

BAB II

JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1 Tinjauan Pustaka

Jaringan Distribusi Adalah sarana untuk mengalirkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen . Jaringan distribusi yang digunakan untuk energi Aliran mendistribusikan listrik tidak luput dari berbagai gangguan yang mungkin terjadi yang dapat mengganggu suplai Aliran tenaga listrik ke konsumen yang mengakibatkan pemadaman aliran listrik dan juga kerusakan pada peralatan yang Dipakai . Dalam hal ini jaringan distribusi harus menggunakan suatu peralatan proteksi PBO yang dapat mengamankan kelancaran suplai aliran listrik kekonsumen dari berbagai gangguan terjadi pada aliran listrik. Gangguan yang terjadi sering bersifat sementara, ini penggunaan circuit breaker dirasa kurang efesien, dengan itu digunakan peralatan pengaman PBO yang dapat membuka secara otomatis bila ada gangguan, jika kondisi sudah normal akan menutup kembali. Operasi membuka dan menutup kembali dari PBO dapat terjadi beberapa kali sesuai dengan setting yang ditentukan operator (Adelina Mir'atussaada, 2007)

Di dalam jaringan distribusi 20 kV sering terjadi gangguan, salah satunya adalah gangguan arus hubung singkat. Dalam mengatasi gangguan arus hubung singkat ini diperlukan koordinasi antar pengaman jaringan distribusi agar dapat mengisolasi gangguan dan melindungi jaringan distribusi serta peralatan yang berada di jaringan tersebut. Koordinasi antara Penutup Balik Otomatis (PBO) sebagai pengaman utama dengan Relai arus lebih baik pada sisi penyulang maupun masukan 20 kV sebagai pengaman cadangan haruslah tepat. Pada penelitian ini dihitung besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa yang akan digunakan sebagai penyetelan PBO dan Relai arus lebih. Dari hasil perhitungan dan analisis didapatkan bahwa terjadi kesalahan koordinasi antara PBO dengan Relai arus lebih sisi penyulang, dimana Relai pada sisi penyulang sudah bekerja dengan karakteristik rele instant ($t = 40$ milidetik) pada daerah kerja PBO yang memiliki waktu kerja 0,3 detik. Hal

ini dapat mengakibatkan Relai arus lebih di sisi penyulang yang merupakan pengaman cadangan bekerja terlebih dahulu dibandingkan PBO yang merupakan pengaman utama. Dilakukan perhitungan dan analisis ulang dengan merubah penyetelan Relai arus lebih di sisi penyulang menggunakan karakteristik invers. Penyetelan Relai arus lebih di sisi penyulang ini berhasil memperbaiki koordinasi antara PBO dengan Relai arus lebih sisi penyulang maupun masukan 20 kV dengan waktu tunda 0,4 detik sesuai dengan ketentuan PLN. (Mega Firdaus, 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)

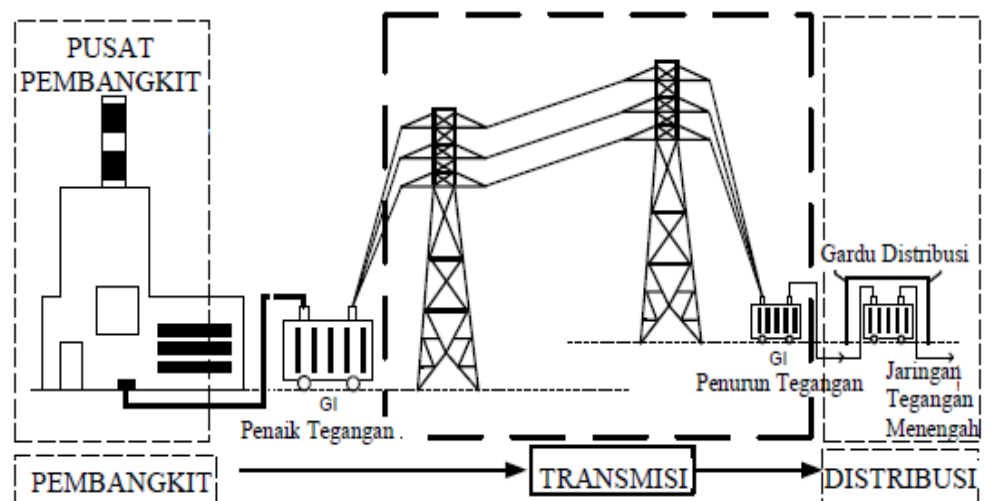
2.2 Landasan Teori

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah sistem distribusi. Sistem distribusi adalah bagian system tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi system distribusi adalah mengatasi gangguan. Sistem distribusi merupakan jaringan yang diisi dari sebuah Gardu Induk (GI). Jaringan distribusi yang diisi dari sebuah GI pada umumnya tidak dihubungkan secara listrik dengan jaringan distribusi yang diisi dari GI yang lain, sehingga masing-masing jaringan distribusi beroperasi secara terpisah satu sama lain. system distribusi terlihat dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR). Baik JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara radial. Dalam system yang perkembangannya masih baru, bebannya relative masih rendah sehingga tidak diperlukan system transmisi (penyaluran). Dalam pengoperasian system distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan

karena jumlah gangguan dalam system distribusi adalah relative banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian system yang lain. Di samping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan operasi sistem distribusi.

