

transformator *step-up* yang ada dipusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 70 kV, 150 kV, atau 500 kV. Khusus untuk tegangan 500 kV dalam praktik saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka sampailah tegangan listrik ke gardu induk (G1), lalu diturunkan tegangannya menggunakan transformator *step-down* menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka tenaga listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 volt, lalu disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN.

2.2 Bentuk – Bentuk Saluran Distribusi

Bentuk – bentuk saluran distribusi dapat dibedakan berdasarkan :

1. Konstruksi konduktornya.
2. Tempat peletakannya.
3. Susunan peletakannya.
4. Bahan konduktornya.
5. Susunan rangkaiannya.

2.2.1 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Konstruksi Konduktornya

Bentuk saluran distribusi berdasarkan konstruksi konduktornya dapat dibedakan atas :

a. Kawat

Kawat yaitu penghantar yang konduktornya tidak dilindungi oleh lapisan isolasi sebagai pelindung luar (dibiarkan telanjang). Tipe konstruksi demikian hanya diperuntukkan pada pasangan luar (outdoor) yang diharapkan terbebas dari sentuhan, misalnya untuk pasangan overhead. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan untuk saluran udara didasarkan pada besarnya beban yang dilayani, makin luas beban yang dilayani maka makin besar ukuran penampang kawat yang digunakan. Penghantar yang umum digunakan pada jaringan distribusi adalah jenis AAAC.

b. Kabel

Kabel yaitu penghubung yang konduktornya dilindungi (dibungkus) oleh lapisan isolasi. Cara pembungkusannya ada yang berisi hanya satu (urat) konduktor, ada yang berisi dua, tiga, atau empat urat. Tapi untuk kepentingan penyaluran daya bertegangan menengah ke atas umumnya digunakan satu urat atau tiga urat.

Sebagai bahan isolasi, dipilih dan digunakan beberapa jenis bahan yang berbeda, tergantung pada besarnya tegangan penyaluran dan juga tergantung dimana kabel tersebut dipasang. Pemasangan saluran kabel ini dilakukan dengan pertimbangan apabila saluran udara tidak memungkinkan untuk dipasang. Saluran kabel antara lain dipasang pada penyulang dari gardu induk ke SUTM dan dari SUTM ke gardu trafo pelanggan. Saluran kabel yang umum digunakan pada saluran jaringan distribusi adalah jenis XLPE dan CVT.

2.2.2 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Tempat Peletakannya

Bentuk saluran distribusi berdasarkan tempat peletakannya dapat dibedakan menjadi :

a. Saluran Udara

Saluran udara baik digunakan pada daerah dengan kerapatan beban kecil. Saluran udara banyak digunakan karena harga pembelian hak jalan untuk hantaran udara dan harga materialnya relatif murah. Kelebihan lain saluran udara ini antara lain adalah mudah melakukan perluasan pelayanan, mudah melakukan pemeriksaan apabila terjadi gangguan pada jaringan, mudah melakukan pemeriksaan, serta tiang – tiang jaringan distribusi primer dapat digunakan untuk jaringan distribusi dan keperluan pemasangan trafo atau gardu tiang. Dengan demikian dapat dikatakan biaya instalasinya relatif murah. Kekurangan pada saluran udara antara lain adalah gangguan lebih mudah terjadi karena penyaluran daya dilakukan melalui kawat atau kabel yang tergantung pada tiang dengan perantara isolator. Selain itu, biaya pemeliharannya juga relatif tinggi dan mengurangi keindahan sekitarnya. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas kawat tembaga telanjang (BCC), aluminium telanjang (AAC), serta bahan campuran yang berbasis aluminium (AAAC).

b. Saluran Bawah Tanah

Saluran bawah tanah baik digunakan untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi, misalnya di pusat kota atau pusat industri. Saluran bawah tanah banyak digunakan dalam kawasan tersebut karena banyak terdapat bangunan–bangunan tinggi, sehingga pemasangan hantaran udara akan mengganggu, baik dari segi keindahan maupun dari keamanan. Pemasangan saluran udara dalam kawasan tersebut dapat membahayakan keselamatan manusia.

Bahan untuk kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga dan aluminium. Sebagai isolasi digunakan bahan – bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa timah hitam. Jenis tegangan menengah sering dipakai juga minyak sebagai isolasi. Jenis kabel demikian dinamakan GPLK (*Gewapend Papier Load Cable*) yang merupakan standar Belanda. Pada saat ini bahan isolasi buatan berupa PVC (Polivinyl Chloride) dan XLPE (*Cross-linked Polyethylene*) telah berkembang pesat dan merupakan bahan isolasi yang handal (Kadir, 2006:39).

Beberapa keuntungan dari penggunaan saluran bawah tanah adalah bebas dari gangguan pohon, sambaran petir, dan tidak menyebabkan bahaya sentuh oleh manusia. Sedangkan beberapa kerugian dari penggunaan saluran bawah tanah adalah biaya pembangunan yang relatif mahal, sulit mengetahui letak gangguan jika terjadi gangguan dan gangguan tersebut bersifat permanen, serta waktu dan biaya yang diperlukan untuk menanggulangi jika terjadi gangguan lebih lama dan lebih mahal.

c. Saluran Kabel Bawah Laut

Saluran bawah laut (*submarine cable*) yaitu saluran yang dipasang di dasar laut untuk keperluan suplai antar pulau. Kabel jenis ini juga dirancang khusus atau disesuaikan dengan kondisi lingkungan tempat pemasangannya.

2.2.3 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Susunan Peletakannya

Istilah lain dari susunan peletakan untuk saluran distribusi tenaga listrik adalah konfigurasi. Konfigurasi suatu jaringan distribusi, baik primer maupun sekunder pada dasarnya dipengaruhi dan ditentukan oleh situasi medan dimana jaringan tersebut dipasang. Adapun berbagai macam konfigurasi jaringan

distribusi listrik seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2. Ada tiga macam konfigurasi yang dikenal, yaitu:

a. Konfigurasi Horizontal

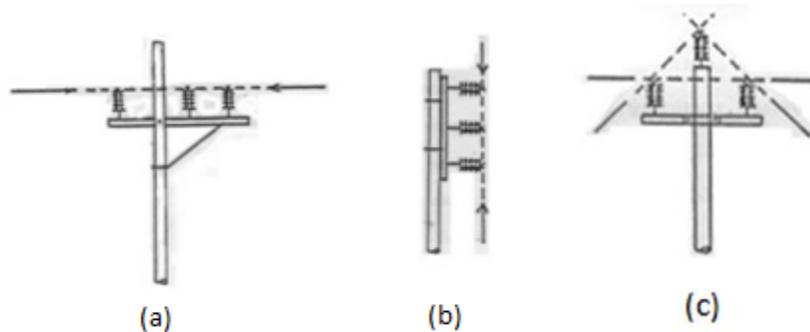
Konfigurasi horizontal yaitu bila diantara ketiga saluran fasanya saling membentuk garis lurus horizontal sejajar dengan permukaan tanah. Konfigurasi horizontal ini ada dua macam, yaitu konfigurasi horizontal tanpa perisai pelindung dan konfigurasi horizontal dengan perisai pelindung.

b. Konfigurasi Vertikal

Konfigurasi vertikal yaitu bila diantara ketiga saluran fasa pada sistem tiga fasa (R, S, T) saling membentuk garis vertikal, yaitu tegak lurus dengan bidang tanah dan sejajar dengan posisi tiangnya. Dalam perkembangannya, terdapat pula konfigurasi vertikal delta.

c. Konfigurasi Segitiga atau Delta

Konfigurasi segitiga atau delta yaitu apabila ketiga saluran fasanya membentuk bidang segitiga (delta).



