightning arrester.
3. Menggunakan pelindung penghantar tanah (ground wire) dan tahanan kontak ke tanah dari menara ya terendah.
4. Merencanakan kekuatan mekanis.
5. Operasi dan perawatan yang sesuai.

2.3 Bagian Dari Suatu Sistem Proteksi

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan penyediaan dan penyaluran energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik tersebut adalah suatu kesatuan antara PMT atau CB, Transduser dan rele. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut dapat berakibat sistem proteksi tersebut tidak dapat berjaan dengan baik.

2.3.1 Rele

Rele proteksi adalah susunan peralatan pengamanan yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidakstabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga untuk memisahkan sistem yang terganggu sehingga sistem yang lainnya dapat beroperasi secara normal.

bagian dari sistem proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.1 Bagian rele pengamanan¹

1. Bagian perasa

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

2. Bagian pembanding

Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak.

3. Bagian kontrol

Pada bagian ini pembukaan pemutus tenaga (PMT) atau pemberian sinyal/tanda diatur dan dilaksanakan.

2.3.2 Transformator Ukur

Sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke rele (besaran listrik sekunder), transformator arus (CT) berfungsi sebagai pengindera yang apakah keadaan yang diproteksi dalam keadaan normal atau mendapatkan gangguan. Transformator arus adalah suatu transformator yang berfungsi mengubah besaran arus primer yang tinggi menjadi arus sekunder yang lebih rendah serta memisahkan sisi sekundernya dengan sisi primer secara listrik dari jaringan tegangan tinggi.

¹ Hazairin Simaulah, Dasar – Dasar istem Proteksi Tenaga Listrik, hal.70

2.3.3 *Circuit breaker* (CB) / Pemutus tenaga (PMT)

PMT berfungsi untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu. PMT dapat dioperasikan yaitu ditutup atau dibuka dengan mempergunakan sistem proteksi. Dengan demikian sebuah pemutus tenaga dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana arus saluran, tegangan saluran atau frekuensi sistem melampaui batas tertentu. Jenis – jenis pemutus tenaga berdasarkan media pemutusannya yaitu:

1. Pemutus tenaga minyak (*oil circuit breaker*)

Pemutus tenaga minyak terdiri atas sebuah tangki atau bejana yang terbuat dari baja yang diisikan dengan minyak isolasi. Pada salah satu versi, isolator tembus (*bushing*) memasukkan tegangan fasa dan dihubungkan dengan suatu kontak tetap yang tidak bergerak. Kontak yang bergerak dikendalikan oleh rele yang dapat menutup atau membuka rangkaian.

Ketika rangkaian berada dalam keadaan tertutup, dan kontak tetap lalu kontak bergerak berada dalam keadaan terhubung maka arus listrik mengalir. Bilamana beban lebih sehingga arus lebih bekerja, kontak bergerak akan ditarik keluar dari kontak tetap agar hubungan jaringan menjadi terbuka. Pada saat kedua kontak membuka, terjadi suatu busur api yang sangat kuat dan juga gas – gas panas. Tekanan dari gas panas inilah yang menyebabkan terjadinya turbulensi dari minyak sekitar busur api. Hal itu mengakibatkan minyak yang dingin mengitari busur api dan memadamkannya. Pada pemutus tenaga minyak yang modern busur api dialokasikan dalam ruang pemadam sehingga tekanan gas panas menghasilkan suatu semburan minyak melintasi busur api.

2. Pemutus tenaga udara tiup (*air blast circuit breaker*)

Pemutus tenaga udara tiup tidak menggunakan minyak. Pada pemutus jenis ini udara bertekanan tinggi dengan kecepatan

supersonic melintasi busur api. Udara bertekanan tinggi itu disimpan dalam sebuah tangki dan diisi sebuah compressor, sehingga pemutus tenaga udara bertekanan dengan daya besar dapat membuka arus hubung singkat sebesar 40 kA pada tegangan 500 kV. Kebisingan yang terjadi saat pelepasan udara itu sedemikian nyaring sehingga lebih menyerupai ledakan yang dahsyat. Bilamana GI terletak dekat daerah pemukiman, perlu diatus agar kebisingan itu dikurangi.

