

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

“Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar dengan pemakai tanaga listrik. Jadi sistem distribusi ini adalah bagian yang merupakan titik pertemuan antara konsumen dan perusahaan listrik. Fungsi distribusi tenaga listrik adalah untuk pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi”. (Bambang Suhardi, 2008)

“Sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi/distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi *abnormal* dari sistem itu sendiri”. (Alawiy ,2006)

Penutup Balik Otomatis(PBO) adalah suatu peralatan proteksi arus hubung singkat atau arus lebih yang mana PBO ini digunakan pada sistem distribusi yang dapat membuka dan menutup kembali kontak pemutus dayanya secara otomatis untuk beberapa kali sesuai dengan waktu serta urutan kerja yang telah ditentukan yaitu untuk menghadapi gangguan hubung singkat yang bersifat temporer dan jika gangguan itu bersifat permanen maka recloser akan mengunci (Lock Out). (Abraham Silaban,2009)

2.2 Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi, dibedakan menjadi 2 yaitu :

- a. Jaringan Distribusi Primer (jaringan distribusi tegangan menengah).
- b. Jaringan Distribusi Sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah).

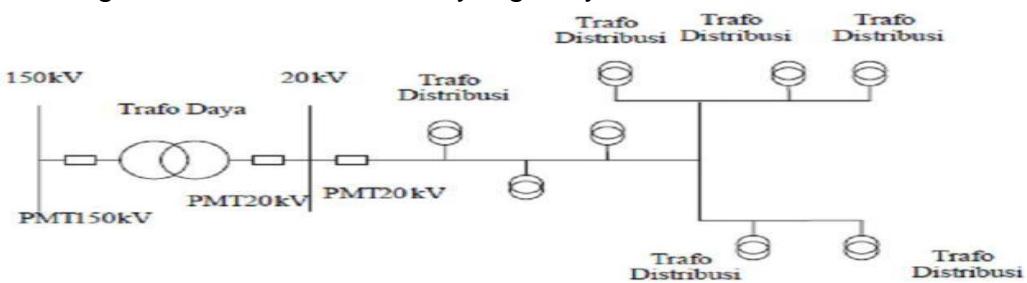
Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Dengan tegangan operasi yakni tegangan menengah (20 kV).

Sistem distribusi sekunder yang lazim disebut jaringan tegangan rendah (JTR) dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah (400/230 Volt, 380/220 Volt).

2.2.1 Sistem Jaringan Pada Distribusi Primer

1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari satu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani



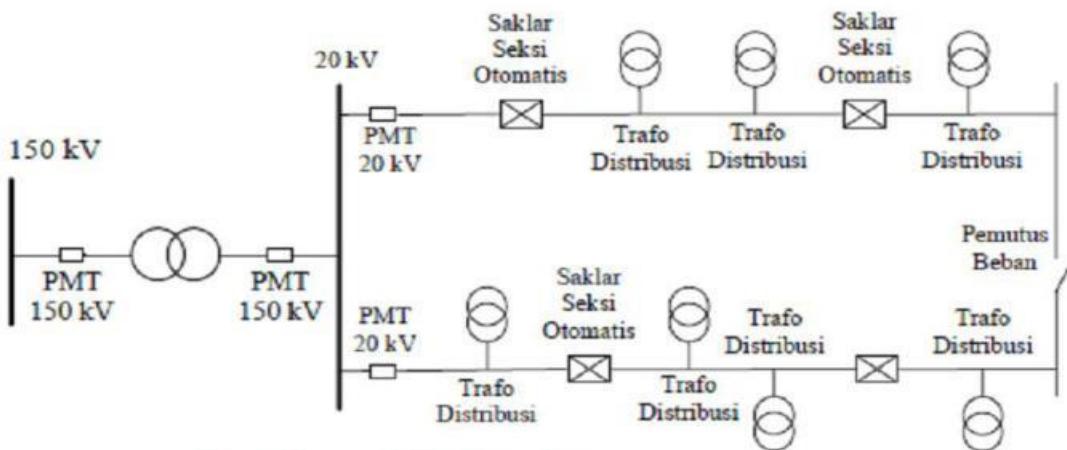
Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya percabangan – percabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabang makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktor lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasinya murah
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2. Sistem Jaringan distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkain saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.2 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Loop