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Listrik

(a) Konfigurasi Horizontal

(b) Konfigurasi Vertikal

(c) Konfigurasi Delta

2.2.4 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Susunan Rangkaiannya

Jaringan distribusi atau biasa disebut penyulang merupakan saluran bertengangan menengah 20 kV yang menghubungkan dari Gardu Induk ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel 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. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer yaitu:

- a. Jaringan Distribusi Radial
- b. Jaringan Distribusi Loop
- c. Jaringan Distribusi Spindel
- d. Jaringan Distribusi Gugus (*Cluster*)

a. Jaringan Distribusi Radial

Pada jaringan distribusi yang sering digunakan di Indonesia khususnya kota Palembang, yakni menggunakan jaringan distribusi radial.

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani seperti jaringan distribusi radial ditunjukkan pada gambar 2.3.

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar. Oleh karena kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Maksudnya, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar, ukuran penampangnya relatif besar, dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

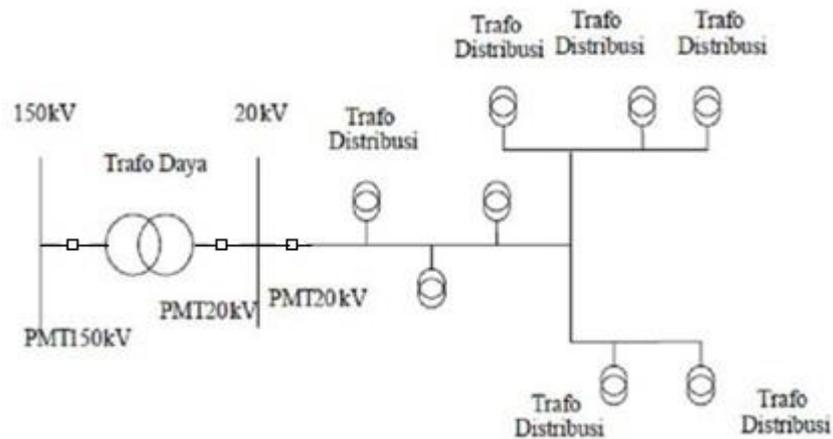
Kelebihan:

1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya relatif murah.

Kelemahan:

1. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.

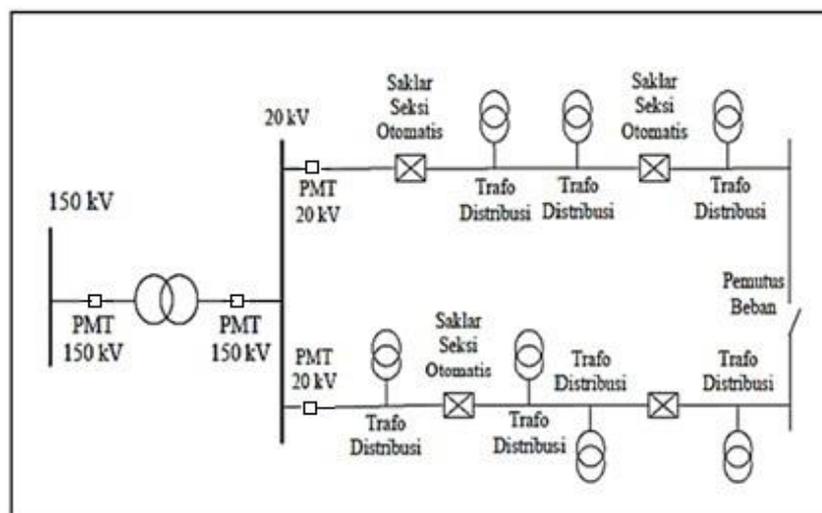
2. Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami *black out* secara total.



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial

b. Jaringan Distribusi Lingkar (*Loop*)

Pada jaringan tegangan menengah struktur lingkaran (*Loop*) yang ditunjukkan pada gambar 2.4 dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



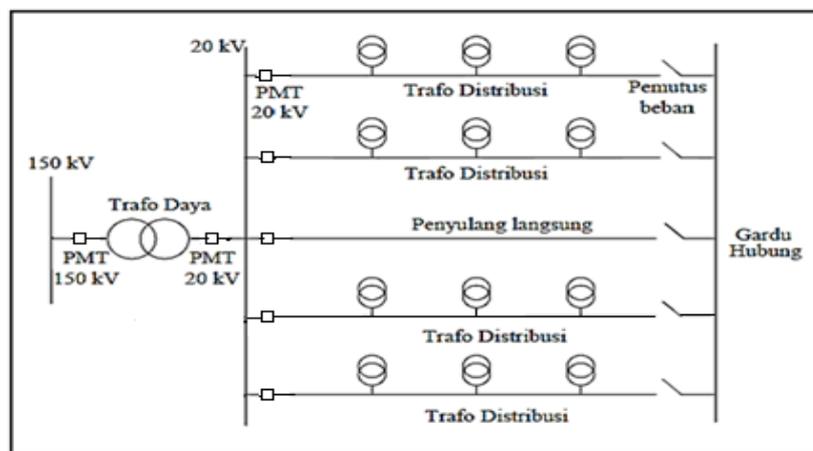
Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan *Loop*

Keuntungan lain dari sistem *loop* ini diantaranya dapat menyalurkan daya listrik melalui satu atau dua saluran *feeder* yang saling berhubungan, bila terjadi gangguan pada saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk menyalurkan daya listrik, bila digunakan dua sumber pembangkit, kapasitas tegangan lebih baik dan regulasi tegangan cenderung kecil. Sama halnya dengan konfigurasi jaringan yang lain, selain memiliki keuntungan-keuntungan di atas, jaringan *loop* ini juga memiliki kekurangan, antara lain drop tegangan yang semakin besar dan bila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan akan lebih jelek.

c. Jaringan Distribusi Spindel

Sistem spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan *loop*. Pada jaringan spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express feeder*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Konfigurasi jaringan distribusi spindel dapat dilihat pada gambar 2.5.