3. Pemutus tenaga SF₆ (SF₆ *circuit breaker*)

Pemutus tenaga SF₆ merupakan sistem yang sepenuhnya tertutup, dan diisolasikan dengan gas Sulfur Hexafluorida (SF₆). Jenis pemutus tenaga ini sangat baik namun mahal. Karena bentuknya yang kompak, peralatan yang berisolasi SF₆ dipakai ditempat – tempat yang harga tanahnya tinggi, seperti di tengah kota besar. Kini terdapat pula GI yang berisolasi yang berisolasi gas SF₆. Gas SF₆ merupakan suatu terobosan sebagai bahan isolasi dan pemadaman bagi pemutus tenaga yang memiliki stabilitas termal yang tinggi, tidak beracun dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Pada tekanan yang sama, gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik 2,5 sampai 3 kali dari udara dan juga pada tekanan yang lebih rendah, gagal isolasi masih tinggi, dan menyamai yang dari minyak atau bahan isolasi padat. Kemampuan isolasi SF₆ untuk sebagian diperoleh dari sifatnya yang elektromagnetik sehingga menarik elemen – elemen bebas ke molekul.

4. Pemutus tenaga vakum (*vaccum circuit breaker*)

Pemutus tenaga vakum bekerja atas dasar prinsip lain, karena terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak – kontak terbuka. Pemutus tenaga jenis ini tertutup secara rapi,

tidak boleh bocor karena tidak terdapat kebisingan atau polusi. Kemampuannya terbatas hingga kira –kira 30 kV. Untuk tegangan yang lebih tinggi pemutus ini dipasang secara seri. Pemutus tenaga vakum banyak dipakai pada sistem bawah tanah ACR (*automatic circuit recloser*).²

2.4 Rele Proteksi

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen. Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan ataupun mengukur adanya gangguan atau merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuat pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi syarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya. Dengan besaran yang telah ditentukan kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

² Hazairin Simaulah, Dasar-Dasar sistem proteksi tenaga listrik, Hal 88-92

2.4.1 Rele Pengaman Generator

1. Relai stator hubung tanah (64G)

Digunakan sebagai pengaman listrik, bila terjadi hubungan antara stator dan tanah (gangguan satu fasa ketanah) Gangguan dapat terjadi distator yang disebabkan:

- Kerusakan pada laminating dari inti stator.
- Hubung singkat antara gulungan stator di dalam slot dan inti stator, kesalahan ini yang paling umum di alami oleh generator. Kesalahan ini disebabkan mekanik atau panas ,karena kerusakan pada bahan isolasi saat pengecatan dibelitan (saat pemeliharaan).

2. Relai daya balik (reserve power relay) (32)

Daya balik dapat terjadi karena adanya pasokan listrik dari generator lain yang diparalel, atau generator diputar dari sistem saat exitasinya mengalami gangguan. Bila didiamkan akan merusak mesin penggerak generator, untuk itu dibutuhkan pengaman daya balik yang disebut Reserve Power Relay (32), dimana relai ini sebagai pengaman bagi mesin penggerak generator, karena daya balik yang masuk dari generator lain yang diparalel dapat menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan, antara lain:

- Daya balik pada generator yang digerakkan oleh turbin uap dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada sudu-sudu turbin.
- Bagi yang digerakkan oleh turbin air dapat menimbulkan gravitasi yang berlebihan pada sudu turbin air
- Pada turbin gas, kemungkinan dapat menimbulkan pemanasan lebih pada sudu sudu turbin gas karena gas pembakaran yang demikian tentu tidak mempunyai suhu yang tinggi (yang cukup untuk membangkitkan daya).
- Sedangkan pada generator yang digerakkan oleh mesin diesel (daya kecil), daya balik pada generator tidak menimbulkan masalah bagi mesin diesel, sebagai contoh dapat dilihat bahwa mobil yang

digerakkan dengan mesin diesel dapat melakukan pengereman dengan mesin ketika menempuh jalan yang menurun. Keadaan mesin diesel mobil yang dipakai untuk mengerem dengan mesin adalah sama dengan mengalami daya balik apabila ia menggerakkan generator.

Sejak generator kehilangan penggerak mulanya, (generator listrik tidak terganggu), ada aliran arus dari generator lain yang diparalel atau dari sistem yang di interkoneksi, akan masuk ke generator tersebut.