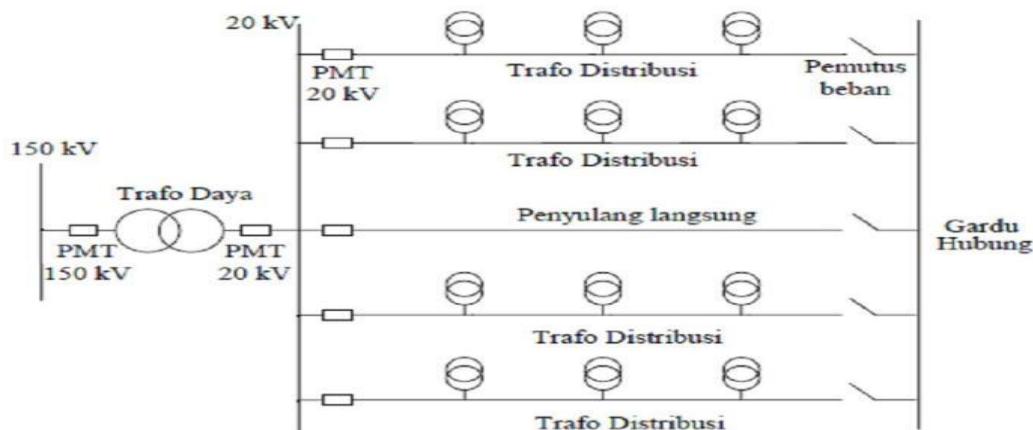
Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

- a. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkain selalu terbuka.
- b. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terlatakan pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkain selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya pengantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial. Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi

3. Sistem jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel (seperti gambar 2.3) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Spindel

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

- Dalam keadaan normal semua saluran di gardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.
- Dalam keadaan normal saluran express tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
- Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu di buka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran express.

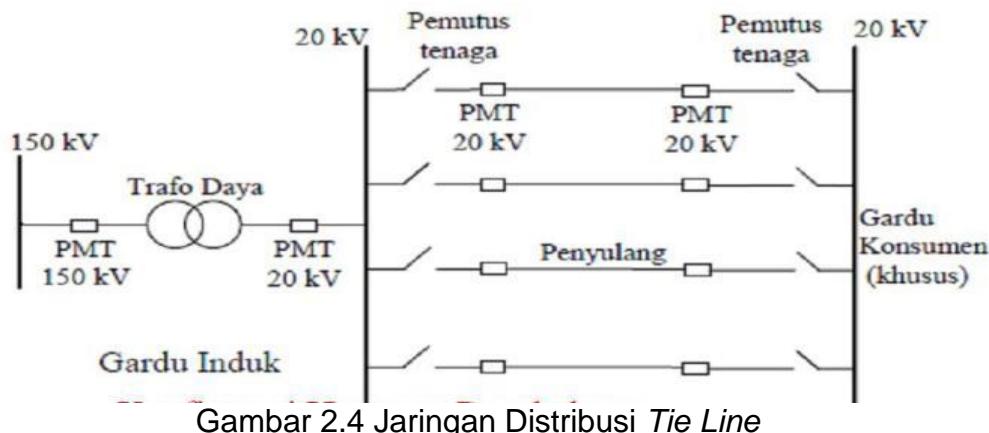
Sistem jaringan spindel cocok untuk memenuhi kebutuhan antara lain :

- Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- Menekan rugi – rugi akibat gangguan.

- c. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- d. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

4. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem jaringan distribusi *Tie Line* seperti gambar 2.4 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah sakit, dan lain-lain)

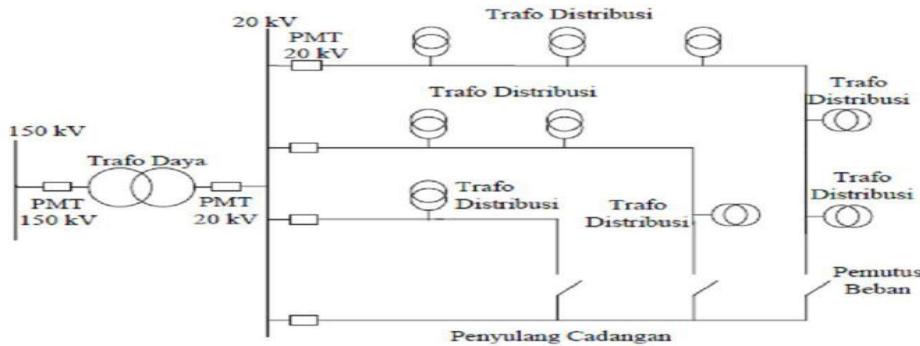


Gambar 2.4 Jaringan Distribusi *Tie Line*

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch/Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan dipindah ke penyulang lain.

5. Sistem Gugus atau Sistem Kluster

Konfigurasi gugus seperti pada gambar 3.5 banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat saklar pemutus beban dan penyulang cadangan.

