

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menjadikan sebagai bahan penulisan skripsi antara berikut :

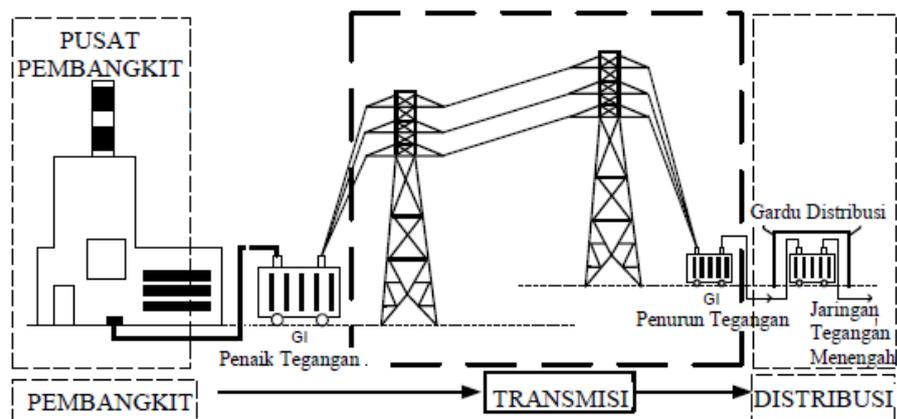
Adimas Satrio Utomo (2012) melakukan penelitian mengenai Penggunaan *Recloser* Dalam Mengamankan Gangguan Pada Penyulang Joyoboyo PT. PLN (Persero) Area Kediri. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa cara kerja dari *recloser* tersebut akan bekerja untuk mengamankan dan meminimalisir gangguan yang terjadi sampai ujung penyulang. *Recloser* bekerjanya hampir sama dengan *circuit breaker* yang dilengkapi dengan peralatan yang dapat menutup balik otomatis.

Kunto Herwin Bono (2005) melakukan penelitian tentang Analisa Penggunaan *Recloser* Untuk Pengaman Arus Lebih Pada SUTM 20 kV Sistem 3 Fasa 4 Kawat Di PT. PLN (Persero) APJ Semarang. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa resiko saluran udara adalah adanya gangguan sesaat akibat arus lebih akibat hubung singkat yang sering terjadi. Dalam hal ini *recloser* berfungsi untuk mengantisipasi gangguan sesaat sehingga pemadaman dapat diantisipasi dan lokasi kerusakan mudah dicari.

Adelina Mir'atussaada (2015) melakukan penelitian tentang Evaluasi Cara Kerja *Auto Recloser* Sebagai Pengaman pada Jaringan Distribusi PT. PLN (Persero) Keramasan. Dari penelitian ini menyimpulkan bahwa bagaimana cara kerja *auto recloser* pada jaringan untuk mengamankan jaringan distribusi serta mengetahui batas kemampuan kerja *auto recloser* apabila ada gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan.

2.2 Pengertian Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan sistem penyaluran tenaga listrik dari sumber daya sampai ke pusat beban. Listrik dibangkitkan dari pusat-pusat tenaga listrik oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) dinaikkan tegangannya kemudian disalurkan ke saluran transmisi 150 kV.

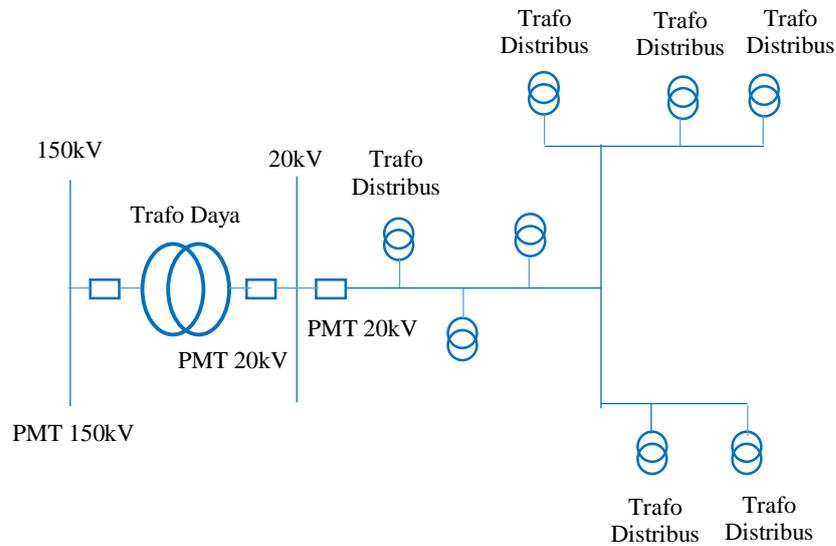


Gambar 2.1. Skema Penyaluran Tenaga Listrik

Sampai di Gardu Induk melalui tranformator penurun tagangan (*step down transformer*) untuk diturunkan tegangannya kemudian melewati SUTM 20 kV, Kemudian diturunkan tegangannya dalam transformator distribusi menjadi TR 380/220 volt yang selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah atau pelanggan melalui sambungan rumah.