Sehingga generator yang seharusnya menghasilkan listrik, tetapi sekarang menjadi motor penggerak, dimana sumber listriknya melalui terminal stator. Putaran dari motor listrik ini dapat merusak sudu-sudu turbin, pada turbin uap atau turbin gas. Sumber listrik dari sumber lain ini harus diputus/di lepas secara otomatis sebelum penggerak mulanya shut down.

3. Differensial relay (87G)

Digunakan sebagai pengaman listrik, bila gangguan hubung singkat terjadi antara belitan di stator. Differensial Relay akan trip/bekerja, karena adanya Gangguan hubung singkat yang disebabkan karena adanya:

- Kerusakan lilitan stator generator karena sambaran petir.
- Kerusakan lilitan stator generator karena adanya bagian dari rotor yang lepas dan menghantam lilitan stator
- Hubung singkat lilitan stator generator karena minyak pelumas atau air pendingin dari mesin penggerak bocor dan mengenai lilitan stator
- Adanya binatang yang mengenai terminal lilitan stator generator
- Ujung-ujung kumparan stator terkena tekanan mekanis sehingga isolasinya rusak dan terjadi gangguan hubung singkat antar lilitan stator

- Untuk generator yang mempunyai trafo tenaga untuk daerah pengamannya, bila gangguan yang terjadi didaerah tersebut, maka differential generator yang trip.

4. Overcurrent relay (51/51 N)

Digunakan sebagai pengaman listrik, bila Gangguan hubung singkat terjadi antara belitan fasa (2 fasa atau 3 fasa) dapat terjadi di stator atau rotor generator, bila gangguan ini bertahan lama dapat merusak isolasi dari generator itu sendiri.

5. Undervoltage relay (27)

Relai ini mengamankan generator, karena adanya indikasi:

- Generator mengalami beban lebih dari kapasitasnya (setelah spinning reserve), sehingga tegangan di generator menjadi turun dibawah standar.
- Karena kerusakan pada Automatic Voltage Regulation (AVR) yang mengatur bekerjanya turun naiknya tegangan.
- Atau terjadi gangguan hubung singkat disistem tenaga listrik yang menyebabkan tegangan turun, tetapi pengaman di penghantar terlalu lama tripnya atau tidak trip.

6 Over frequency relay (81 O)

Relai ini mengamankan generator, karena adanya indikasi:

- Saat beban lepas, karena adanya gangguan hubung singkat di beban atau penghantar, dimana pengaman digenghantar trip.
- Sehingga daya beban lebih kecil dari daya generator. Karena daya yang dipasok generator rendah mengakibatkan putaran generator naik (over speed). Kenaikan putaran ini menaikkan frekwensi dari generator
- Govemor tidak mampu merespon/menutup bahan bakar saat turunnya beban secara mendadak ke kondisi normal.

Karena putaran generator cepat, dapat mengakibatkan vibrasi pada mesin, kerusakan pada yang fondasi dan frekwensi ke beban naik diatas standar (> 52 Hz). Untuk mengamankan generator dan sistem dibutuhkan pengaman, yaitu Over frequency Relay (81 O).

7. Under Frequency Relay (81 U)

- Karena adanya generator yang trip karena gangguan, sehingga Daya Generator lebih kecil dari beban, bila governor tidak cepat respon maka frekwensi generator bisa < 50 Hz
- Adanya penambahan beban secara mendadak disistem tenaga listrik, sehingga daya generator $<$ daya beban.

8. Over voltage relay (59)

Relai ini mengamankan generator, karena adanya indikasi:

- Karena adanya gangguan di penghantar dan pengamannya trip (beban lepas), tetapi governor tidak cepat merespon.
- Atau adanya kerusakan pada Automatic Voltage Regulation (AVR) untuk mengatur bekerjanya turun naiknya tegangan.

Relai ini membutuhkan Potensial dipergunakan untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah yang dibutuhkan relai. Dan sebaiknya Relai ini dipasang pada generator yang mempunyai daya > 10 MVA dengan tegangan > 6 KV

9. Loss-of-field relay protection (40)

Relai kehilangan medan (loss of field relay) adalah untuk mengamankan generator bila terjadi kehilangan medan listrik, karena:

- Gangguan pada medan listrik dan terbukanya breaker
- Gangguan pada automatic voltage regulation (AVR), sehingga arus medan berkurang yang menuju zero.