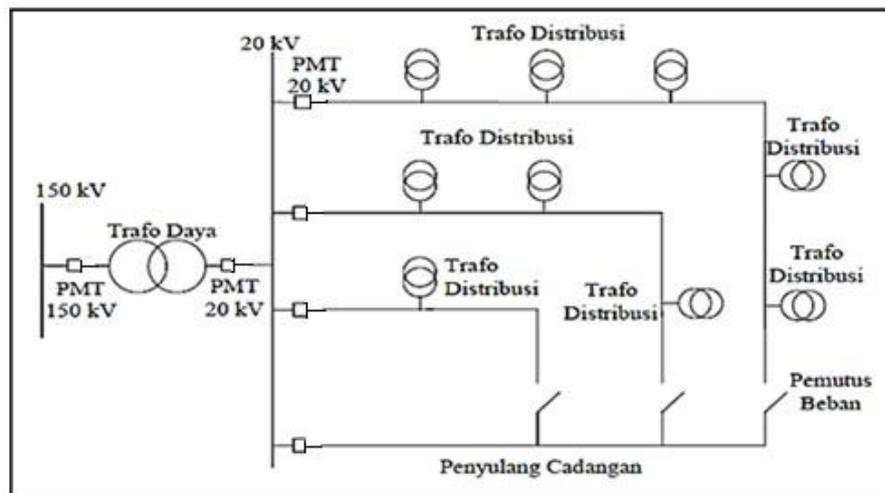
Keuntungan dan kerugian dalam sistem ini antara lain dari segi teknis lebih handal karena memiliki penyulang langsung (*express feeder*), pada kondisi normal *express feeder* tidak menampung beban sama sekali, jika *express feeder* lebih besar daripada *feeder* atau penyulang lain yang beroperasi akan lebih maksimal, dan lebih mudah bila jumlah *feeder* dalam satu spindel kurang dari empat *feeder*.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan *Spindel*

d. Jaringan Distribusi Gugus atau *Cluster*

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



Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan *Cluster*

Sistem ini memiliki keuntungan sistem operasi yang lebih mudah dibanding dengan system spindle, tidak memerlukan tempat *switching* atau gardu hubung dalam satu tempat, panjang jaringan bisa lebih pendek untuk kawasan yang sama.

2.3 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada suatu sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari pembangkit, gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi. Pada sistem ini setiap gangguan yang terjadi pada salah satu sistem tersebut akan mengganggu semua beban yang ada pada saluran tersebut.

Apabila gangguan tersebut bersifat permanen maka diperlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum mengoperasikan kembali sistem tersebut, maka pelanggan yang mengalami gangguan pelayanan jumlahnya relatif banyak.

Berdasarkan ANSI (*American National Standards Institute*) / IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi (Suswanto 2009:245). Gangguan hubung singkat sendiri dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi (Suswanto 2009:253).

2.3.1 Penyebab Gangguan

Gangguan biasanya diakibatkan oleh kegagalan isolasi di antara penghantar fasa atau antara penghantar fasa dengan tanah. Secara nyata kegagalan isolasi dapat menghasilkan beberapa efek pada sistem yaitu menghasilkan arus yang cukup besar, atau mengakibatkan adanya impedansi diantara konduktor fasa atau antara penghantar fasa dan tanah. Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi disebabkan karena (*Hutauruk, 1987 : 3*):

- a. kesalahan mekanis
- b. kesalahan termis
- c. karena tegangan lebih
- d. karena material yang cacat atau rusak
- e. gangguan hubung singkat
- f. konduktor putus

Faktor-faktor penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi adalah karena (*Hutauruk, dalam Suswanto 2009:248*):

- Surya petir atau surya hubung
- Burung atau daun-daun
- Polusi debu

- Pohon-pohon yang tumbuh di dekat jaringan
- Keretakan pada isolator
- Andongan yang terlalu kendor

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan agak lama pada suatu sistem daya, akan banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang akan terjadi. Berikut ini akibat yang ditimbulkan gangguan hubung singkat antara lain:

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- b. Rusaknya perlengkapan-perengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

2.3.2 Jenis-Jenis Gangguan

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan yang datang dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

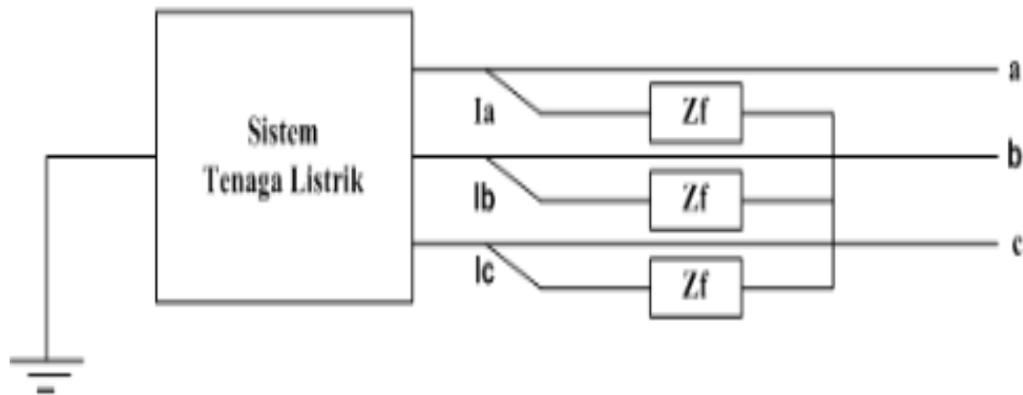
Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi (Hutauruk, dalam Suswanto 2009:248) adalah:

- Dari jenis gangguannya:
 - ✓ Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah
 - ✓ Gangguan fasa ke fasa
 - ✓ Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah
- Dari lamanya gangguan:

- ✓ Gangguan permanen
- ✓ Gangguan temporer atau sementara

2.4 Macam-Macam Gangguan Berdasarkan Jenis Gangguannya

2.4.1 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 3 fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara vertikal. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan.

Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.

Gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus hukum ohm yaitu (Sarimun, 2012:169):

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{E_{\text{fasa}}}{Z_{1\text{eq}} + Z_f} \dots \dots \dots (2.1)$$

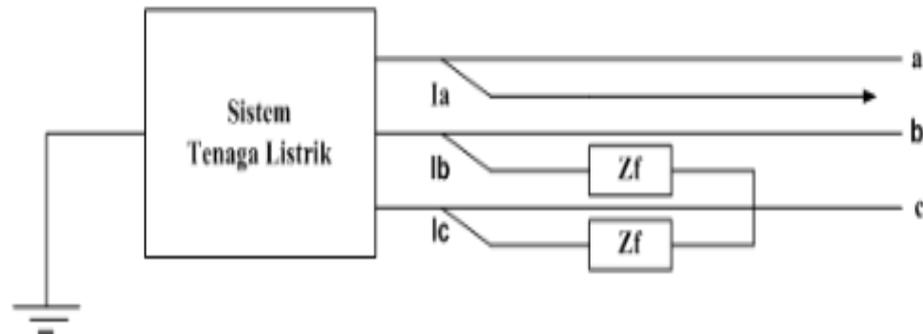
Dimana, I = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

E_{fasa} = Tegangan fasa-netral sistem $20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}}$

$Z_{1\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

2.4.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 2.8 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa.

Gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Sarimun, 2012:169):

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{E_{\text{fasa-fasa}}}{Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}} + Z_f} \dots\dots\dots(2.2)$$

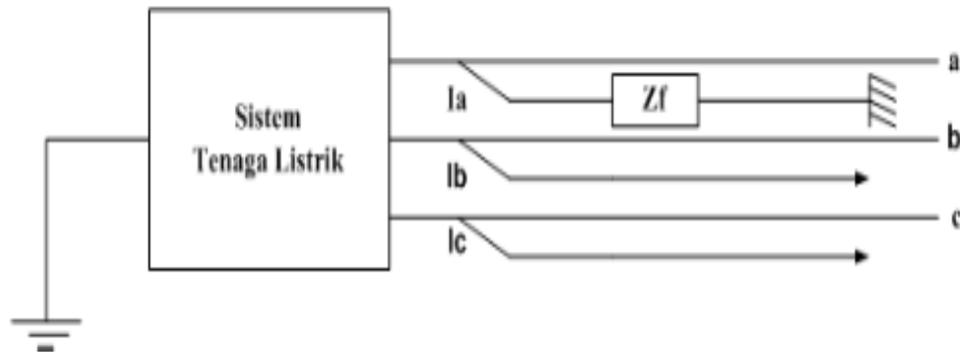
- Dimana,
- I = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (A)
 - $E_{\text{fasa-fasa}}$ = Tegangan fasa-fasa (kV)
 - $Z_{1\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)
 - $Z_{2\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan negatif (Ohm)
 - Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Seperti halnya gangguan 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

Dalam hal ini dianggap nilai $Z_{1\text{eq}} = Z_{2\text{eq}}$, sehingga persamaan arus gangguan hubung singkat 2 fasa di atas dapat di sederhanakan menjadi :

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{E_{\text{fasa-fasa}}}{2Z_{1\text{eq}} + Z_f} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.4.3 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah



Gambar 2.9 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi/distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dan lain-lain.

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut (Sarimun, 2012:170) :

$$I_{1 \text{ fasa-tanah}} = \frac{3 \cdot E}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq} + Z_f} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana, I = Arus gangguan hubung singkat fasa-tanah (A)

E = Tegangan fasa-netral sistem $20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}}$

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan negatif (Ohm)

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Kembali sama halnya dengan perhitungan arus gangguan 3 fasa dan 2 fasa, arus gangguan 1 fasa ketanah juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sehingga dengan rumus terakhir diatas dapat dihitung besarnya arus gangguan 1 fasa ke tanah sesuai lokasi gangguannya.

2.5 Macam Gangguan Berdasarkan Lamanya Gangguan

2.5.1 Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang di mana untuk menghilangkan gangguannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara, dan terjadinya gangguan hubung singkat (Suswanto, 2009:248).

2.5.2 Gangguan Sementara atau Temporer

Gangguan yang bersifat sementara atau temporer ini apabila terjadi, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila ganggguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen. Gangguan yang bersifat sementara atau temporer adalah gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

Salah satu contoh gangguan yang bersifat sementara atau temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan.

(Suswanto, 2009:247).

2.6 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan hubung singkat adalah suatu analisa kelakuan suatu sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut.

Analisa gangguan hubung singkat ini dianggap perlu karena gangguan yang mengakibatkan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang lebih besar daripada arus normal. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi (Stevenson, 1994):

- Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya
- Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tidak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat
- Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan yang lain.
- Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda; kejadian ini dikenal sebagai “*cascading*”.

Untuk menghitung arus hubung singkat pada sistem distribusi 20kV, pertama-tama menghitung impedansi sumber (reaktansi) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus sisi primer 150kV, kedua menghitung reaktansi trafo tenaga dan ketiga menghitung impedansi penyulang.

2.6.1 Komponen Simetris

Metode komponen simetris digunakan dalam perhitungan yang berhubungan dengan keadaan yang tak seimbang pada perangkat listrik tiga fasa, dan secara khusus untuk perhitungan hubung singkat yang tidak

seimbang pada perangkat listrik.

Komponen-komponen yang seimbang ini dinamakan menjadi tiga komponen urutan (Sarimun, 2012:83) :

- Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai urutan yang sama dengan fasa aslinya.
- Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai fasor urutan yang berlawanan dengan fasa aslinya.
- Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama simetris besarnya dan berbeda fasa nol derajat.

Impedansi yang dikenal ada tiga macam yaitu :

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang terletak semakin jauh dari gardu induk tersebut.

Impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan jenis konduktor ini.

Besarnya impedansi urutan positif dan urutan negatif tergantung dari pabrikan di mana $Z_1 = Z_2$, kecuali untuk Z_0 tergantung pada putaran mesin dan masing-masing elemen peralatan listrik seperti terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Urutan Nol dari Variasi Elemen pada Sistem Tenaga Listrik (Sarimun, 2012:88)

Elemen	Z_0
Trafo tenaga : (dilihat dari sisi sekunder) <ul style="list-style-type: none"> • Tanpa Pembumian • Dyn atau YNyn • Ydyn • Yyn 	∞ X_1 $3X_1$ 10 s/d 15 X_1
Generator : <ul style="list-style-type: none"> • Sinkron • Asinkron 	$0,5 Z_1$ 0
Jaringan	$3 Z_1$

2.6.2 Menghitung Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo. Berikut persamaan untuk menghitung impedansi sumber (Sarimun, 2012:164):

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{MVA} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan: X_{sc} = Impedansi hubung singkat sumber (ohm)
 kV = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)
 MVA = Daya Hubung Singkat sumber (MVA)

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi primer, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat pada sisi sekunder 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV dilakukan dengan persamaan 2.6 (Sarimun, 2012:166):

$$X_2 (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times X_1 (\text{sisi } 150 \text{ kV}) \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan: X_1 = Impedansi sisi primer (ohm)
 V_1 = Tegangan pada sisi primer (kV)
 V_2 = Tegangan pada sisi sekunder (kV)
 X_2 = Impedansi sisi sekunder (ohm)

2.6.3 Menghitung Reaktansi Trafo

Besarnya nilai reaktansi trafo biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase, untuk mencari nilai reaktansi dalam ohm dapat dicari dengan persamaan berikut (Sarimun, 2012:166):

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$X_t = X_t (\%) \cdot X_t (\text{pada } 100\%) \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan: X_t = Reaktansi trafo (ohm)
 $X_t (\%)$ = Reaktansi trafo (%)
 kV = Tegangan pada sisi sekunder (kV)
 MVA = Daya Trafo (ohm)

2.6.4 Menghitung Impedansi Penyulang

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi $Z = (R + jX) \Omega/\text{km}$.

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 1%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

2.6.5 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ($Z_{1 \text{ eq}}$), negatif ($Z_{2 \text{ eq}}$), dan nol ($Z_{0 \text{ eq}}$) dari titik gangguan sampai ke sumber.

Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah sambungan seri, maka perhitungan $Z_{1 \text{ eq}}$ dan $Z_{2 \text{ eq}}$ dapat langsung menjumlahkan

impedansi tersebut. Sedangkan untuk perhitungan $Z_{0\text{ eq}}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan.