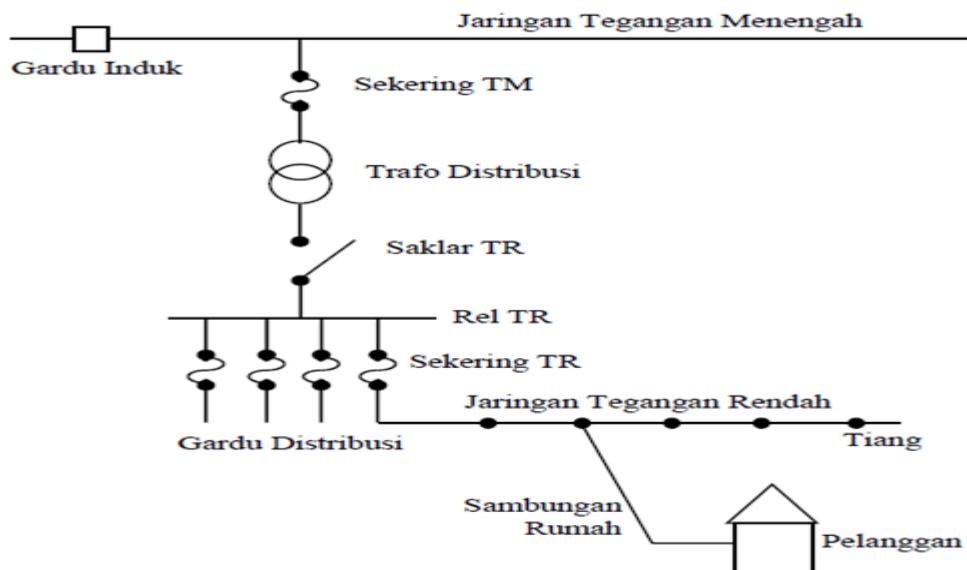


Gambar 2.5 Sistem Gugus atau sistem kluster

Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.

2.2.2 Sistem Jaringan Pada Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder seperti pada gambar 2.6 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 2.6 Sistem Jaringan Pada Distribusi Sekunder

Melihat letaknya,sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini selain berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. Mengingat bagian ini behubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada :

1. Penyulang Tegangan Menengah
2. Transformator Distribusi
3. Penyulang Jaringan Tegangan Rendah
4. Sambungan Rumah
5. Instalasi Rumah

Jatuh tegangan adalah perbedaan antara tegangan kirim dengan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus di perhatikan. Jatuh tegangan yang diijinkan tidak boleh kebih dari ΔV di batasi sampai dengan 3.5.

2.3 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Macam-macam gangguan (*Fault*) pada sistem distribusi SUTM adalah sebagai berikut :

- a. Gangguan yang bersifat temporer dimana dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangan.
- b. Gangguan yang bersifat permanent dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. 70% sampai dengan 90% dari seluruh gangguan yang mengenai SUTM adalah bersifat *temporer* (sementara)

Secara Umum Jenis gangguan dibagi dua yaitu :

- a. Gangguan hubung singkat (*short Circuit*) meliputi hubung singkat antar fasa.
- b. Gangguan fasa ke tanah (*Ground Fault*) meliputi gangguan satu fasa ke tanah, gangguan dua fasa ke tanah dan gangguan tiga fasa ke tanah.

2.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus ke beban.

Penyebab terjadinya hubung singkat :

- a. Disebabkan adanya isolasi yang tembus/rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang disebabkan oleh tegangan lebih dalam (akibat manipulasi / *switching*) atau tegangan lebih luar (akibat petir) maupun karena isolasi tersebut telah tua.
- b. Adanya pengaruh mekanis yang menyebabkan antaran putus dan mengenai fasa – fasa lainnya seperti akibat angin, layang – layang dan lainnya.
- c. Disebabkan binatang seperti tikus, kelelawar, iowak, ular, burung dan lainnya.

2.4 Pengaman Distribusi Tegangan Menengah

Sistem pengaman yang terpasang disistem distribusi bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan dan peralatannya, keselamatan umum karena gangguan dan peningkatan pelayanan dari pasokan tenaga listrik antara lain :

- a. Perlindungan terhadap hubung singkat (*short circuit*) atau arus lebih (*overcurrent*) atau gangguan pada saluran atau gangguan peralatannya disebut perlindungan terhadap arus lebih.

- b. Perlindungan terhadap gangguan petir, disebut perlindungan terhadap tegangan lebih (*over voltage*).