2.3 Sistem Radial Penyulang 20 kV

Model jaringan listrik yang digunakan PT PLN (Persero) Distribusi UP3 Magelang untuk menyalurkan aliran listrik ke konsumen yaitu sistem radial. Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.2 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis.



Gambar 2.2. Konfigurasi Jaringan Radial

Dikatakan radial karena jaringan ini ditarik secara radial dari gardu menuju beban/konsumen. Jaringan ini terdiri dari saluran utama dan saluran cabang.

Proses pengaliran listrik ke beban yaitu dengan memasang transformator sedekat mungkin dengan beban. Transformator dipasang untuk menurunkan tegangan agar dapat dikonsumsi oleh pelanggan. Jika beban jauh dari saluran utama dan saluran cabang maka ditarik lagi saluran tambahan yang ditarik dari saluran tersebut.

Keuntungan dari sistem radial adalah konfigurasinya yang tidak rumit serta biaya instalasi yang lebih murah dibandingkan dengan sistem yang lain. Kelemahan sistem radial yaitu *drop voltage* sangat besar jika terjadi gangguan pada sistem maka dapat mengakibatkan jatuhnya sebagian atau keseluruhan dari sistem.

2.4 Proteksi Sistem Jaringan Distribusi

Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik, misalnya adanya arus lebih, tegangan lebih dan sebagainya, maka perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi kondisi gangguan tersebut. Jika dibiarkan, gangguan itu akan meluas keseluruh sistem sehingga bisa menyebabkan rusaknya semua

peralatan sistem tenaga listrik yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan suatu sistem proteksi. Salah satu komponen yang penting untuk pengamanan tenaga listrik adalah Relay proteksi (*Protective Relay*).

Relay Proteksi adalah piranti yang direncanakan untuk mendeteksi bila terjadi suatu gangguan pada peralatan listrik. Bila gangguan itu muncul maka relay proteksi akan secara otomatis memberikan perintah untuk membuka *Circuit Breaker* agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal.

2.4.1 Pengertian proteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain : hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, dan lain-lain.

2.4.2 Fungsi Proteksi

Pada dasarnya semua konstruksi jaringan distribusi tidak ada yang benar-benar aman dari gangguan yang datangnya dari dalam sistem itu sendiri maupun dari dari luar sistem. Gangguan tersebut merupakan potensi yang merugikan ditinjau dari beberapa hal, maka perlunya dipasang sistem proteksi yang berfungsi sebagai berikut:

1. Melokalisir gangguan untuk membebaskan peralatan dari gangguan.
2. Membebaskan bagian yang tidak bekerja normal, untuk mencegah kerusakan.
3. Memberi petunjuk atau indikasi atas lokasi serta macam dari kegagalan.
4. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
5. Untuk mengamankan keselamatan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan listrik.

2.4.3 Tujuan Pemasangan Proteksi

Jaringan distribusi yang baik adalah jaringan yang memiliki perlengkapan dan peralatan yang cukup lengkap, baik peralatan guna kontruksi maupun peralatan proteksi. Tujuan pemasangan komponen proteksi pada SUTM adalah :

1. Meminimalisir lamanya gangguan.
2. Meminimalisir jumlah pelanggan yang terkena gangguan.
3. Meminimalisir pengaruh dari bahaya akibat gangguan.
4. Membatasi sekecil mungkin sistem yang mengalami pemadaman.
5. Melindungi peralatan pada jaringan SUTM.
6. Memisahkan saluran yang terganggu dengan saluran yang tidak terganggu sehingga bagian sistem yang tidak terganggu dapat terus beroperasi.

2.4.4 Perangkat Sistem Proteksi

Perlengkapan utama proteksi pada sistem jaringan distribusi tersebut antara lain :

1. Relay

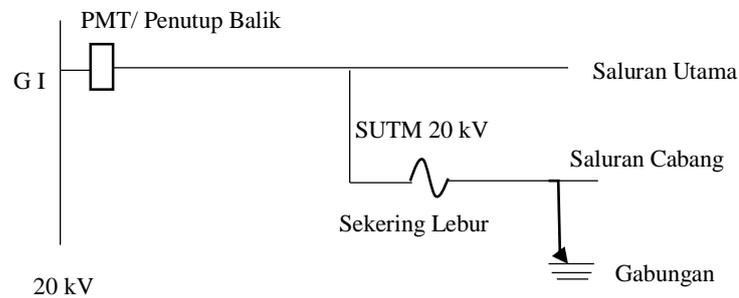
Sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT).