Perhitungan $Z_{1\text{ eq}}$ dan $Z_{2\text{ eq}}$ (Sarimun, 2012:186):

$$Z_{1\text{ eq}} = Z_{2\text{ eq}} = X_{\text{sc}} + X_{\text{t1}} + Z_1 \text{ penyulang} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

X_{sc} = Impedansi sumber sisi sekunder (ohm)

X_{t1} = Impedansi trafo tenaga urutan positif atau negative (ohm)

Z_1 penyulang = Impedansi penyulang urutan positif atau negative (ohm)

$Z_{1\text{ eq}}$ = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm)

$Z_{2\text{ eq}}$ = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif

Sehingga untuk impedansi ekivalen penyulang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

• Gardu Induk – *Recloser*

$$Z_{1\text{ eq}} / Z_{2\text{ eq}} = \{ \% R_{1\text{ jar}} + j (X_{\text{sc(sisi 20kv)}} + X_{\text{t1}} + \% X_{1\text{ jar}}) \} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

$Z_{1\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen penyulang urutan positif (Ω)

$Z_{2\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen penyulang urutan negatif (Ω)

$\% R_{1\text{ jar}}$ = Resistansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

$X_{\text{sc(sisi 20kv)}}$ = Impedansi trafo di busbar sekunder 20 kV (Ω)

X_{t1} = Reaktansi trafo urutan positif (Ω)

$\% X_{1\text{ jar}}$ = Reaktansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

• *Recloser* – Ujung Penyulang

$$Z_{1\text{ eq}} / Z_{2\text{ eq}} = (R_{1\text{ jar GI-Rec}} + \% R_{1\text{ jar Rec-Ujung}}) + j \{ X_{\text{sc (sisi 20kv)}} + X_{\text{t1}} + X_{1\text{ jar GI-Rec}} + (\% X_{1\text{ jar Rec-Ujung}}) \} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

$Z_{1\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen penyulang urutan positif (Ω)

$Z_{2\text{ eq}}$ = Impedansi ekivalen penyulang urutan negatif (Ω)

$R_{1\text{ jar GI-Rec}}$ = Resistansi penyulang Gardu Induk sampai *recloser* (Ω)

$\% R_{1\text{ jar Rec-Ujung}}$ = Resistansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

$X_{\text{sc(sisi 20kv)}}$ = Impedansi trafo di busbar sekunder 20 kV (Ω)

- X_{t1} = Reaktansi trafo urutan positif (Ω)
 $X_{I_{jar\ GI-Rec}}$ = Reaktansi penyulang Gardu Induk sampai *recloser* (Ω)
 $\% X_{I_{jar\ Rec-Ujung}}$ = Reaktansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

Perhitungan $Z_{0\ eq}$ (Sarimun, 2012:169) :

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_{0penyulang} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

- R_N = Tahanan tanah trafo tenaga (ohm)
 Z_{t0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)
 $Z_{0penyulang}$ = Impedansi penyulang urutan nol (ohm)
 Z_{0eq} = Impedansi ekivalen jaringan urutan nol

Sehingga untuk impedansi ekivalen penyulang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

• *Recloser* – Ujung Penyulang

$$Z_{0eq} = 3R_N + R_{0jar\ GI-Rec} + \% R_{0jar\ Rec-Ujung} + j(Z_{t0} + X_{0jar\ GI-Rec} + \% X_{0jar\ Rec-Ujung}) \dots (2.13)$$

Keterangan :

- R_N = Tahanan tanah trafo tenaga (ohm)
 Z_{t0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)
 $Z_{0penyulang}$ = Impedansi penyulang urutan nol (ohm)
 $R_{0jar\ GI-Rec}$ = Resistansi penyulang Gardu Induk sampai *recloser* (Ω)
 $\% R_{0jar\ Rec-Ujung}$ = Resistansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)
 $X_{0jar\ GI-Rec}$ = Reaktansi penyulang Gardu Induk sampai *recloser* (Ω)
 $\% X_{0jar\ Rec-Ujung}$ = Reaktansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 1%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka Z_{0eq} yang didapat juga pada lokasi tersebut. Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah

2.7 Syarat-syarat Sistem Proteksi

Sistem proteksi bertujuan untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu secepat mungkin agar kontinuitas pelayanan dalam sistem tenaga listrik dapat terus berjalan. Adanya kerusakan dapat mengganggu kontinuitas atau keandalan sistem menjadi kurang baik. Untuk menghindari kerusakan tersebut, maka perlu dipasang peralatan proteksi. Selain itu, potensi bahaya listrik terhadap manusia sebagai akibat sengatan aliran listrik dan kerusakan lingkungan sebagai akibat panas yang berlanjut menjadi kebakaran, maka dengan sistem proteksi yang terkoordinasi secara baik hal tersebut dapat dihindarkan.

Skema proteksi harus cocok dan sesuai dengan semua peralatan proteksi yang terpasang pada sistem itu. Pemutusan dari bagian-bagian yang terganggu harus selektif mungkin, jadi hanya dibatasi hanya pada komponen yang terganggu saja, maka sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a. Sensitif / Peka

Sistem proteksi harus cukup peka dan mampu mendeteksi gangguan di kawasan pengamannya. Meskipun gangguan yang terjadi hanya memberikan rangsangan yang sangat minim, namun peralatan pengaman harus mampu mendeteksi kesalahan secara pasti.

b. Keandalan

Sistem proteksi harus memiliki keandalan tinggi dimana dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu dan tidak boleh gagal bekerja. Selain itu, sistem proteksi harus memiliki tingkat ketepatan kerja dan juga tingkat keamanan yang tinggi.

c. Selektifitas

Sistem proteksi yang baik seharusnya cukup selektif dalam mengamankan sistem sehingga dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin, yaitu hanya sub sistem yang terganggu saja yang memang menjadi kawasan pengaman utamanya.

Peralatan pengaman harus mampu membedakan, apakah gangguan terletak di kawasan pengaman utamanya, dimana rele harus bekerja cepat, atau

terletak di sub sistem berikutnya, di mana rele harus bekerja dengan waktu tunda atau tidak bekerja sama sekali.

d. Kecepatan

Sistem proteksi harus mampu memisahkan sub sistem yang mengalami gangguan secepat mungkin. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, ada kemungkinan suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (*time delay*), tetapi waktu tunda tersebut harus secepat mungkin. Dengan tingkat kecepatan yang baik, maka apabila terjadi kerusakan/kerugian dapat diminimalisir.

2.8 Peraatan Proteksi pada Jaringan Tegangan Menengah

Adapun peralatan proteksi yang terdapat pada system penyulang tegangan menengah antara lain adalah:

- Pemutus tenaga (PMT)
- *Fuse Cut Out* (FCO)
- Rele Pengaman
- *Recloser* atau pemutus balik otomatis (PBO)

2.8.1 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) adalah saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan Instalasi listrik dalam keadaan berbeban sesuai dengan ratingnya. Pada saat PMT menghubungkan atau memutuskan arus listrik (beban) terjadi busur api. Untuk memadamkan busur api pemutus tenaga (PMT) dilengkapi dengan media pemadam busur api, antara lain berupa: minyak, udara dan gas.

2.8.2 *Fuse Cut Out* (FCO)

Fuse cut out (FCO) merupakan kombinasi alat pelindung dan pemutus rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 2.10, yang mempunyai prinsip melebur (*expulsion*) atau mengamankan gangguan permanen, apalagi dilewati arus yang besarnya melebihi rating arusnya. Apabila terjadi gangguan maka elemen pelebur yang terletak pada tabung fiber akan meleleh dan terjadi busur api yang akan mengenai tabung fiber.