Adapun peralatan pengamanan pada sistem distribusi, antara lain :

1. Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga (PMT) adalah alat pemutus otomatis yang mampu memutus / menutup rangkaian pada semua kondisi, yaitu pada kondisi normal ataupun gangguan. Secara singkat tugas pokok pemutus tenaga adalah :

- a. Keadaan normal, membuka / menutup rangkaian listrik.
- b. Keadaan tidak normal, dengan bantuan rele, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

2. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja terhadap arus lebih, rele akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). Pada dasarnya rele arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu penghantar dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatkannya disebut dengan setting. Rele arus lebih memiliki 2 jenis pengaman yang berbeda, antara lain :

1. Pengaman hubung singkat fasa

Rele mendeteksi arus fasa, oleh karena itu disebut pula "rele fasa" karena pada rele tersebut dialiri oleh arus fasa, maka settingnya (I_s) harus lebih besar dari beban maksimum. Ditetapkan $I_s = 1,2 \times I_n$ (I_n =arus nominal peralatan terlemah)

2. Pengaman hubung tanah

Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban, ini disebabkan karena salah satu atau dari kedua hal berikut :

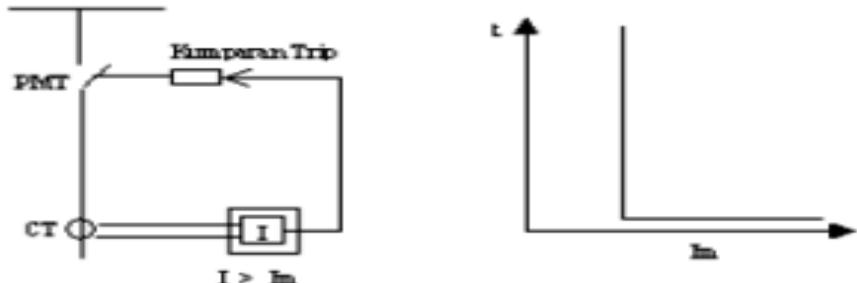
- a. Gangguan tanah ini melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi.

- b. Peralatan netral sistemnya melewati impedansi / tahanan yang tinggi atau bahkan tidak ditanahkan.

Pada kondisi tersebut, rele pengaman hubung singkat (rele fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Agar rele sensitif terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka rele di pasang tidak pada kawat fasa malainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya. Dengan demikian rele ini dialiri oleh arus netralnya, berdasarkan komponen simetrinya arus netral adalah jumlah dari arus ketiga fasanya. Arus urutan nol dirangkaian primernya baru dapat mengalir jika terdapat jalan kembali melalui tanah (kawat netral).

Macam-macam karakteristik rele arus lebih :

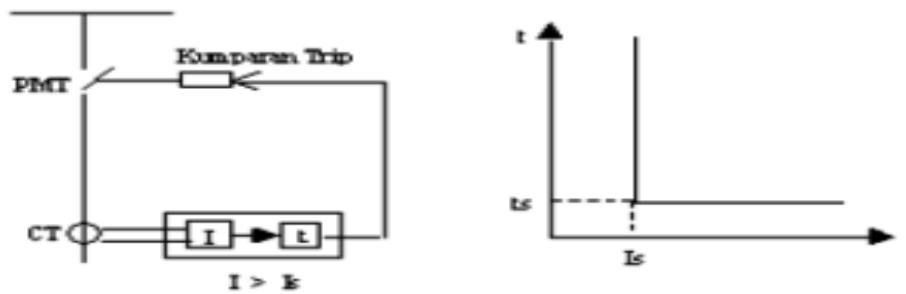
- a. Rele waktu seketika (*instantaneous relay*). Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, maka rele akan bekerja dalam waktu : 0,016 detik dan 0,1 detik
Biasanya disetel pada $I_{set} = (4-6) \times I_n$.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Waktu Seketika

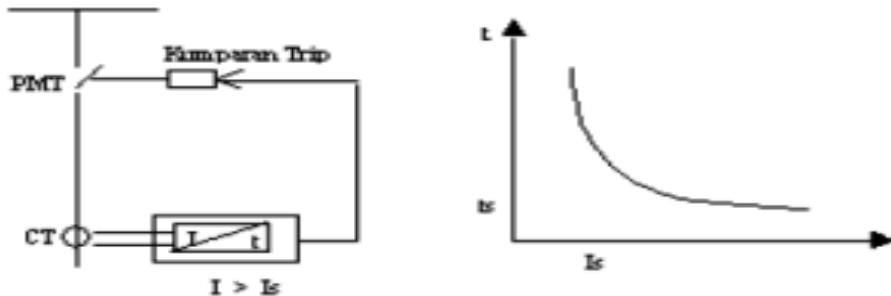
- b. Rele arus lebih tertentu (*definite time relay*). Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus melebihi nilai settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai pick up sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, Yang dapat disetel

adalah arus dan waktu tundanya seperti karakteristik pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik *Definite Time* Rele

- c. Rele arus lebih waktu terbalik. Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.