2. Fuse

Fuse cut out (FCO) adalah sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (*fuse link*) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya. FCO ini terdiri dari :

- a. Rumah *fuse* (*fuse support*)
- b. Pemegang *fuse* (*fuse holder*)
- c. *Fuse link*

Pemasangan FCO

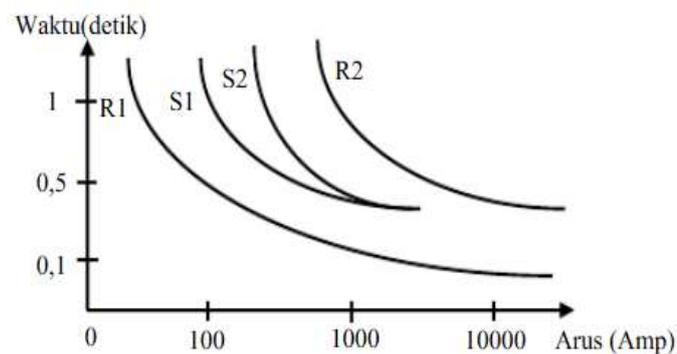


Gambar 2.3. Pemasangan FCO Pada Saluran

Berdasarkan sifat pemutusnya *fuse link* terdiri dari 2 tipe yaitu ;

- a. Tipe K (pemutus cepat)
- b. Tipe T (pemutus lambat)

Karakteristik FCO mempunyai sepasang garis lengkung yang disebut karakteristik arus waktu. Lengkung yang berada dibawah disebut waktu lebur minimum (*minimum melting time*), lengkung diatas disebut waktu bebas maksimum (*maximum clearing time*).



Gambar 2.4. Karakteristik Operasi FCO Dengan *Recloser*

3. Pemutus Tenaga (PMT)

Berfungsi untuk memutuskan saluran secara keseluruhan pada tiap *output*. Pemutusan dapat terjadi karena adanya gangguan sehingga secara otomatis PMT akan membuka ataupun secara manual diputuskan karena adanya pemeliharaan jaringan.

4. Trafo Instrumen

a. Trafo Arus (*Current Transformer*)

Salah satu peralatan lain yang merupakan pendukung proteksi yaitu Trafo Arus/*Current Transformer*. Trafo Arus/*Current Transformer* adalah peralatan listrik yang dapat memperkecil arus besar menjadi arus kecil, dipergunakan dalam rangkaian Arus Bolak Balik. Fungsi CT untuk memperoleh arus yang sebanding dengan arus yang diukur dan untuk memisahkan sirkuit dari sistem yang arus yang hendak diukur terhadap sirkuit dimana instrument tersambung. Kumputan primernya dihubungkan secara seri dengan beban yang akan diukur atau dikendalikan. Beban inilah yang menentukan besarnya arus yang mengalir ke trafo tersebut. Kumputan sekundernya dibebani impedansi konstan dengan syarat tertentu. Fluks inti dan arus yang mengalir pada rangkaian sekunder akan tergantung pada arus primer. Trafo ini disebut juga dengan trafo seri. Trafo arus terdiri atas 2 tipe:

- 1) Tipe *wound primary*
- 2) Tipe *bar primary*

b. Trafo Tegangan (*Potential Transformer*)

Trafo Tegangan adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan *setting* relay. Trafo ini juga memiliki angka perbandingan lilitan atau tegangan primer dan sekunder yang menunjukkan kelasnya.

5. *Recloser*

Recloser adalah suatu peralatan sirkuit yang berfungsi untuk mendeteksi arus lebih karena gangguan hubung singkat. Setiap adanya suatu gangguan, maka operator harus memperbaiki. Namun apabila gangguan temporer pencarian lokasi gangguan sulit ditemukan maka untuk mengatasi hal tersebut menggunakan *recloser*. Jika gangguannya temporer maka *recloser* akan membuka dan menutup kembali sesuai *setting* yang telah ditentukan, *recloser* tidak akan membuka tetap (*lock*

out). Sedangkan jika gangguannya permanen maka setelah *recloser* membuka dan menutup sebanyak *setting* yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*).

6. Pemutus Tenaga (*Circuit breaker*)

Pemutus tenaga atau biasa disebut *Circuit breaker* (CB) adalah peralatan hubung pada saluran distribusi yang berfungsi untuk membuka dan menutup rangkaian dan dapat bekerja dengan baik pada kondisi berbeban. CB ini akan bekerja apabila dikehendaki oleh operator. Jika CB dikordinasi dengan peralatan pengaman, maka dapat bekerja secara otomatis apabila terjadi gangguan akibat adanya impuls gangguan yang dirasakan oleh relay.

7. Baterai / Aki

Sumber tenaga untuk sistem kontrol dan proteksi selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, maka baterai dipakai sebagai sumber tenaga kontrol dan proteksi pada Gardu Induk. Peranan dari baterai sangat penting karena pada saat gangguan terjadi, baterai sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan alat-alat kontrol dan proteksi.

2.5 Gangguan

Yang dimaksud dengan gangguan dalam operasi sistem tenaga listrik adalah keadaan yang terjadi akibat adanya gangguan hubung singkat yang menyebabkan arus yang besar, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya listrik. Untuk bagian sistem yang tidak dilengkapi PMT misalnya yang diamankan dengan sekering, maka gangguan adalah kejadian yang menyebabkan putusnya hubungan (bekerjanya) sekering.