2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu: Pembangkitan, Penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.1. Tiga komponen utama dalam Penyaluran Tenaga Listrik

Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20KV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20KV sering disebut Sistem Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder. Saluran tegangan menengah yaitu saluran yang dimulai dari sisi sekunder trafo tenaga pada gardu induk sampai sisi primer trafo pada gardu distribusi. Tegangan nominal yang dipakai umumnya : 6, 7, 12, 20 kV dan yang digunakan oleh PT. PLN

ialah tegangan 20 kV. Untuk sistem jaringan tegangan menengah di Jawa Tengah digunakan sistem 3 fasa 4 kawat. Sedangkan untuk sistem yang dipakai di PLN Distribusi Jaya dan Tangerang adalah sistem 3 fasa 3 kawat. Hantaran yang digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Jaringan hantaran udara yang dapat menggunakan kawat terbuka atau kabel udara. Jaringan ini juga biasa disebut Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).
2. Jaringan hantaran bawah tanah yang hanya menggunakan kabel yang biasa disebut Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).
3. Jaringan hantaran udara yang menggunakan kabel udara/ kabel pilin. Jaringan ini juga biasa disebut Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM).

Tabel 2.1 Perbedaan antara jaringan SUTM, SKTM dan SKUTM

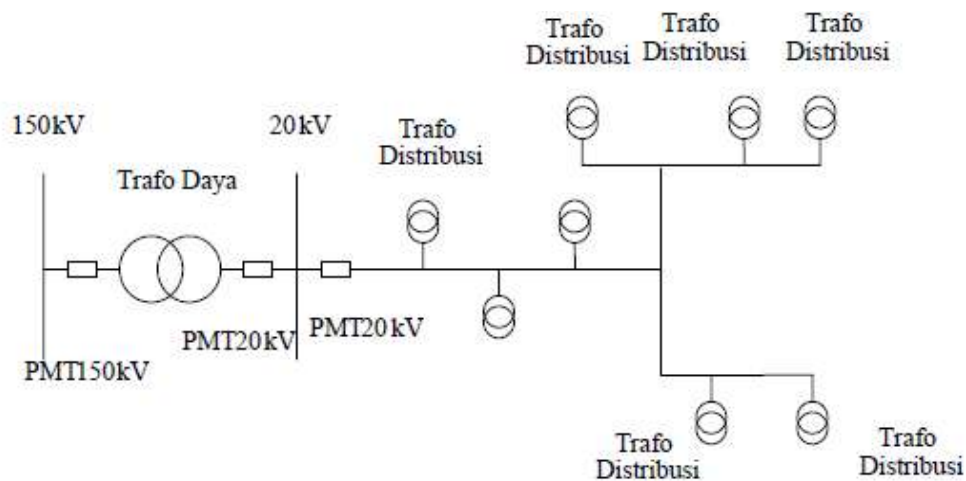
No	Perihal	Jaringan SUTM	Jaringan SKTM	Jaringan SKUTM
1	Biaya investasi	Murah	Lebih mahal	Lebih mahal
2	Perluasan sistem	Cepat, Mudah	Lama, Lebih sulit	Lebih mudah
3	Pengoperasian	Mudah	Lebih sulit	Lebih mudah
4	Pemeliharaan	Mudah, tetapi harus sering diinpeksi	Kabelnya sendiri praktis tak perlu dipelihara	Kabelnya sendiri praktis tak perlu dipelihara
5	Perbaikan	Mudah	Lebih sulit	Lebih sulit
6	Gangguan	Lebih banyak	Sedikit	Sedikit
7	Dampak lingkungan	Besar	Kecil	Kecil
8	Keamanan lingkungan	Rawan	Aman	Aman
9	Estetika	Kurang baik	Baik	Kurang baik

2.2.2 Jaringan Pada Sistem Distribusi Primer

Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20KV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

2.2.2.1 Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola Radial seperti Gambar 2.2. Adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



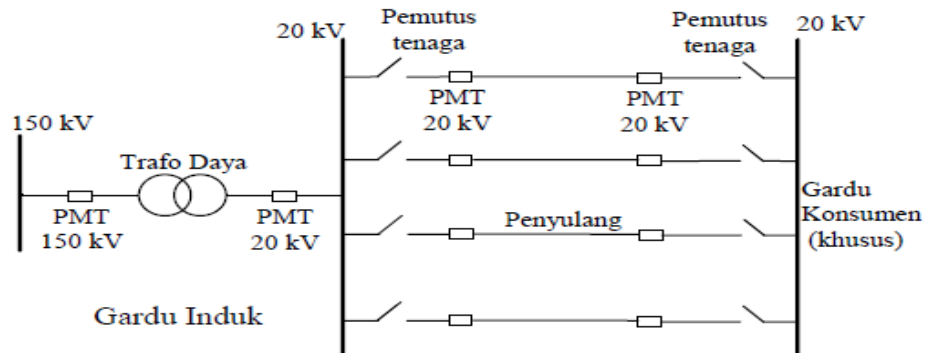
Gambar 2.2. Konfigurasi Jaringan Radial

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam.

Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

2.2.2.2 Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar 2.3. digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lainlain).

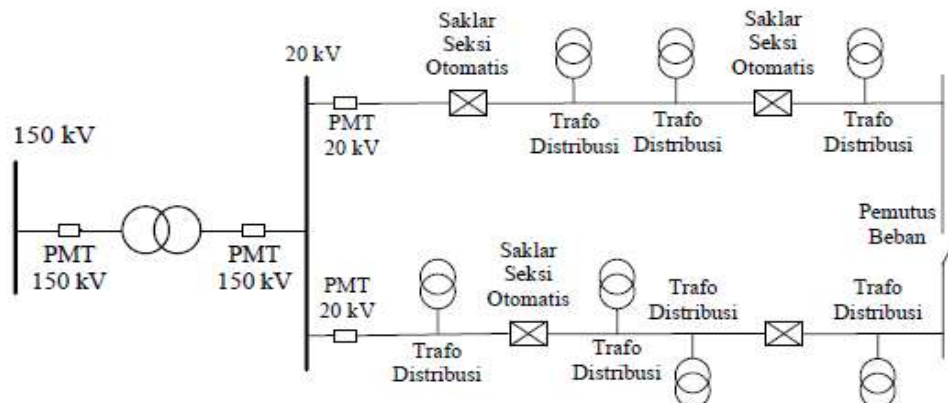


Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung

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 di pindah ke penyulang lain.

2.2.2.3 Jaringan Lingkar (*Loop*)

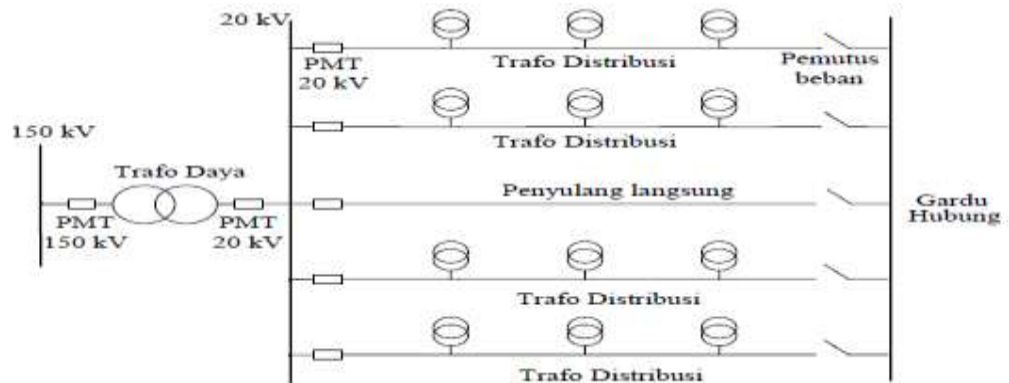
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar 2.4. dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 2.4. Konfigurasi Jaringan Loop

2.2.3.4 Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.5. adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada Gardu Hubung (GH).

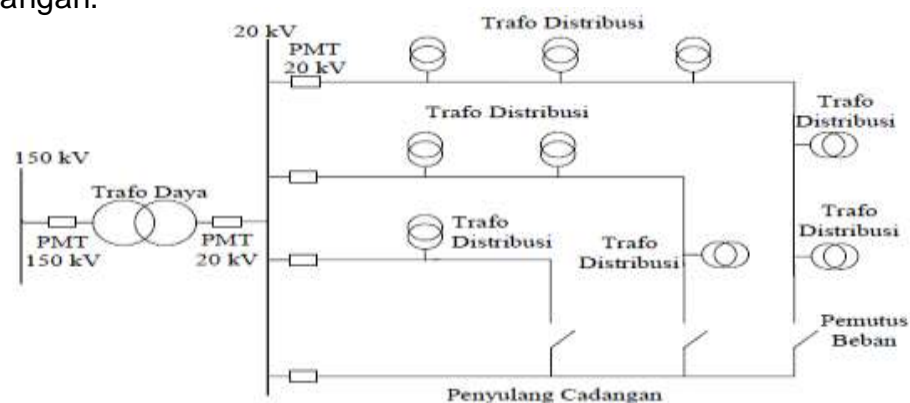


Gambar 2.5. Konfigurasi Jaringan Spindel

Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

2.2.2.5 Sistem Gugus atau Sistem *Kluster*

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.6. banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan.