2.4.2 Rele Pengaman Trafo

1. Differensial Relay (87T)

Digunakan sebagai pengaman listrik, pada trafo tenaga dengan daya besar > 10 MVA, Gangguan ini dapat terjadi antara belitan primer atau sekunder yang disebabkan adanya:

- Gangguan hubung singkat di jaringan dengan arus besar, arus ini dapat menyebabkan gaya mekanis yang besar pada konduktor sehingga belitan/konduktor menjadi panas, naiknya temperatur
- pada konduktor dapat merusak kertas isolasi pembungkus konduktor belitan tersebut.
- partial discharge memburuk, akibatnya pembentukan karbon dari minyak yang terurai menjadi lebih cepat menjadi jembatan gangguan antar lilit

2. Buchholz Relay

Digunakan sebagai pengaman bukan listrik, tetapi berfungsi mendeteksi adanya gas yang ditimbulkan oleh loncatan bunga api dan pemanasan setempat dalam minyak trafo.

Relai bekerja karena:

- Adanya gas H_2 dan C_2H_2 disebabkan adanya arcing dalam minyak trafo
- Adanya gas H_2 , C_2H_2 , dan CH_4 disebabkan adanya arcing karena keburukan isolasi misal gangguan pada tap changer
- Adanya gas H_2 , CH_4 dan C_2H_4 disebabkan pemanasan pada sambungan inti besi
- Adanya gas H_2 , C_2H_4 , CO_2 dan C_3H_8 karena pemanasan pada belitan.

3. Proteksi panas yang berlebih (overheating protection) 49

Relai suhu/temperatur adalah relai mekanis yang berfungsi untuk mendeteksi suhu minyak dan kumparan secara langsung. Relai ini

dipasang pada semua trafo daya, dimana relai ini mempunyai sensor temperatur yang ditempatkan pada poket berisi minyak

4. Jansen relay (26)

Digunakan sebagai pengaman bukan listrik, tetapi berfungsi mendeteksi adanya gelembung-gelembung gas pada tap changer trafo tenaga saat ada pemindahan tap trafo terjadi arcing pada bantalan kontak tap minyak tap terurai oleh arcing menjadi karbon yang mengotori minyak sehingga kuat dielektrik dari minyak mulai menurun, karena penurunan minyak bantalan kontak dapat rusak, dimana nilai tahanannya menjadi naik dan timbul panas sewaktu belitan dialiri arus beban dapat memproduksi gelembung, kalau produksi gelembung cukup banyak, jansen relay bekerja

5. Over current rslay (51)

Digunakan sebagai pengaman listrik, pada trafo tenaga bila beban disisi sekunder mempunyai beban diatas kapasitas arus dari trafo. Atau Berfungsi mengamankan trafo dari gangguan hubung singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman trafo

6. Relai tekanan.

Digunakan sebasgai pengaman bukan listrik, tetapi untuk mengamankan trafo bila temperatur minyak niaik karena beban lebih menyebabkan minyak panas, dan gas yang timbul dapat menaikkan tekanan dalam body trafo. Untuk mengamankan trafo dari tekanan yang besar maka Relai tekanan bekerja.

7. Relai tangki

Digunakan sebagai pengaman listrik bila terjadi kebocoran listrik dari belitan fasa ke body trafo. Yang tidak dapat dimonitor oleh pengaman diffrential relay atau berfungsi untuk mengamankan trafo

terhadap hubung singkat antara fasa dengan tangki trafo dan trafo yang titik netralnya ditanahkan.

2.4.3 Rele Pengaman Transmisi

1. Relai Jarak (21)

Berfungsi mengamankan saluran udara tegangan tinggi dari gangguan antar fasa maupun gangguan hubung tanah dengan setelan impedansi ,gangguan ini disebabkan:

- Pentanahan menara transmisi kurang baik $R > 1$ ohm, bila terdapat petir dapat mengalir ke penghantar fasa melalui isolator.
- Pepohonan atau binatang yang menyentuh penghantar fasa

2. Relai differential pilot kabel (87)

Berfungsi mengamankan saluran kabel tegangan tinggi atau saluran udara tegangan tinggi yang mempunyai jarak pendek < 100 kms dari gangguan antara penghantar fasa maupun gangguan fasa ke tanah.