Gambar 2.9 Kurva Karakteristik *Inverse Time* Rele Arus

- d. *Inverse definite minimum time* rele (disingkat dengan IDMT) kurva waktu-arus dibuat berdasarkan nilai standar. Karakteristiknya mempunyai bagian yang berbanding terbalik untuk arus yang kecil, dan bagian yang definite untuk arus yang besar. Jadi, makin besar arus, makin cepat rele bekerja, akan tetapi mempunyai waktu tunda minimum tertentu yang tidak lagi tergantung pada besarnya arus.

3. Pemutus Balik Otomatis (PBO)
4. Saklar seksi otomatis

5. Pelebur

Adalah suatu alat pemutus, dimana dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkain dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu. Oleh karena pelebur ditunjukan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka pelebur dirancang meleleh pada waktu tertentu dan nilai arus gangguan tertentu.

6. LBS (*Load Breaker Switch*)

Adalah suatu alat pemutus tegangan pada jaringan dengan kondisi diberi beban. Alat ini memungkinkan perbaikan jaringan saat gangguan di tengah-tengah jalur jaringan, sehingga tidak sampai memutuskan aliran listrik.

7. Arrester

Adalah alat untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang diakibatkan karena sambaran petir.

Dengan sistem proteksi yang benar, kerusakan peralatan dapat dihindarkan. Tetapi bila sistem proteksi dilakukan secara berlebihan, yaitu terlalu mudah untuk mengamankan padahal seharusnya ada pertimbangan tertentu sebelum memutuskan bekerjanya sistem pengaman, maka keandalan sistem menjadi kurang baik oleh akibat hal yang tidak perlu.

Untuk mendapatkan sistem proteksi yang baik dan keandalan yang tinggi, maka dibutuhkan sistem proteksi dengan kemampuan :

- a. Melakukan koordinasi dengan sistem pengaman yang lain pada sisi hulu dan sisi hilir.
- b. Mengamankan peralatan dari kerusakan yang lebih luas akibat gangguan.

2.5 Pemutus Balik Otomatis

Penutup Balik Otomatis (PBO), secara phisik mempunyai kemampuan seperti Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker*, yang merupakan peralatan perlindungan terhadap arus lebih, dilengkapi dengan alat pengindra arus (rele arus) disamping peralatan pengaturan kerja membuka dan menutup rangkaian secara otomatis sesuai dengan

waktu urutan kerja yang telah ditentukan dan dilanjutkan membuka terus terkunci bila menghadapi gangguan permanen setelah melalui sejumlah waktu operasi yang disetel (biasanya dengan operasi menutup tiga atau empat kali). Jadi PBO peka terhadap kondisi arus lebih dan bila hal ini terjadi, maka PBO akan memutus arus yang mengalir dan dalam selang beberapa saat kemudian secara otomatis PBO akan menutup kembali rangkaian dan ini berlangsung tiga atau empat kali. PBO diklasifikasikan dalam pasa-tunggal, pasa-tiga dan bila dilihat dari peralatan pengaturnya dibedakan:

1. PBO dengan pengaturan hidrolis

Pada PBO dengan pengaturan hidrolis, membuka/menutupnya kontak-kontak dilakukan dengan cara hidrolis (tekanan minyak). Arus gangguan diditeksi melalui kumparan kerja (*trip-coil*) yang dihubungkan seri dengan jala/salurannya. Bila arus yang mengalir melewati kumparan-kerja yang seri ini melebihi arus kerja minimum pengenalnya, plungernya akan tertarik kebawah yang disebabkan karena bekerjanya kumparan-kerja sehingga membuka kontak-kontak dari PBO. Waktu dan urutan kerjanya diatur oleh pemompaan minyak melalui ruang hidrolis yang terpisah.

2. PBO dengan pengaturan elektronik

PBO dengan pengaturan elektronik lebih mudah diatur dalam hal membuka / menutup kontak-kontak, mudah dipraktekan urutan kerjanya dan lebih akurat dibandingkan dengan PBO pengaturan hidrolis. Alat pengaturan elektronik mempunyai kotak sendiri (*kabinet*) yang terpisah dari PBO nya. Pada pengaturan elektronik ini, karakteristik waktu-arus dapat dengan mudah diubah dengan mengubah tingkat arus kerja kumparan serinya dan urutan kerja PBO tanpa harus melepas PBO dari rangkaianya atau mengeluarkannya dari tangkinya.