Gambar 2.6. Konfigurasi 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. Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.2.3 Pengaman Jaringan Tegangan Menengah

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

2.2.3.1 Tujuan Sistem Pengaman

Tujuan sistem pengaman 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.

2.2.3.2 Relai Pengaman

Pada saat terjadi gangguan atau ketidak normalan pada sistem tenaga listrik misalnya ada arus lebih, tegangan lebih, atau sebagainya, maka perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi

kondisi gangguan tersebut. Jika dibiarkan, gangguan itu akan meluas ke seluruh sistem sehingga bisa merusak seluruh peralatan sistem tenaga listrik yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut, mutlak diperlukan suatu sistem pengaman yang handal. Salah satu komponen yang penting untuk pengaman tenaga listrik adalah relai pengaman.

Relai pengaman adalah suatu piranti, baik elektronik atau magnetic yang direncanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan. Jika bahaya itu muncul maka relai pengaman secara otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga agar bagian terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal. Relai pengaman dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, dan lain sebagainya sesuai dengan besaran yang telah ditentukan. Alat tersebut kemudian akan mengambil keputusan seketika dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga atau hanya memberikan tanda tanpa membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga dalam hal ini harus mempunyai kemampuan untuk memutus arus hubung singkat maksimum yang melewatinya dan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat dan kemudian membuka kembali.

2.2.3.3 Fungsi Relai Pengaman

Pada prinsipnya relai pengaman yang di pasang pada sistem tenaga listrik mempunyai tiga macam fungsi yaitu:

1. Merasakan, mengukur, dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang lain yang tidak terganggu didalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.

3. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.2.3.4 Persyaratan Relai Pengaman

Syarat-syarat penting relaying pengaman haruslah memenuhi: sensitif, selektif, dapat diandalkan, dan cepat.

1. Sensitif: Relai harusnya mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relai harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberikan keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian relai harus stabil, artinya :
 - a. Relai harus dapat membedakan antara arus gangguan atau arus beban maksimum.
 - b. Pada saat pemasukan trafo daya, relai tidak boleh bekerja karena adanya arus *inrush*, yang besarnya seperti gangguan, yaitu 3 sampai 5 kali arus beban maksimum.
 - c. Relai harus dapat membedakan adanya gangguan atau ayunan beban.
2. Selektif: Kemampuan relai proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Suatu sistem proteksi tenaga harus bisa kerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus diamankan. Sehingga kalau terjadi pemutusan hanya bagian yang terganggu saja yang terpisah. Atau pengaman hanya bekerja sesuai dengan fungsinya dan sesuai dengan daerah pengamannya.
3. Keandalan (*reliability*): Pada kondisi normal atau tidak ada gangguan, mungkin selama berbulan-bulan atau lebih rele tidak bekerja. Seandainya suatu saat terjadi gangguan maka rele tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut. Kegagalan kerja rele dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang

mengalami pemadaman semakin luas. Relai tidak boleh gagal kerja, artinya relai yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan relai pengaman ditentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan, dan perawatan.

4. Cepat: Relai harus cepat bereaksi / bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relai adalah saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *circuit breaker* (CB) karena komando dari relai tersebut.
5. Ekonomis: Satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relai pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relai tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik jika harganya mahal. Persyaratan *reabilitas*, *sensitivitas*, *selektivitas*, dan kecepatan kerja relai hendaknya tidak menyebabkan harga relai menjadi mahal.

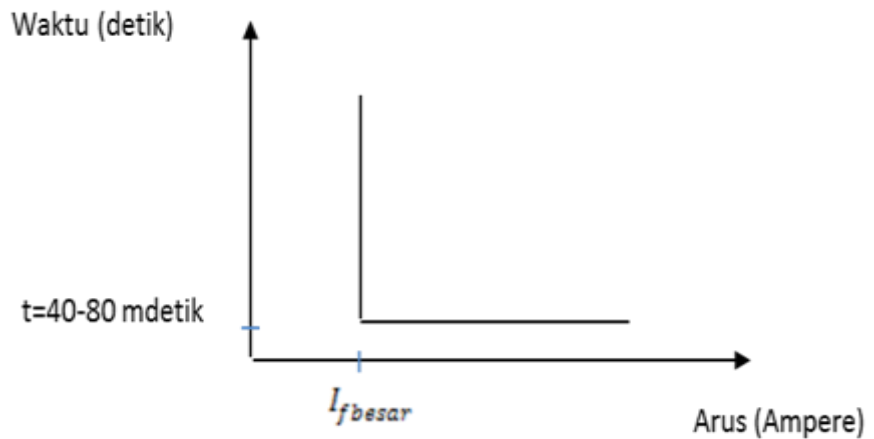
2.2.4 Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Relai arus lebih merupakan pengaman utama sistem distribusi tegangan menengah terhadap gangguan hubung singkat antar fasa. Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi nilai settingnya pengaman tertentu dalam waktu tertentu. Berdasarkan karakteristik waktu relai arus lebih dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Tanpa penundaan waktu (*instaneous time*)