Karakteristik *fuse* mempergunakan karakteristik *thermal*, jika terjadi beban lebih atau gangguan hubung singkat melebihi kemampuan hantar arusnya,

fuse putus (lebur) maka *fuse* disebut pengaman lebur (pelebur). Pada fuse yang utama adalah elemen pelebur, karena elemen ini yang mengamankan listrik bila terjadi hubung singkat atau beban lebih. Saat pelebur putus akan terjadi busur api yang melewati batang pelebur, sebaiknya dalam anak/batang pelebur diberikan/dimasukkan pasir silika sebagai peredam adanya busur api yang timbul (Sarimun, 2012:217)

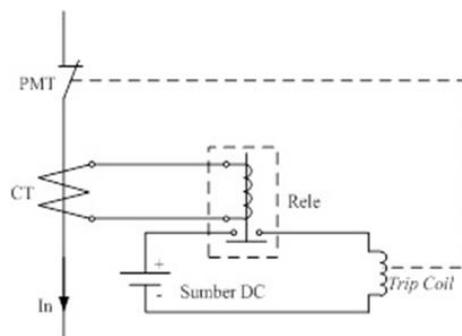


Gambar 2.10 *Fuse Cut Out*

2.8.3 Rele Pengaman

Rele pengaman merupakan peralatan yang psangat penting bagi sistem pengaman tenaga listrik. Fungsinya adalah sebagai pemberi sinyal/perintah trip kepada *circuit breaker/* PMT.

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik akan dirasakan oleh rele dengan bantuan trafo arus, kemudia rele memberi sinyal perintah trip kepada PMT sehingga rangkaian akan terputus. Dalam merasakan adanya gangguan, rele pengaman dibantu oleh trafo arus atau CT sebagai alat penurun arus pada sisi primer menjadi arus yang lebih kecil pada sisi sekunder sesuai dengan angka perbandingannya. Rangkaian kerja rele ditunjukkan oleh gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rangkaian Kerja Rele

Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir di jaringan menjadi sangat besar, hal ini juga dirasakan oleh CT (*Current Transformer*). Fungsi CT adalah mentransformasikan besaran arus yang terukur pada sisi primer ke sisi sekunder CT sesuai dengan rasio CT tersebut. Jika arus yang terukur pada CT melebihi arus *setting* rele pengaman, maka rele pengaman akan bekerja menutup kontakannya. Kontak rele yang menutup tersebut akan mengalirkan sumber DC ke *trip coil*, kemudian *trip coil* akan memerintahkan PMT untuk *trip* atau membuka kontak-kontaknya.

a. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerjanya didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga rele ini dapat dipakai sebagai pola pengamanan arus lebih (Samaulah,2000:53). Gambar rele arus lebih seperti ditunjukkan pada gambar 2.12



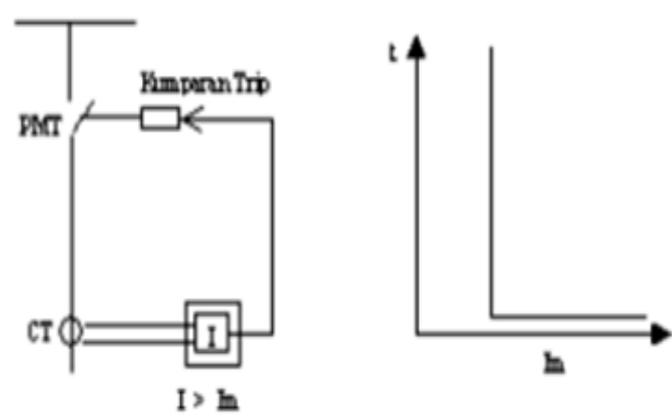
Gambar 2.12 Rele Arus Lebih

Karakteristik rele arus lebih adalah sebagai berikut :

- Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika (*moment*) ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya *pick up* sampai selesai kerja rele sangat singkat (20~100 ms), yaitu tanpa penundaan waktu seperti pada gambar

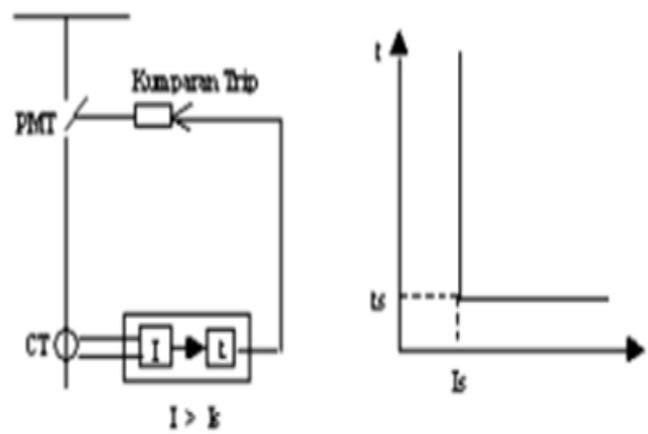
2.13. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) (Samaulah, 2000:53).



Gambar 2.13 Karakteristik Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

- Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)

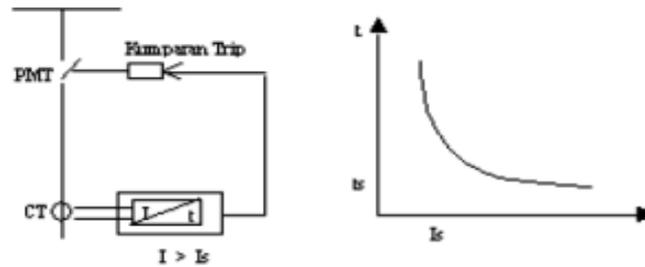
Rele arus lebih dengan waktu tertentu adalah jika jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan seperti terlihat pada gambar 2.14. (Samaulah, 2000:54).



Gambar 2.14 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

- Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time Relay*)

Rele dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Agar rele arus lebih bekerja dengan baik maka arus penyetelan dan waktu penyetelannya haruslah benar. Di mana untuk menghitung arus penyetelan rele arus lebih, harus diketahui terlebih dahulu arus beban maksimum yang melalui jaringan tersebut. Sesuai *British standard* untuk (Sarimun, 2012:162) :

- Rele *Inverse Time* biasa diset sebesar :

$$I_s = 1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \dots \dots \dots (2.14)$$

- Rele *Definite Time* biasa diset sebesar :

$$I_s = 1,2 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

- I_s = Penyetelan arus (Ampere)
- I_{beban} = Arus beban maksimum maksimum (Ampere)

Waktu operasi rele merupakan waktu operasi yang dibutuhkan rele untuk memutuskan pemutus tenaga setelah arus gangguan yang masuk ke rele melalui transformator arus melebihi arus penyetelannya dan dapat dituliskan seperti persamaan berikut (Sarimun, 2012:31):

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{ tms} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$I = \frac{I_f}{I_s} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

- t = Waktu operasi (detik)
- tms = Penyetelan waktu atau *time multiple setting*
- I_f = Arus gangguan terbesar (A)
- I_s = Penyetelan arus (A)

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk waktu penyetelan rele adalah waktu penyetelan minimum dari rele arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0,3 detik. Pertimbangan ini diambil agar rele tidak sampai trip lagi, akibat arus *inrush current* dari transformator distribusi, sewaktu PMT penyulang tersebut dioperasikan (Kadarisman dan Sarimun, hal 20).