3. Relai arus lebih berarah, (67)

Berfungsi mengamankan SUTT dari gangguan antar fasa, dan hanya bekerja pada satu arah relai ini yang dapat membedakan arah arus gangguan yang terjadi

4. Relai arus lebih (51),

Berfungsi mengamankan saluran udara tegangan tinggi dari gangguan antara gangguan penghantar fasa ke tanah.

5. Relai tegangan lebih (59),

Berfungsi mengamankan saluran kabel tegangan tinggi atau saluran udara tegangan tinggi terhadap tegangan lebih, karena penghantar transmisi dekat dengan pusat listrik bila beban lepas dari sistem tegangan dapat naik di generator karena over speed.

6. Relai gangguan tanah

Digunakan sebagai pengaman listrik yang berfungsi mengamankan saluran udara tegangan tinggi dari gangguan hubung tanah.

7. Relai penutup balik,

Digunakan sebagai pengaman listrik pada saluran udara tegangan tinggi, yang berfungsi bila terjadi gangguan hubung singkat temporer (singkat) dapat normal kembali secara otomatis.³

2.5 Klasifikasi Rele Proteksi

Rele – rele yang akan digunakan dalam sistem proteksi tenaga listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

2.5.1 Berdasarkan prinsip kerja

Rele proteksi ditinjau berdasarkan prinsip kerjanya dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Rele Temperatur (Thermal Relay) Rele jenis ini bekerja berdasarkan pengaruh panas, yaitu mendeteksi arus listrik dengan pertambahan temperatur yang ditimbulkan akibat arus yang melewatinya. Rele proteksi ini juga dapat bekerja karena ketidak seimbangan arus listrik yang menyebabkan kenaikan temperatur akibat komponen urutan negatif. Rele jenis ini sering dipakai untuk memproteksi peralatan sistem terhadap kehadiran arus yaitu dengan mendeteksi panas yang terjadi akibat arus lebih tersebut.
2. Rele Elektromagnetik (Electromagnetic Relay) Rele jenis elektromagnetik ini dapat bekerja menggunakan sumber bolak – balik atau sumber arus searah sebagai penginduksi kumparan untuk membentuk magnet pada kumparan yang fungsinya untuk menggerakkan anak kontak untuk memutuskan rangkaian.

³ Sarimun Wahyudi, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, hal. 13-23

3. Rele Statis (Static Relay) Rele proteksi jenis statis adalah rele proteksi yang bekerja dengan menggunakan komponen – komponen elektronik seperti : transistor, dioda dan thyristor.

2.5.2 Berdasarkan Besar Ukuran dan Fungsinya

Sistem proteksi ditinjau berdasarkan besaran ukuran dan fungsinya dapat diklasifikasikan menjadi lima yaitu :

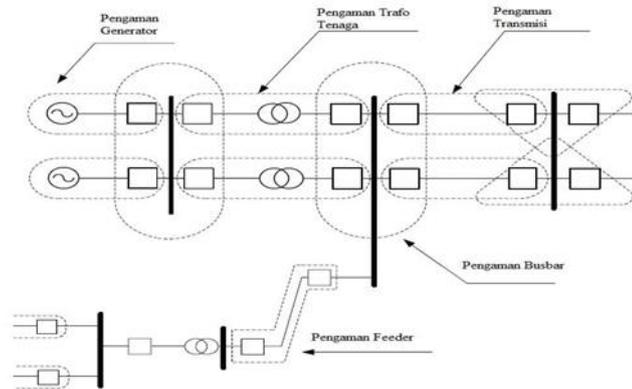
1. Rele proteksi yang bekerja bila besar ukurannya turun sampai dibawah harga tertentu, rele jenis ini contohnya : rele tegangan kurang (Under Voltage Relay), rele frekuensi kurang (Under Frekuensi Relay).
2. Rele proteksi yang akan bekerja bila besaran ukurnya melebihi harga tertentu, rele jenis ini contohnya : rele arus lebih (Over Current Relay), rele tegangan lebih (Over Voltage Relay).
3. Rele Daya yaitu jenis rele berarah, rele ini akan bekerja bila arah daya mengalir ke suatu arah tertentu yang tidak dikehendaki
4. Rele proteksi jenis differensial yaitu jenis rele proteksi yang akan bekerja berdasarkan perbedaan tegangan atau perbedaan arus antar fasa.
5. Rele jarak yaitu rele proteksi yang bekerjanya berdasarkan pada perbandingan harga tegangan dan arus. Jadi dapat dikatakan bahwa besaran yang dideteksi adalah impedansi.