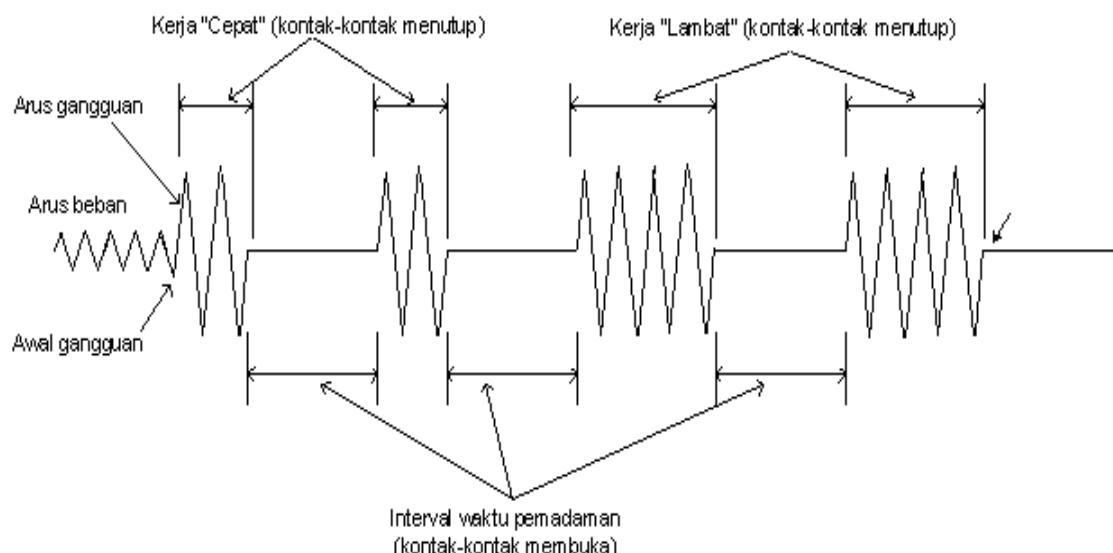
PBO dapat disetel dengan sejumlah urutan kerja yang berbeda beda seperti :

1. Dua kali operasi cepat dan diikuti dengan dua kali operasi lambat, sebelum terkunci terbuka (PBO terbuka terus);
2. Satu kali operasi cepat dan tiga kali operasi lambat;
3. Tiga kali operasi cepat dan sekali operasi lambat;

4. Empat kali operasi cepat dan
5. Empat kali operasi lambat.

Pemilihan berapa kali operasi cepat dan lambat tergantung pada kondisi dari pengamannya.

Salah satu contoh urutan operasi dari PBO, dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



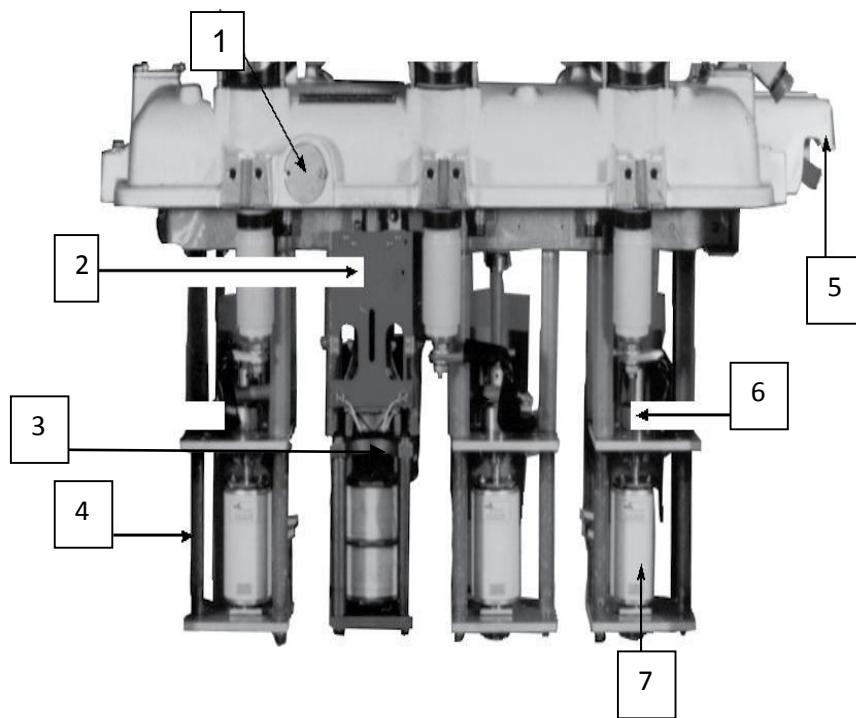
Gambar 2.10 Urutan Operasi dari Penutup Balik Otomatis

Fungsi membuka cepat adalah untuk menghilangkan gangguan sementara, sedangkan membuka lambat untuk koordinasi dengan alat pengaman lainnya (pelebur, PBO kedua dsb.nya).