Nilai arus gangguan dalam perhitungan waktu penyetelan diatas merupakan nilai arus gangguan hubung singkat fasa-fasa terbesar, yakni hubung singkat 3 fasa pada lokasi gangguan 1% depan gardu induk (Kadarisman dan Sarimun, hal 33).

b. Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah atau *Ground Fault Relay* (GFR) seperti diperlihatkan pada gambar 2.16 digunakan untuk mengamankan sistem distribusi, jika ada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Pemasangannya dapat di penyulang masuk (*incoming feeder*), di penyulang keluar (*outgoing feeder*) atau di gardu hubung (Sarimun, 2012:28).



Gambar 2.16 *Ground Fault Relay*

Pada umumnya, dipasang di gardu-gardu induk bersama-sama dengan *circuit breaker* dan digunakan sebagai pengaman utama untuk mengamankan jaringan distribusi terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

Rele gangguan tanah dapat disetel melai dari 6% sampai dengan 12% x arus gangguan hubung singkat fasa-tanah terjauh/terkecil atau dapat dituliskan persamaannya (Kadarisman dan Sarimun, hal 20) :

$$I_{set} = 6\% \text{ s/d } 12\% \times I_{f1 \text{ fasa-tanah terkecil}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Nilai ini untuk mengantisipasi jika penghantar tersentuh pohon, dimana tahanan pohon nilainya besar yang dapat memperkecil besarnya arus gangguan hubung singkat fasa-tanah.

Penyetelan waktu dari rele gangguan tanah ini sama saja dengan rele arus lebih (OCR) (Kadarisman dan Sarimun, hal 21) :

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} tms \dots\dots\dots(2.19)$$

$$I = \frac{I_f}{I_s} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

t = Waktu operasi (detik)

tms = Penyetelan waktu atau *time multiple setting*

I_f = Arus gangguan terbesar (A)

I_s = Penyetelan arus (A)

2.9 Recloser/ Penutup Balik Otomatis (PBO)

Recloser atau Penutup balik otomatis (PBO) yang diperlihatkan pada gambar 2.17 merupakan peralatan pengaman yang dipasang pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) yang berfungsi mengamankan jaringan ketika terjadi gangguan, baik yang bersifat sementara maupun permanen.



Gambar 2.17 *Recloser*

Recloser terdiri pemutus tenaga dan dilengkapi kotak elektronik (*Electronic Control Box*) yang ditunjukkan pada gambar 2.17, 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 inilah pengaturan (*setting*) *recloser* dapat ditentukan.

Alat pengaman ini bekerja secara otomatis guna mengamankan suatu sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Pada suatu gangguan permanen, *recloser* berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat, *recloser* akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian *recloser* akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka atau menutup balik sebanyak *setting* yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*).

2.9.1 Prinsip Kerja Recloser

Prinsip kerja *recloser* tidak terlepas dari adanya rele penutup balik (*reclosing relay*). *Recloser* merupakan penggabungan OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) yang diperlihatkan pada gambar 2.18, *recloser* dapat masuk kembali secara otomatis jika terjadi gangguan yang sifatnya *temporer*. Operasi buka tutup pada *recloser* berlangsung selama beberapa kali tergantung pada *setting* yang ditentukan. Apabila yang terjadi adalah gangguan yang sifatnya permanen, *recloser* akan *lock out*. *Recloser* dapat dinormalkan (*close*) kembali dengan menarik tuas pada *recloser*, dengan menekan tombol *close* pada kotak panel kontrol di *recloser* tersebut terpasang.

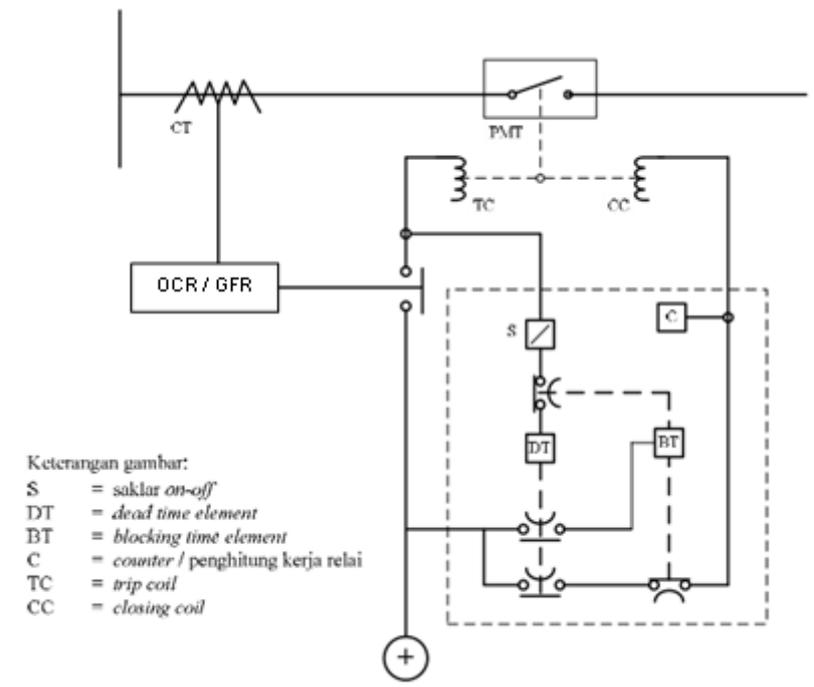
Relai penutup balik mempunyai dua elemen utama, yaitu:

1. Dead Time Element (DT)

Elemen ini berfungsi untuk menentukan jeda waktu saat CB trip sampai CB diperintahkan masuk kembali, dan elemen ini mempunyai kesempatan untuk memadamkan busur api yang terjadi saat kontak CB membuka.

2. Blocking Time Element (BT)

Elemen ini berfungsi untuk memblokir elemen *dead time* selama beberapa waktu setelah bekerja memasukkan CB. *Blocking time* ini dimaksudkan untuk memberi kesempatan CB agar siap melakukan satu siklus *auto reclosing* berikutnya.



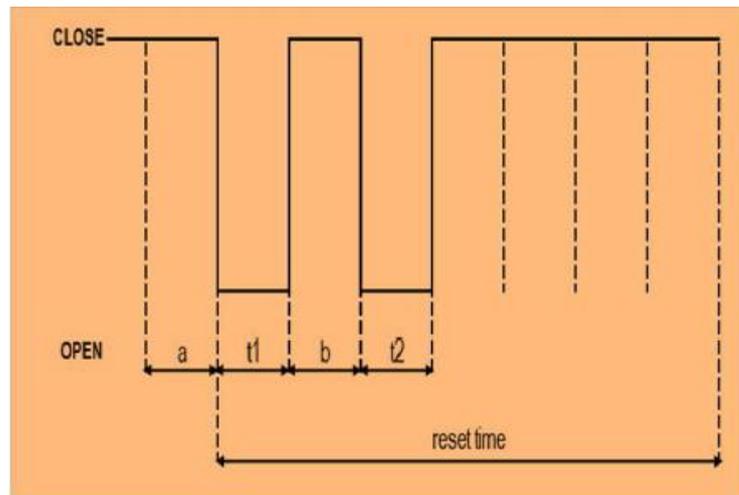
Gambar 2.18 *Single Line Diagram Recloser*

Urutan kerja *recloser* dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bila tidak terjadi gangguan, arus akan mengalir normal menuju beban (*load*).
2. Namun bila ada gangguan, maka arus dari beban (*load*) akan mengalir ke *recloser* dengan melewati trafo arus (CT) sebagai pengukur dan dideteksi oleh *sensing circuit* yang seterusnya akan memberikan perintah ke *trip coil* untuk membuka kontakannya.
3. Kontak *recloser* akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai pengaturan (*setting*) yang ditentukan.
4. Tujuan memberikan selang waktu (*interval time*) adalah untuk memberi kesempatan agar arus gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat sementara (*temporer*).