Relai ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) begitu arus yang mengalir melebihi nilai setting arusnya, relai akan bekerja dalam waktu beberapa millidetik (40-80 ms). Setelan dengan karakteristik *instant/moment* digunakan untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan yang dekat dengan sumber listrik,

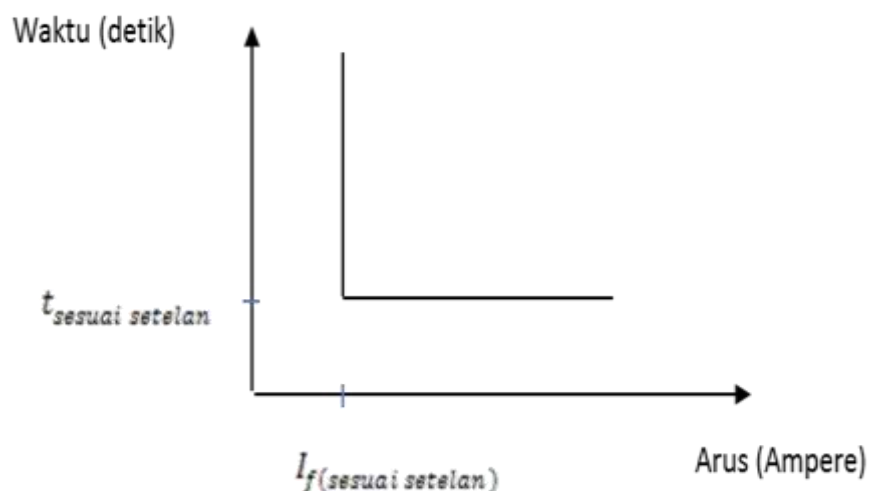
yang gangguannya besar sekali (tergantung besarnya kapasitas trafo/generator).



Gambar 2.7 Karakteristik Relai Waktu Seketika

2. Dengan penundaan waktu tertentu (*definite time*)

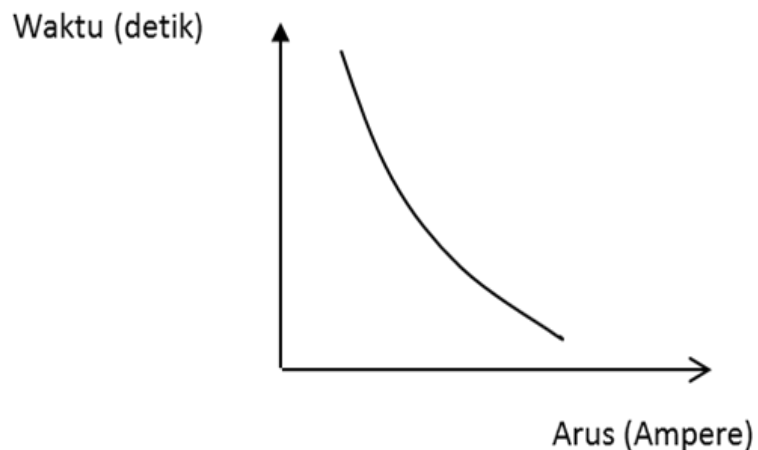
Relai ini bekerja dengan waktu tunda tertentu (*definite time delay*) yang tidak tergantung dari besar arus yang mengalir melalui relai, bila melebihi nilai settingnya maka relai ini bekerja yang selanjutnya menghitung waktu kerja relai. Jadi penyetelan relai yang dilakukan pada relai ini adalah penyetelan arus dan penyetelan waktu tunda sesuai BS 142 1966 sebagai berikut, $I_{set} = 1,2$ sampai $1,3 \times I_{beban}$ dan $t = 0,3$ detik (minimum).



Gambar 2.8 Karakteristik Relai Waktu Tertentu

3. Relai waktu terbalik (*invers time*)

Relai ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus maka makin kecil waktu tundanya. Karakteristik *inverse time* ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda.



Gambar 2.9 Karakteristik Relai Waktu Terbalik

2.2.5 Penutup Balik Otomatis

Penutup Balik Otomatis adalah rangkaian listrik yang terdiri pemutus tenaga yang dilengkapi kotak kontrol elektronik (*Electronic Control Box*) *recloser*, yaitu suatu peralatan elektronik sebagai kelengkapan *recloser* dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini *recloser* dapat dikendalikan cara pelepasannya. Dari dalam kotak kontrol inilah pengaturan (*setting*) PBO dapat ditentukan.