Ditinjau dari sifatnya, Jika gangguannya adalah temporer maka *recloser* akan membuka dan menutup kembali sesuai *setting* yang telah ditentukan, *recloser* tidak akan membuka tetap (*lock out*). Sedangkan jika gangguannya permanen maka setelah *recloser* membuka dan menutup

sebanyak *setting* yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*).

2.5.1 Lamanya Waktu Gangguan

Bila dilihat dari lamanya waktu gangguan maka dapat dikelompokkan menjadi:

1. Gangguan permanen

Gangguan permanen baru dapat dihilangkan atau diperbaiki setelah bagian terganggu itu diisolir dengan bekerjanya pemutus daya.

2. Gangguan temporer

Gangguan temporer yaitu gangguan yang terjadi hanya dalam waktu singkat kemudian sistem kembali pada keadaan normal. Misalnya gangguan yang disebabkan oleh petir atau burung, dimana terjadi loncatan api pada isolasi udara atau minyak. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

2.5.2 Macam Gangguan

Macam-macam perlindungan dari gangguan sistem distribusi, diantaranya terhadap:

1. Beban lebih

Pada saat terjadi gangguan maka sistem akan mengalami keadaan kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk ke sistem dan mengakibatkan sistem menjadi tidak normal, jika dibiarkan berlangsung dapat membahayakan peralatan sistem.

2. Hubung singkat

Pada saat hubung singkat akan menyebabkan gangguan yang bersifat temporer maupun yang bersifat permanen. Gangguan permanen dapat terjadi pada hubung singkat 3 fasa, 2 fasa ketanah, hubung singkat antar

fasa maupun hubung singkat 1 fasa ketanah. Sedangkan pada gangguan temporer terjadi karena *flashover* antar penghantar dan tanah, antara penghantar dan tiang, antara penghantar dan kawat tanah.

3. Tegangan lebih

Tegangan lebih dengan frekuensi daya, yaitu peristiwa kehilangan atau penurunan beban karena *switching*, gangguan AVR, *over speed* karena kehilangan beban. Selain itu tegangan lebih juga terjadi akibat tegangan lebih *transient* surja petir dan surja hubung / *switching*.

2.5.3 Upaya Mengatasi Gangguan

Untuk memperkecil adanya gangguan maka dilakukan pemeliharaan jaringan distribusi. Upaya yang dilakukan dalam mengatasi gangguan diantaranya:

1. Mengurangi terjadinya gangguan
 - a. Memakai peralatan yang dapat diandalkan (memenuhi persyaratan standar).
 - b. Penentuan spesifikasi yang tepat dan desain yang baik (tahan terhadap kondisi kerja normal/gangguan).
 - c. Pemasangan yang benar sesuai dengan desain.
 - d. Penggunaan kawat tanah pada saluran udara tegangan menengah.
 - e. Penebangan/pemangkasan pohon-pohon yang dekat dengan saluran udara tegangan menengah.
 - f. Penggunaan kawat udara/kabek secara selektif.
2. Mengurangi akibat gangguan
 - a. Mengurangi besarnya arus gangguan.
 - b. Menggunakan tahanan pentanahan netral.
 - c. Melepas bagian terganggu dengan mempergunakan Relay dan Pemutus (PMT).
 - d. Pelepasan bagian sistem yang terganggu, antara lain: penggunaan jenis relay yang tepat dan kordinasi relay, penggunaan saluran ganda, penggunaan *recloser*.

2.6 Relay Arus Lebih

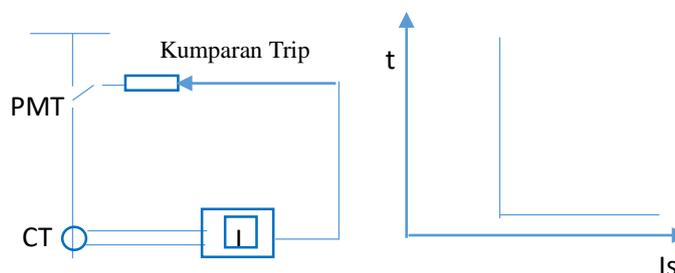
Relay arus lebih atau yang lebih dikenal dengan *over current relay* adalah peralatan proteksi yang banyak dipakai di instalasi listrik, termasuk pada instalasi tegangan tinggi. Relay arus lebih pada instalasi tegangan tinggi digunakan untuk mengamankan / melokalisir sirkuit yang mengalami gangguan antar fasa (*phase to phase*) atau fasa ke tanah (*phase to ground*). Prinsip kerja OCR adalah ketika terjadi gangguan fasa ke tanah maka besarnya arus gangguan akan termonitor melalui CT (*current transformer*) yang kemudian akan diteruskan melalui rangkaian sekunder CT menuju relay proteksi. Relay proteksi akan membaca besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan melebihi *setting* relay, maka relay akan bekerja memberi perintah pada *Circuit Breaker* sehingga daerah terganggu terputus dari sirkuit yang sehat.