5. Apabila yang terjadi adalah gangguan tetap (*permanent*) maka *recloser* akan membuka dan menutup balik sesuai *setting* yang ditentukan dan kemudian *lock out*.

Sebagai contoh penyettingan *recloser* sebanyak 3 kali:



Gambar 2.19 Proses Kerja Recloser Saat Gangguan Menghilang

Seperti ditunjukkan gambar 2.20, setelah a detik saat gangguan terjadi, *recloser* akan membuka kontakannya, t_1 detik kemudian *recloser* menutup, lalu b detik kemudian *recloser* membuka kembali, t_2 detik kemudian *recloser* menutup dan ternyata gangguan yang terjadi hilang (*temporer*) maka *recloser* akan menutup dan bekerja secara normal sampai *recloser* mendapat gangguan lagi.



Gambar 2.20 Proses Kerja Recloser Saat Gangguan Permanen

Seperti ditunjukkan gambar 2.20, setelah a detik saat gangguan terjadi, *recloser* akan membuka kontakannya, t_1 detik kemudian *recloser* menutup, b detik

kemudian *recloser* membuka kembali, proses ini akan berlangsung sama terus sampai pada d detik (batas terakhir *reclose*) bila gangguan yang terjadi belum hilang dari sistem (*permanent*), kemudian *recloser* membuka akan terus (*lock out*).

2.9.2 Klasifikasi *Recloser*

Recloser dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Menurut jumlah fasanya *recloser* dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Fasa tunggal

Recloser ini dipergunakan sebagai pengaman saluran fasa tunggal, misalnya saluran cabang fasa tunggal dari saluran utama fasa tiga.

2. Fasa tiga

Recloser fasa tiga umumnya untuk mengamankan saluran tiga fasa terutama pada saluran utama.

b. Menurut media redam busbar apinya adalah :

1. Media minyak (*Bulb Oil*)

2. Media hampa udara (*Vaccum*)

3. Media gas SF₆

b. Menurut peralatan pengendalinya adalah :

1. *Recloser* terkendali hidraulik

Recloser ini menggunakan kumparan penjatuh yang dipasang seri terhadap beban (seri trip *coil*). Bila arus yang mengalir pada *recloser* 200% dari arus settingnya, maka kumparan penjatuh akan menarik tuas yang secara mekanik membuka kontak utama *recloser*.

2. *Recloser* terkontrol elektronik

Cara kontrol elektronik lebih fleksibel, lebih mudah diatur dan diuji secara lebih teliti dibanding *recloser* terkontrol hidrolis. Perlengkapan elektrolis diletakkan dalam kotak yang terpisah. Pengubah karakteristik, tingkat arus penjatuh, urutan operasi dari *recloser* terkontrol elektronik dapat dilakukan dengan mudah tanpa mematikan dan mengeluarkan dari tangki *recloser*.

2.9.3 Penyetelan *Recloser*

a. Penyetelan Arus dan Waktu pada Gangguan Antar Fasa

Penyetelan arus dan waktu pada gangguan antar fasa pada *recloser*/ penutup balik otomatis sama seperti penyetelan arus dan waktu pada rele arus lebih. Agar *recloser bekerja* dengan baik maka penyetelan arus dan waktu haruslah benar. Untuk menghitung penyetelan arus, harus diketahui terlebih dahulu arus beban maksimum yang melalui jaringan tersebut. Sesuai *British standard* untuk (Sarimun, 2012:162) :

- Rele *Inverse Time* biasa diset sebesar :

$$I_{\text{primer}} = 1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \dots \dots \dots (2.21)$$

- Rele *Definite Time* biasa diset sebesar :

$$I_{\text{primer}} = 1,2 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

I_s = Penyetelan arus (Ampere)

I_{beban} = Arus beban maksimum (Ampere)

- $I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{\text{rasio CT recloser}} \dots \dots \dots (2.23)$

Waktu operasi *recloser* untuk mengamankan gangguan antar fasa sama seperti waktu operasi pada rele arus lebih yang merupakan waktu operasi yang dibutuhkan rele untuk memutuskan pemutus tenaga setelah arus gangguan yang masuk ke rele melalui transformator arus melebihi arus penyetelan dan dapat dituliskan seperti persamaan berikut (Sarimun, 2012:31):

$$TMS = \frac{t \left\{ \left[\frac{I_f}{I_s} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0,14} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$t = \frac{0,14}{\left\{ \left[\frac{I_f}{I_s} \right]^{0.02} - 1 \right\}} TMS \dots \dots \dots (2.25)$$

Keterangan:

t = Waktu operasi (detik)

TMS = Penyetelan waktu atau *time multiple setting*

I_f = Arus gangguan terbesar (A)

I_s = Penyetelan Arus (A)

b. Penyetelan Arus dan Waktu pada Gangguan Fasa dengan Tanah

Penyetelan arus dan waktu pada gangguan fasa dengan tanah pada *recloser*/ penutup balik otomatis sama seperti penyetelan arus dan waktu pada rele gangguan tanah/ *ground fault relay* (GFR). Agar *recloser* bekerja dengan baik maka arus penyetelan dan waktu penyetelannya haruslah benar.

Besarnya penyetelan *recloser*/ penutup balik otomatis sama seperti rele gangguan tanah dapat disetel dari 6% sampai dengan 12% x arus gangguan hubung singkat fasa-tanah terjauh/terkecil atau dapat dituliskan persamaannya (Kadarisman dan Sarimun, hal 20) :

$$\bullet I_{\text{set primer}} = 6\% \text{ s/d } 12\% \times I_{f1} \text{ fasa-tanah terkecil} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\bullet I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{\text{rasio CT recloser}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Nilai ini untuk mengantisipasi jika penghantar tersentuh pohon, di mana tahanan pohon nilainya besar yang dapat memperkecil besarnya arus gangguan hubung singkat fasa-tanah.

Penyetelan waktu *recloser*/ penutup balik otomatis dari gangguan tanah dari rele gangguan tanah ini sama saja dengan rele arus lebih (OCR) (Kadarisman dan Sarimun, hal 21) :

$$TMS = \frac{t \left\{ \left[\frac{I_f}{I_s} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0,14} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$t = \frac{0,14}{\left\{ \left[\frac{I_f}{I_s} \right]^{0.02} - 1 \right\}} TMS \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan:

t = Waktu operasi (detik)

TMS = Penyetelan Waktu atau *Time Multiple Setting*

I_f = Arus Gangguan Terbesar (A)

I_s = Penyetelan Arus