2.6 Daerah Pengamanan Rele Proteksi

Sistem tenaga listrik yang dibagi dalam daerah pengamanan adalah:

1. Generator
2. Transformator daya
3. Busbar
4. Transmisi
5. *Feeder*

Pembagian dalam 5 daerah pengamanan dilaksanakan dengan saling berhubungan meliputi daerah pengaman didekatnya. Sebagai contoh sistem tenaga listrik dan daerah pengamanannya diperlihatkan pada gambar 2.2. dibawah ini



Gambar 2.2 Pengaman Utama Pada Sistem Tenaga⁴

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

- a. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi kehandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem 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.

2.7 Syarat Rele Proteksi

Apabila terjadi suatu gangguan di dalam rangkaian listrik, instalasi harus diamankan dan bagian yang terganggu harus dipisahkan dalam waktu yang secepatnya guna mencegah atau memperkecil kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan tersebut. Hal ini perlu dilakukan secara otomatis dan selektif, sehingga bagian instalasi yang tidak terganggu dapat berfungsi secara kontinyu. Untuk itu rele pengaman harus mempunyai sifat – sifat utama suatu pengaman, yaitu:

1. Selektifitas

⁴ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik: hal 12

Sistem proteksi harus selektif dan memilih dengan tepat bagian mana dari instalasi yang terganggu dan harus dipisahkan dari rangkaian yang tidak terganggu dan harus terus beroperasi.

2. Sensitifitas

Sistem proteksi perlu memiliki suatu tingkat sensitifitas 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 terjadi.

4. Cepat

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan, sehingga meningkatkan waktu pelayanan, keamanan manusia dan peralatan, serta stabilitas operasi.

5. Perluasan sistem

Sistem proteksi harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak akan mengganggu kemungkinan perluasan instalasi atau jaringan di waktu yang akan datang⁵

2.8 Rele Arus Lebih

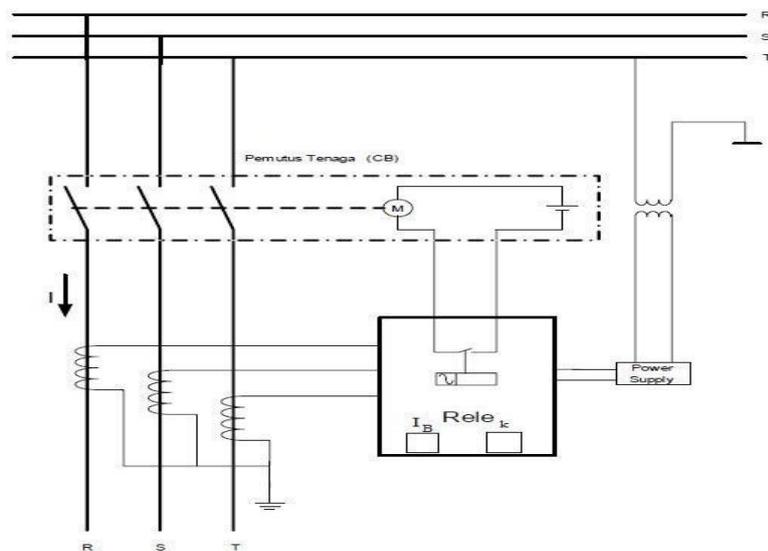
Relay arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting. Rele arus lebih tidak hanya bekerja karena adanya kenaikan arus, tetapi yang terpenting adalah kemampuan rele yang mendeteksi atau memonitoring kenaikan arus bila rele melampaui batas arus dan waktu yang telah di tentukan. Unjuk kerja (*performance*) rele dipengaruhi oleh

⁵ Hazairin Simaulah, 2004, Dasar –dasar sistem proteksi tenaga listrik: hal.93

konstruksinya yaitu dengan prinsip elektromekanik atau elektronik dengan saklar statis.