2.6.1 Karakteristik Relay Arus Lebih

Pada relay arus lebih terdapat beberapa karakteristik waktu, yang dapat dikelompokkan menjadi 4 jenis yaitu :

1. Relay arus lebih waktu seketika

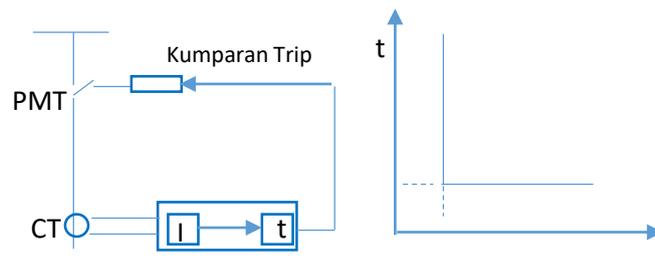
Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*, Relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Kurva Relay Waktu Seketika

2. Relay arus lebih waktu tertentu

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui *setting* (I_s), dan jangka waktu kerja relay mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay, Dapat kita lihat pada gambar 2.6.

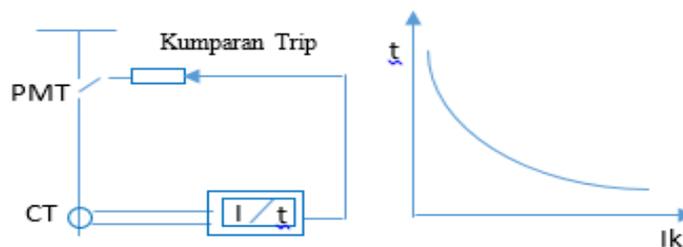


Gambar 2.6. Kurva Relay Waktu Tertentu

3. Relay arus lebih waktu IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*)

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- a. *Standar inverse*
- b. *Very inverse*
- c. *Extremely inverse*



Gambar 2.7. Kurva Relay Waktu IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*)

2.6.2 Pengaman Pada Relay Arus Lebih

Pada relay arus lebih memiliki 2 jenis pengamanan yang berbeda.

1. Pengamanan hubung singkat fasa
Relay mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Relay fasa”. Karena pada relay tersebut dialiri oleh arus fasa, maka *setting* (I_s) harus lebih besar dari arus beban maksimum. Ditetapkan $I_s = 1,2 \times I_n$ (I_n = arus nominal peralatan terlemah).
2. Pengamanan hubung tanah
Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban.

2.7 Pengertian *Recloser*

Recloser adalah suatu rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga dan kontrol elektronik yang berfungsi untuk mendeteksi arus lebih karena gangguan hubung singkat. Jika gangguannya adalah temporer maka *recloser* akan membuka dan menutup kembali sesuai *setting* yang telah ditentukan, *recloser* tidak akan membuka tetap (*lock out*). Sedangkan jika gangguannya permanen maka setelah *recloser* membuka dan menutup sebanyak *setting* yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*). *Recloser* ini akan bekerja kembali jika gangguan telah dihilangkan oleh petugas. Bentuk *recloser* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Recloser*

Recloser berguna untuk mengisolasi gangguan agar tidak bertambah ke sistem yang lebih besar lagi sehingga peralatan listrik tidak mudah rusak. Prinsip kerja *recloser* pada dasarnya hampir sama dengan pemutus.

2.7.1 Konstruksi *Recloser* Entec EVRC 2A

Salah satu *recloser* yang digunakan PT. PLN (Persero) UP3 Magelang adalah tipe Entec EVRC 2A sebagai pengaman arus hubung singkat. Entec EVRC 2A dirancang untuk tegangan AC 110/220V untuk jalur distribusi tegangan rendah. Entec EVRC 2A terdiri dari terisolais kerangka *epoxy*, tangki logam, dan kubikel untuk kontrol. Bagian lay out *recloser* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Bagian Lay Out *Recloser*

Keterangan :

1. Terminal
2. *Vacuum Interrupter*
3. *Insulation Rod*
4. *Bird Guard Cap*
5. *Manual Close Handle*
6. *Hock Stick*
7. *Mechanical Indikator*

Tabel 2.1. Standar Entec EVRC 2A

Variabel	Satuan
Tegangan Maksimal Sistem	27 kV
Rating Frekuensi	50/60 Hz
Rating Arus Kontinu	630 A
Rating Arus Hubung Singkat	12,5/16 kA
Rating Making Current	32,5 kA (peakvalue)
Mechanical Operation life	10.000 operations
Auxiliary Power Supply	AC 110/220 V externalpowersources
Kontrol Circuit Voltage	DC 24 V
Weight :	
1. Main tank	160 kg
2. Kontrol cubicle	84 kg

2.7.2 Prinsip Kerja *Recloser*

Prinsip kerja *recloser* hampir sama dengan *circuit breaker*. Bedanya kalau *recloser* dapat diatur untuk membuka dan menutup secara otomatis. Jika *circuit breaker* digunakan untuk *feeder* yang mengalami gangguan maka hubungan *feeder* akan terputus, sedangkan jika *recloser* yang digunakan, *feeder* yang ada diharapkan tidak terputus. *Recloser* akan membuka dan menutup secara otomatis sebanyak *setting* yang telah ditentukan sebelumnya kemudian *recloser* akan *lock out*.