2.5.1 Cooper Tipe VWVE

PBO Jalur menggunakan PBO tipe VWVE yang media pemadam busur apinya menggunakan minyak. PBO VWVE menggunakan *closing solenoid* 20 Kv.PBO tipe VWVE lebih banyak dipakai karena dari segi ekonomisnya lebih mudah perawatanya dan lebih sederhana.

2.5.2 Bagian – Bagian PBO Tipe VWVE Cooper



Gambar 2.11 Bagian – Bagian PBO Tipe VWVE Cooper

Keterangan gambar :

1. *Closing tool*

Untuk memasukkan tongkat yang digunakan untuk mereclose PBO secara manual.

2. *Closing solenoid contactor*

Sebagai tenaga untuk mereclose PBO secara otomatis setelah mendapat sinyal dari kotak control.

3. *Fuse*

Berfungsi untuk melindungi sistem ketika *closing solenoid* gagal bekerja.

4. *Insulation support*

Sebagai vaccum interrupter yang terbuat dari *fiberglass*

5. *Slett hold*

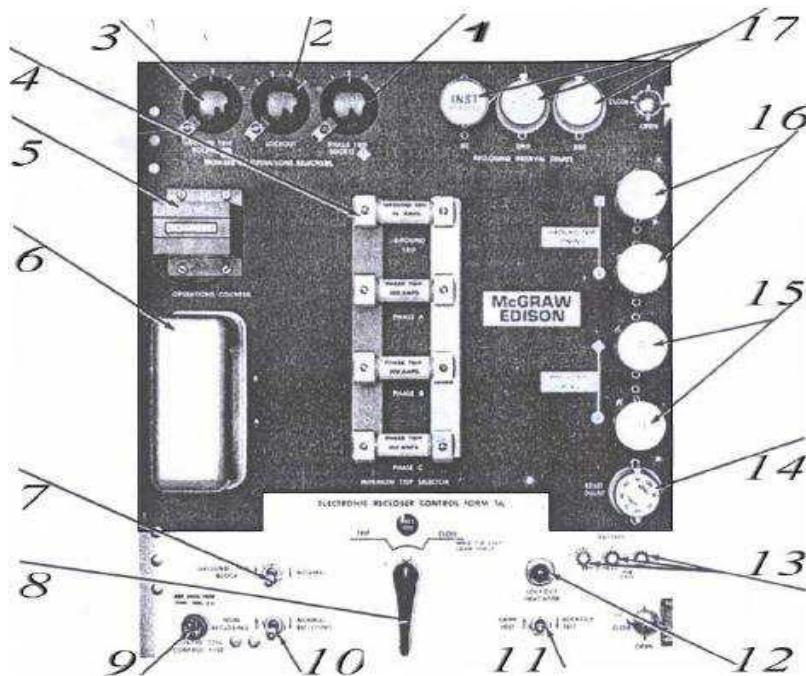
Tempat operasi manual dan sebagai petunjuk indikator posisi.

6. Current exchange

Terbuat dari *beryllium-cooper* untuk hambatan yang rendah dan ketahanan yang tinggi.

7. Vacuum interrupter

Sebagai tenaga PBO untuk trip dan media peredam bunga api.



Gambar 2.12 Elektronic Control Box

Keterangan Gambar :

1. Phase trip sequence selector

Untuk memilih trip cepat pada gangguan fasa yang kurva arus waktunya deprogram seperti pada pase trip timming socket 1.

2. Lock out selector

Untuk memilih jumlah operasi sampai lock out (mengunci).

3. Ground trip sequence selector

Untuk memilih jumlah operasi trip cepat pada gangguan tanah yang kurva arusnya diprogram seperti pada ground trip timming socket 1.

4. Minimum trip resistor

Untuk menyetel level arus trip minimum untuk *ground* dan masing – masing fasa. Tahanan catrige ini ditandai dengan arus primer.

5. *Operation counter*

Menunjukkan jumlah total trip.

6. *Sequence rele*

Langkah-langkah control melalui urutan operasinya.

7. *Ground trip blok/Normal operation switch*

Memblok semua trip gangguan tanah dalam posisi keatas menegah operasi tanpa sengaja.

8. *Manual control switch* ada 2 posisi

a. Posisi *trip*

Penutup balik mengunci, memberikan urutan rele sampai urutan mengunci pada posisi batere.

b. Posisi *close*

Penutup balik menutup mengembalikan rele urutan (*sequence rele*) ke posisi *start* dan menghubungkan kembali batere. Dipertahankan dalam posisi *close* menolak *cold load* dengan memblok operasi trip cepat. Tetapi akan mengunci dalam posisi *close*, untuk gangguan permanen.