Keuntungan dan fungsi rele arus lebih antara lain:

1. Sederhana dan murah
2. Mudah penyetelannya
3. Merupakan rele pengaman utama dan cadangan
4. Mengamankan gangguan hubung singkat antara fasa maupun hubungan singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*)
5. Pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi radial
6. Pengamanan cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi



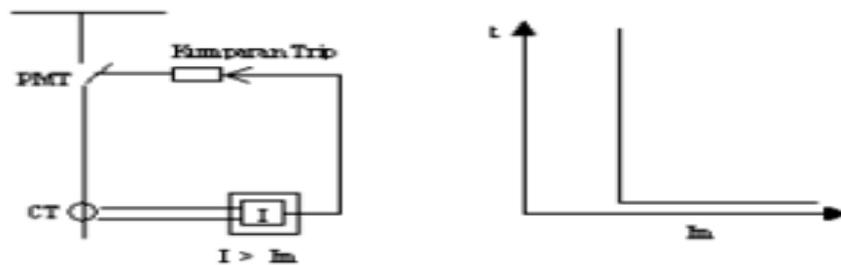
Gambar 2.3. Hubungan Rele Arus Lebih pada jaringan⁶
Dalam hubungannya dengan kecepatan sensitifitas dari rele ada beberapa karakteristik rele tersebut, yaitu:

1. Rele arus lebih waktu seketika (*Instantaneous relay*)
2. Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)
3. Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse time relay*)

⁶ Carlos rs rumiasih ,Praktikum sistem proteksi ,hal 18

2.8.1 Rele arus lebih waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Rele waktu seketika ialah rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain

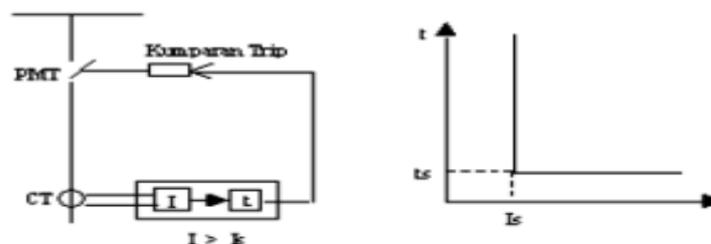


Gambar.2.4. Karakteristik rele waktu seketika⁷

2.8.2 Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele. Keuntungan dan kerugian karakteristik rele ini adalah :

1. Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu.
2. Tidak terpengaruh dengan kapasitas pembangkit.
3. Semakin dekat kesumber waktu kerja semakin panjang.



Gambar.2.5. Karakteristik rele waktu tertentu⁸

⁷ Sarimun Wahyudi, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, hal. 28

⁸ Sarimun Wahyudi, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, hal. 29

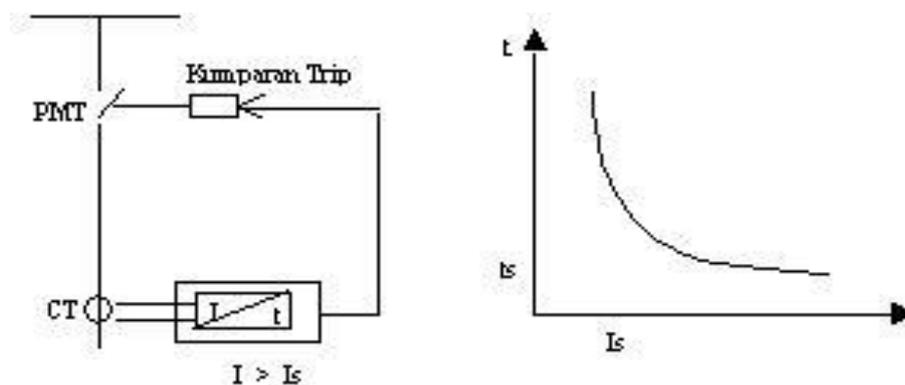
2.8.3 Rele arus lebih waktu terbalik

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Keuntungan serta kerugian karakteristik rele ini adalah :

1. Perlu perhitungan yang teliti terutama untuk kapasitas pembangkit yang berubah-ubah.
2. Sebagai pengaman banyak saluran, *inverse time* dapat menekan akumulasi waktu, yang dapat memberikan pengamanan yang cepat baik diujung maupun didekat sumber.
3. Sensitive terhadap perubahan pembangkit.