2.7.3 Cara Kerja *Recloser*

Pada saat ada gangguan arus akan mengalir melalui trafo arus, relay yang berada di kontrol *recloser* akan merasakan gangguan tersebut dan memerintahkan kepada pemutus tenaga untuk membuka. Arus lebih akibat gangguan akan masuk *vacuum interrupter* dan busur api yang terjadi diredam sehingga tidak ada peralatan listrik yang rusak akibat percikan api.

Secara sistematis cara kerja *recloser* adalah sebagai berikut :

1. Pada saat normal arus dan daya listrik mengalir dengan normal.
2. Saat ada gangguan baik gangguan temporer atau permanen maka arus yang lewat akan membuka *recloser*.
3. Untuk gangguan temporer, *recloser* akan menutup kembali sesuai *setting* waktu yang telah ditentukan kemudian arus dan daya listrik akan berjalan normal kembali.
4. Untuk gangguan permanen, *recloser* akan menutup membuka kembali sebanyak berapa kali *setting recloser* tersebut kemudian *lock out*.
5. Jika gangguan permanen sudah dihilangkan petugas maka *recloser* dapat bekerja lagi.

2.7.4 Fungsi Recloser

Recloser dipasang pada jaringan SUTM, karena pada jaringan SUTM sering mengalami gangguan hubung singkat yang bersifat temporer. *Recloser* berfungsi untuk menormalkan kembali jaringan SUTM atau memperkecil daerah pemadaman yang disebabkan oleh gangguan temporer.

Recloser berguna sebagai pengaman jaringan SUTM sehingga dapat melokalisir / mengurangi daerah yang terganggu oleh gangguan temporer.

2.7.5 Sifat Kerja Recloser

Ada dua sifat kerja pada *recloser* yaitu :

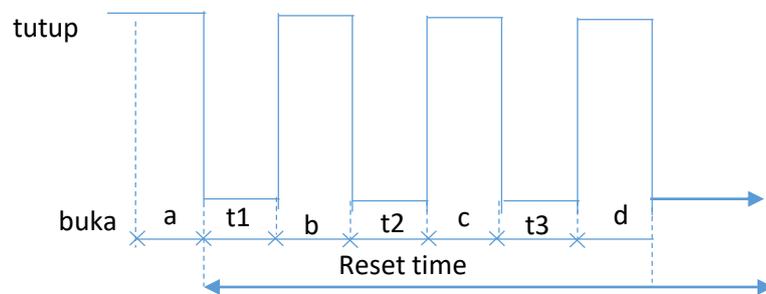
1. *Dual timing*, *recloser* dapat melaksanakan operasi cepat dan operasi lambat. *Recloser* dengan operasi cepat untuk mengantisipasi akibat dari gangguan temporer. *Recloser* dengan operasi lambat digunakan sebagai koordinasi dengan pengaman yang berada disisi hilir.
2. *Reset* otomatis, apabila gangguan telah hilang pada operasi cepat maka *recloser* akan *reset* ke status awal. Bila muncul gangguan setelah waktu *reset*, maka *recloser* mulai mengitung waktu dari awal.

2.7.6 Macam Pengaturan *Recloser*

Macam-macam pengaturan *recloser* adalah sebagai berikut

1. *Recloser* diatur 4 kali operasi
 - a. Gangguan permanen

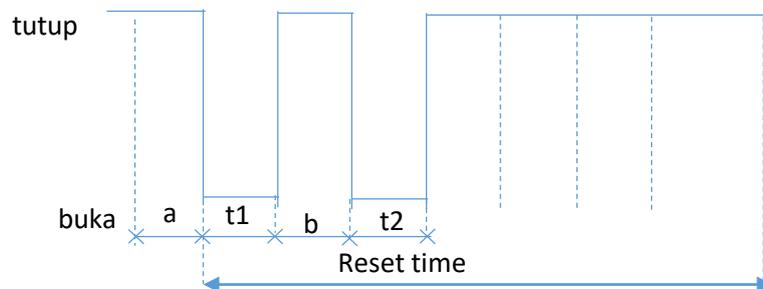
Pada Gambar 2.10, *Recloser* diatur 4 kali operasi. Setelah gangguan permanen terjadi selama a detik *recloser* akan membuka, kemudian setelah t_1 detik *recloser* akan menutup kembali tetapi b detik kemudian *recloser* membuka kembali. Proses ini berlangsung terus sampai d detik, kemudian *recloser* akan *lock out*.



Gambar 2.10. *Recloser* Diatur 4 Kali Operasi Mendapat Gangguan Permanen

- b. Gangguan sementara

Setelah gangguan sementara terjadi selama a detik *recloser* akan membuka, kemudian setelah t_1 detik *recloser* akan menutup kembali tetapi b detik kemudian *recloser* akan membuka kembali, t_2 detik kemudian *recloser* akan menutup dan akhirnya gangguan telah hilang maka *recloser* akan menutup terus sampai ada gangguan lagi. Dan prosesnya dapat dilihat pada gambar 2.11.