Alat pengaman ini bekerja secara otomatis guna mengamankan suatu sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Cara bekerjanya adalah untuk menutup balik dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya, dimana pada sebuah gangguan temporer, PBO tidak membuka tetap (*lock out*), kemudian PBO akan menutup kembali setelah gangguan itu hilang. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka atau

menutup balik sebanyak setting yang telah ditentukan kemudian PBO akan membuka tetap (*lock out*).

2.2.5.1 Fungsi Penutup Balik Otomatis

Pada suatu gangguan permanen, Penutup Balik Otomatis berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat, PBO akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian Penutup Balik Otomatis akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

2.2.5.2 Prinsip Kerja Penutup Balik Otomatis

Penutup Balik Otomatis hampir sama dengan circuit bracker, hanya recloser dapat diseting untuk bekerja membuka dan menutup kembali beberapa kali secara otomatis. Apabila feeder mendapat gangguan sementara, bila circuit bracker yang digunakan untuk *feeder* yang mendapat gangguan sementara, akan menyebabkan hubungan *feeder* terputus. Tetapi jika PBO yang digunakan diharapkan gangguan sementara tersebut membuat *feeder* terputus, maka Penutup Balik Otomatis bekerja beberapa kali sampai akhirnya Penutup Balik Otomatis membuka.

2.2.5.3 Cara Kerja Penutup Balik Otomatis

Waktu membuka dan menutup pada Penutup Balik Otomatis dapat diatur pada kurva karakteristiknya. Secara garis besarnya adalah sebagai berikut (PLN (Persero) 1997 : *PBO*) :

1. Arus yang mengalir normal bila tidak terjadi gangguan.
2. Ketika terjadi sebuah gangguan, arus yang mengalir melalui *recloser* membuka dengan operasi "*fast*".

3. Kontak PBO akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai setting yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu adalah memberi kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
4. Apabila yang terjadi adalah gangguan permanen, maka PBO akan membuka dan menutup balik sesuai setting yang ditentukan dan kemudian *lock out*.
5. Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, baru dapat dikembalikan pada keadaan normal.

2.2.5.4 Klasifikasi Penutup Balik Otomatis

Penutup Balik Otomatis dapat diklasifikasi sebagai berikut :

- A. Menurut media redam busbar apinya adalah :
 1. Media minyak (*Bulb Oil*), Dalam hal ini minyak dipergunakan untuk melindungi isolasi dari tegangan impuls frekuensi rendah.
 2. Media hampa udara (*Vaccum*), Pada Penutup Balik Otomatis jenis ini udara digunakan sebagai media redam terhadap busbar api
 3. Media gas (SF₆), Gas juga dimanfaatkan sebagai media redam busbar api.
- B. Menurut peralatan pengendalinya adalah :
 1. PBO dengan pengaturan hidrolis

Pada PBO dengan pengaturan hidrolis, membuka/menutupnya kontak-kontak dilakukan dengan cara hidrolis (tekanan minyak). Arus gangguan dideteksi 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 elektronis

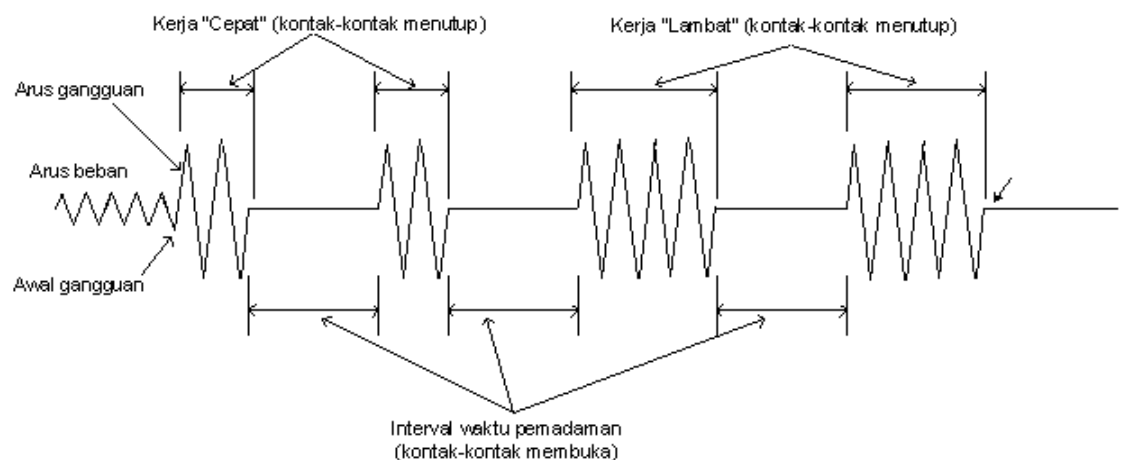
PBO dengan pengaturan elektronik lebih mudah diatur dalam hal membuka / menutup kontak-kontak, mudah diprogramkan urutan kerjanya dan lebih akurat dibandingkan dengan PBO pengaturan hidrolis. Alat pengaturan elektronik mempunyai kotak sendiri (kabinet) yang terpisah dari PBO nya. Pada pengaturan elektronik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