Karakteristik ini bermacam-macam, Setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam 4 kelompok :

1. *Standar Invers*
2. *Very Inverse*
3. *Extremely Inverse*
4. *Long Time Standard Earth Fault*⁹



Gambar.2.6. Karakteristik rele waktu Inverse¹⁰

⁹ Bonar Panjaitan. *Praktik –praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Hal 72-73

¹⁰ Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, hal. 34

2.8.4 Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT)

Rele arus lebih dengan karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) ialah jika jangka waktu rele arus mulai *pickup* sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele *pickup* dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika.

2.9 Syarat Sinkronisasi Sistem proteksi

Hasil perhitungan rele arus lebih, pada tahap selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setting rele OCR. Data ini akan menjadi pembanding dengan setting yang ada guna pengecekan apakah ada penyetelan set point yang miss antara rele SEPAM dan SR735 yang dapat mengganggu koordinasi rele dalam menjalankan fungsinya sebagai alat proteksi.

Untuk setelan rele arus lebih dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir di sistem distribusi, artinya untuk rele arus lebih yang terpasang pada SEPAM bagian downstream dan SR735 pada bagian upstream, dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir pada sistem distribusi tersebut.

A. Menentukan Impedansi sumber

$$Z_S = \frac{V_S^2}{VA} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

Z_S : Impedansi Sumber (Ω)

B. Menentukan Impedansi kabel

$$Z_L = \sqrt{(R^2 + X^2)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

Z_L : Impedansi Kabel (Ω /km)

R : Tahanan Kabel (Ω /km)

X : Tahanan kabel (Ω /km)

C. Menentukan arus gangguan

$$I = \frac{V}{(\sqrt{3})(Z_s+Z_L)} A \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

I = Arus Gangguan (A)

V = Tegangan Sumber (V)

Z_s = Impedansi Sumber (Ω)

Z_L = Impedansi Saluran (Ω)

D. Menghitung arus nominal

Arus Nominal adalah arus kerja dari suatu peralatan listrik

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

Dengan:

$I_n=I_{base}$ = Arus Nominal (A)

S_{base} = Daya Semu (VA)

V_{base} = Tegangan (V)

E. Menghitung arus kerja rele (standar OCR 105-120 %)

$$I_{set\ OCR} = 1.2 \times I_{base} \dots\dots\dots (2.5)$$

F. Menghitung waktu operasi (ts)

Time setting (ts) adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu pengaman rele untuk bekerja. Pada sistem *invers* menggunakan persamaan.

$$t = TMS \frac{k}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^\alpha - 1} \dots\dots\dots (2.6)$$



Dengan memperhatikan konstanta berikut:

Tabel 2.1 Karakteristik κ dan α

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

TMS (Time Multiple Setting) = Standar Waktu Setting Rele

G. Menghitung Ratio CT

Ratio CT ditentukan dari arus nominal peralatan atau dari kabel pada umumnya.

$$\text{Ratio CT} = \frac{\text{primer}}{\text{sekunder}} \dots \dots \dots (2.7)$$

H. Menghitung arus yang mengalir melalui rele

$$I_{rele} = I_{base} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{I. } Ir = \frac{If}{Is} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan:

Ir = Perbandingan antara arus gangguan dan arus setting

If = Arus Gangguan

Is = Arus Setting rele

2.10 Margin Granding

Margin granding adalah rentang waktu trip antara dua rele yang dirancang agar dapat dilakukan untuk mendapatkan koordinasi rele terhadap suatu gangguan tertentu yang harus ditanggapi dengan diskriminatif. Hal ini diperlukan karena bila dua rele yang saling berdekatan tidak mempunyai margin granding atau perbedaan waktu kerja maka untuk setiap gangguan yang terjadi akan selalu trip secara bersamaan. Adapun faktor faktor yang dapat mempengaruhi margin granding antara lain sebagai berikut:

1. Waktu pemutusan arus gangguan oleh pemutus tenaga (PMT).
2. Kesalahan waktu kerja rele.
3. Kebablasan waktu (*overtravel*).
4. Kesalahan trafo arus CT.¹¹

¹¹ Bonar Panjaitan. *Praktik –praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Hal 82