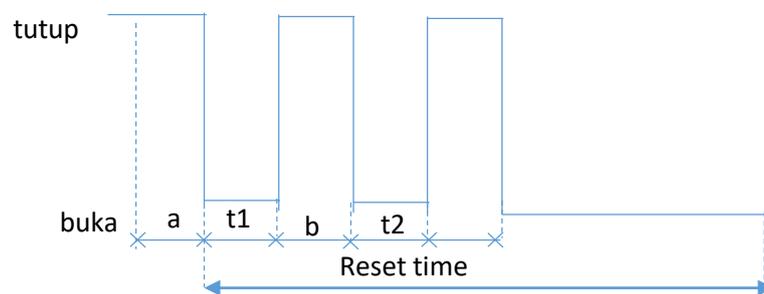


Gambar 2.11. *Recloser* Diatur 4 Kali Operasi Mendapat Gangguan Sementara

2. *Recloser* diatur 3 kali operasi

a. Gangguan permanen

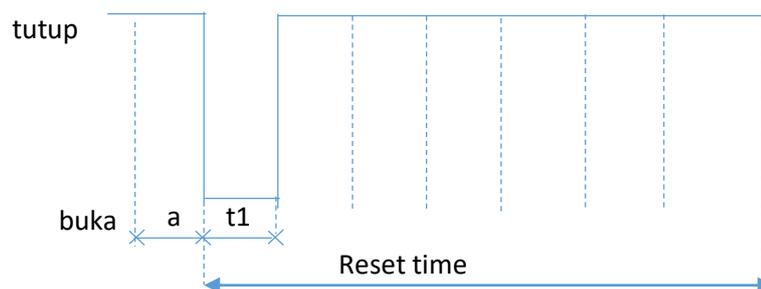
Pada Gambar 2.12, *Recloser* diatur 4 kali operasi mendapat gangguan permanen. Setelah a detik gangguan terjadi, *recloser* membuka selama t_1 detik, kemudian menutup selama b detik, membuka kembali selama t_2 detik. Setelah itu menutup kembali selama c detik dan akhirnya membuka terus.



Gambar 2.12. *Recloser* Diatur 3 Kali Operasi Mendapat Gangguan Permanen

b. Gangguan sementara

Setelah a detik gangguan terjadi, *recloser* membuka selama t_1 detik, *recloser* menutup kembali dan ternyata gangguan telah hilang. Dan prosesnya dapat dilihat pada gambar 2.13.

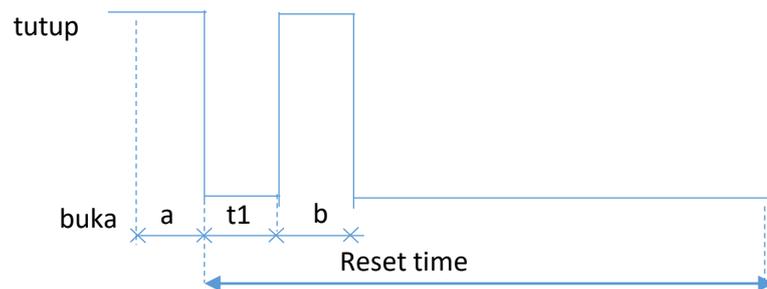


Gambar 2.13. *Resloser* Diatur 3 Kali Operasi Mendapat Gangguan Sementara

3. *Recloser* diatur 2 kali operasi

a. Gangguan permanen

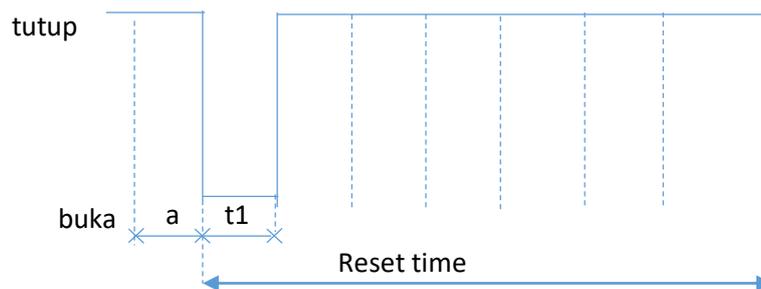
Pada Gambar 2.14, *Recloser* diatur 4 kali operasi mendapat gangguan permanen. Setelah a detik gangguan terjadi, *recloser* membuka selama t1 detik, *recloser* menutup kembali dan setelah b detik *recloser* membuka terus.