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

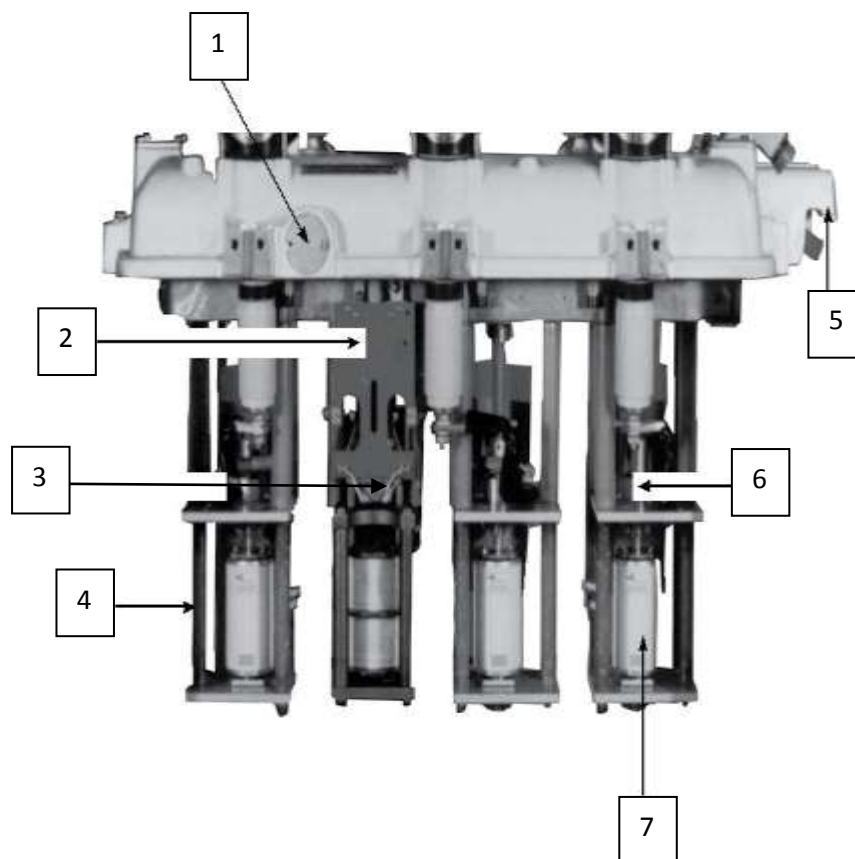
Salah satu contoh urutan operasi dari PBO, dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



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).

2.2.5.5 Bagian – Bagian PBO Tipe VWVE (*Vaccum Whitstand Voltage Electronical*) 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 vacuum interrupter yang terbuat dari fiberglass

5. Sleett hold

Tempat operasi manual dan sebagai petunjuk indikator posisi.

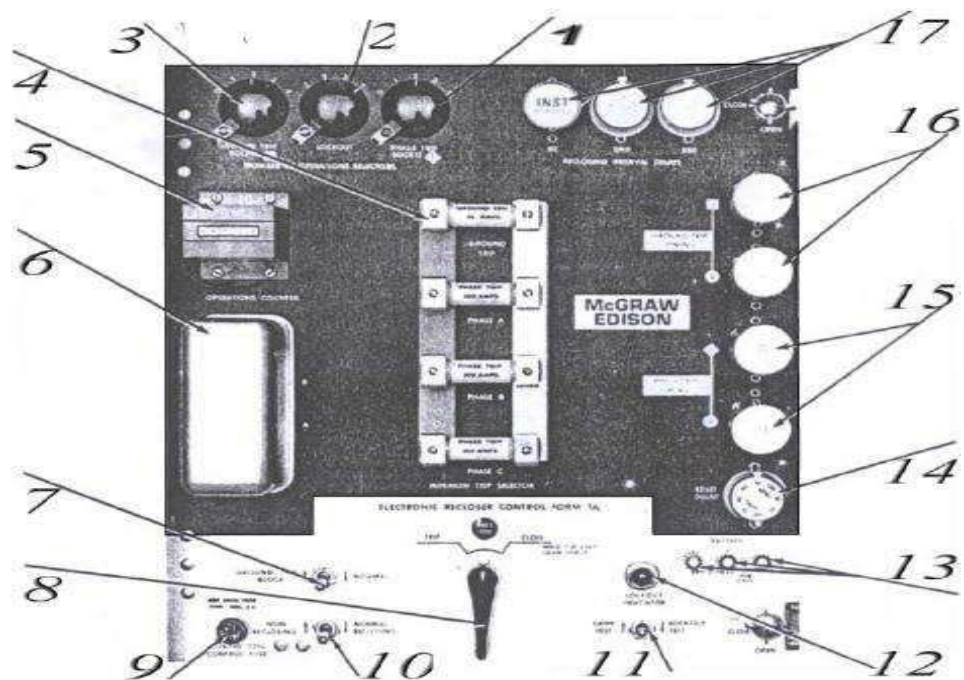
6. Current exchange

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

7. Vaccum interrupter

Sebagai tenaga PBO untuk trip dan media peredam bunga api.