9. *Control fuse*

Memproteksi terhadap aliran batere jika sumber rangakaian tegangan rendah untuk menutup.

10. *Non reclosing/normal closing switch*

Menyetel control untuk sekali buka tutup dan *lock out* dalam posisi *non reclosing* tanpa meggagu penyetelan operasi *to lock selector*.

11. *Lamp test / lock out indicating switch*

Menguji kondisi lampu sinyal dan mengecek untuk *lock out*.

12. *Lock out indicator signal lamp*

Memberikan indikasi secara visual untuk *control lock out* bila *lock out test switch* dioperasikan.

13. *Battery test terminals*

Menentukan interval tunda test tegangan batere dan laju pengisian

14. *Reset delay plug*

Menentukan interval tunda waktu sebelum control reset setelah penutupan berhasil selama urutan operasi. Nilai penundaan ditentukan oleh posisi plug dalam socket.

15. *Pase trip timming plug*

Memberikan suatu variasi kurva arus yang diintegrasikan pada individu plug, untuk mengkoordinasi operasi trip fasa terhadap pengaman cadangan dan pengaman disisi hilir.

16. *Ground trip timming plug*

Memberikan suatu variasi kurva arus waktu yang diintegrasikan pada *individu plug* untuk mengkoordinasi operasi *trip ground* terhadap pengaman cadangan dan pengaman disisi hilir.

17. *Reclosing interval plug*

Menentukan interval tunda untuk masing-masing operasi penutup balik. Harga tunda waktu ini ditentukan oleh posisi dari *plug socket*. *Instant plug* hanya untuk interval PBO pertama.

Pada saat pelepasan maupun pemasukan di padamkan dengan menggunakan media minyak. Sarana pemasukkannya digerakkan oleh *solenoid closing oil* yang mendapat sumber tegangan 20kV pada sisi sumber, sedang pengendalinya menggunakan remot melalui *elektronik control box* dengan tegangan 24 volt yang diperoleh dari batere yang diisi terus menerus.

Syarat pemasukan PBO tipe VWVE cooper :

- a. PBO tipe VWVE cooper pemasukannya sepenuhnya dilakukan oleh *solenoid oil*, di mana alat ini terpasang di dalam PBO dan terhubung dengan tegangan 20 kV maka syarat umumnya adalah harus ada tegangan 20 kV.
- b. Sumber tegangan DC 24 volt dari *battery cadmium*.
- c. Dc fuse 0,38 A, dalam keadaan baik

- d. Reset *trip manual stik*, yang ada diujung samping atas PBO harus selalu pada posisi reset.

2.6 Tujuan Sistem Proteksi

Tujuan sistem proteksi tenaga listrik adalah :

- a. Menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
- b. Cepat melokalisir luas daerah yang mengalami gangguan menjadi sekecil mungkin.
- c. Dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
- d. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.7 Syarat Sistem Proteksi

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Pada prinsipnya relai pengaman harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan pengamanannya meskipun dalam kondisi memberikan rangsangan yang minimum.

2. Keandalan (*Reliability*)

a. *Dependability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat dilakukan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja.

b. *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja)

c. *Availability*

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya. Intinya dalam keadaan normal pengaman tidak boleh bekerja, tetapi harus pasti bekerja bila diperlukan. Pengaman tidak boleh salah bekerja, jadi susunan alat-alat pengaman harus dapat diandalkan.

d. Selektivitas (*Selectivity*)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin, yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanan utamanya.

e. Kecepatan (*Speed*)

Untuk memperkecil kerugian / kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Kerana keterlambatan kerja proteksi dapat mengganggu kestabilan sistem atau merusak peralatan disebabkan *thermal stress*.

2.8 Koordinasi Proteksi

Tujuan dari koordinasi ini adalah agar gangguan yang bersifat temporer dapat dibebaskan terlebih dahulu dengan kerja buka cepat (*fast operation*) pada PBO, sebelum OCR/GFR PMT sebagai pelindung utamanya bekerja. Sebaliknya, bagi gangguan yang bersifat permanen di sisi hilir PBO dapat diputus / dibebaskan oleh pelebur yang bersangkutan, sebelum PBO dengan kerja buka-lambat (*time-delay operation*) bekerja dan mengunci (*lock-out*). Mengingat PBO pada umumnya hanya dipergunakan sebagai pengaman saluran udara, maka OCR/GFR yang dimaksud dalam pembahasan ini yaitu pengaman utama jaringan distribusi.