2.2.5.6 Elektronik Control Box



Gambar 2.12 Elektronik Control Box

Keterangan Gambar :

1. Phase trip sequence selector

Untuk memilih trip cepat pada gangguan fasa yang kurva arus waktunya diprogram seperti pada fase *trip timing 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 timing socket 1*.

4. *Minimum trip resistor*

Untuk menyetel level arus trip minimum untuk *ground* dan masing – masing fasa. Tahanan catridge 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 relai sampai urutan mengunci pada posisi battrery.

b. Posisi *close* :

Penutup balik menutup mengembalikan relai urutan (*sequence relay*) ke posisi start dan menghubungkan kembali battery. 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 *battery* jika sumber rangkaian tegangan rendah untuk PBO.

10. *Non reclosing/normal closing switch*

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

11. *Lamp test / lock out indicating switch*

Menguji kondisi lampu signal 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 *battery* 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. *Fase trip timing 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 timing 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 *reclose* pertama.

2.2.6 Gangguan pada Jaringan Tegangan Menengah

Dalam sistem distribusi pada tegangan menengah, biasanya terdapat gangguan yang bersumber dari dalam sistemnya sendiri dan gangguan dari luar.

1. Gangguan dari dalam antara lain :
 - a. Tegangan lebih dan arus lebih
 - b. Pemasangan tidak baik, diantaranya pada SKTM maupun SUTM
2. Gangguan dari luar :
 - a. Untuk SKTM antara lain :
 1. Gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain
 2. Kendaraan yang lewat di atasnya
 - b. Deformasi tanah Untuk SUTM antara lain :
 1. Angin yang menyebabkan dahan/ranting pohon mengenai SUTM
 2. Kegagalan atau kerusakan peralatan pada saluran
 3. Cuaca (surja petir)
 4. Binatang dan benda-benda lain seperti benang layang-layang

Macam-macam gangguan pada SUTM dapat dibagi menjadi dua kelompok :

1. Gangguan hubung singkat pada jaringan listrik, dapat terjadi antara Fasa dengan fasa (2 Fasa atau 3 Fasa) dan gangguan antara fasa ke tanah. Timbulnya gangguan bisa bersifat temporer (*non persistent*) dan gangguan yang bersifat permanent (*persistent*).
2. Gangguan yang bersifat temporer, timbulnya gangguan bersifat sementara, sehingga tidak memerlukan tindakan. Gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya *flashover* antar penghantar dan tanah (tiang, traverse atau kawat tanah) karena sambaran petir, *flashover* dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya. Gangguan yang bersifat permanen (*persistent*), yaitu gangguan yang bersifat tetap. Agar jaringan dapat berfungsi kembali, maka perlu dilaksanakan perbaikan dengan cara menghilangkan gangguan tersebut.

Gangguan ini akan menyebabkan terjadinya pemadaman tetap pada jaringan listrik dan pada titik gangguan akan terjadi kerusakan yang permanen. Contoh: menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Di sini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan.

Beberapa, penyebab yang mengakibatkan terjadinya, gangguan hubung singkat, antara lain:

1. Terjadinya angin kencang, sehingga menimbulkan gesekan pohon dengan jaringan listrik.
2. Kesadaran masyarakat yang kurang, misalnya bermain layang-layang dengan menggunakan benang yang bisa dilalui aliran listrik. Ini sangat berbahaya jika benang tersebut mengenai jaringan listrik.
3. Kualitas peralatan atau material yang kurang baik, misalnya: pada JTR yang memakai *Twisted Cable* dengan mutu yang kurang baik, sehingga isolasinya mempunyai tegangan tembus yang rendah, mudah mengelupas dan tidak tahan panas. Hal ini juga akan menyebabkan hubung singkat antar fasa.
4. Pemasangan jaringan yang kurang baik misalnya: pemasangan konektor pada JTR yang memakai TC, apabila pemasangannya kurang baik akan menyebabkan timbulnya bunga api dan akan menyebabkan kerusakan fasa yang lainnya. Akibatnya akan terjadi hubung singkat.
5. Terjadinya hujan, adanya sambaran petir, karena terkena galian (kabel tanah), umur jaringan (kabel tanah) sudah tua yang mengakibatkan pengelupasan isolasi dan menyebabkan hubung singkat dan sebagainya.