Gambar 2.14. *Recloser* Diatur 2 Kali Operasi Mendapat Gangguan Permanen

b. Gangguan sementara

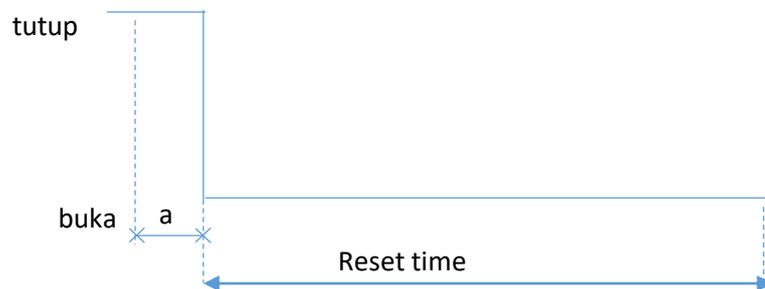
Setelah a detik gangguan terjadi, *recloser* membuka selama t1 detik, *recloser* menutup kembali dan ternyata gangguan telah hilang. Dan prosesnya bisa dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. *Recloser* Diatur 2 Kali Operasi Mendapat Gangguan Sementara

4. *Recloser* diatur 1 kali operasi

Recloser yang diatur 1 kali operasi penyettingannya sama antara gangguan permanen dan gangguan sementara yaitu setelah a detik gangguan terjadi, *recloser* membuka dan tidak akan menutup kembali secara otomatis. Dan prosesnya bisa dilihat pada gambar 2.16.



Gambar2.16. *Recloser* Diatur 1 Kali Operasi

2.7.7 Selang Waktu Penutup Balik *Recloser*

Selang waktu penutup balik ada beberapa macam yaitu :

1. Menutup balik seketika

Menutup dengan singkat untuk mengamankan daerah beban seperti irigasi, motor industri, dan daerah yang tidak boleh padam terlalu lama.
2. Waktu tunda
 - a. Menutup kembali 2 detik

Dengan waktu 2 detik diharapkan gangguan saluran sudah hilang
 - b. Menutup kembali 5 detik

Waktu 5 detik ini digunakan sebagai operasi koordinasi untuk memberikan kesempatan pada pendingin *fuse* di sumber.
 - c. Waktu reclosing yang lebih lama

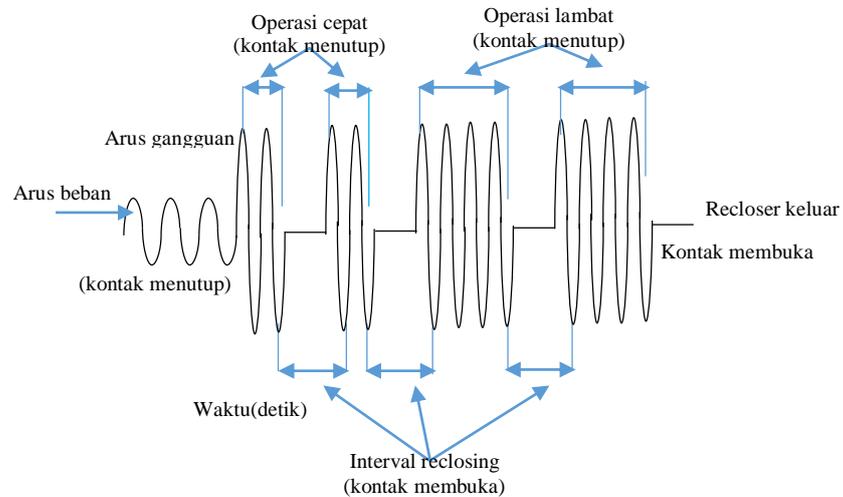
Waktu yang digunakan adalah 10 menit sampai 15 menit dan selanjutnya. Waktu ini digunakan apabila pengaman cadangan berupa *breaker* dan dikontrol oleh relay. Penyetelan yang dilakukan *recloser* adalah berdasarkan salah satu urutan di bawah ini :

 - 1) Satu kali penutupan cepat, tiga kali penutupan diperlambat
 - 2) Dua kali penutupan cepat, dua diperlambat
 - 3) Empat kali penutupan diperlambat

2.7.8 Pengoperasian *Recloser*

Langkah yang dilakukan dalam pengoperasian *recloser* yaitu:

1. **Pembukaan Seketika**
Pembukaan seketika terjadi apabila arus fasa melebihi dari minimum trip fasa. Apabila batas waktu yang telah ditentukan sudah lewat maka *recloser* akan menutup kembali secara otomatis. Hal ini terjadi sampai tercapainya total gerakan yang telah ditentukan sebelumnya. Jika sudah mencapai total gerakan, *recloser* akan *lock out*.
2. **Pembukaan Tertunda**
Pembukaan tertunda dilakukan jika diperlukan. Pembukaan ini dilakukan pada saat arus fasa melebihi arus minimum tripnya.
3. **Reset**
Jika ada gangguan yang tidak lama dan tidak terulang selama reclose waktu, unit pengontrol elektronik akan *reset* secara otomatis, sehingga rangkaian akan bekerja normal kembali.
4. **Lock out**
Suatu kejadian terjadi bersamaan waktunya dengan pembukaan *circuit breaker* untuk mencegah penutupan kembali secara otomatis.
5. **Koordinasi Rangkaian**
Koordinasi rangkaian dilakukan dengan cara dua *recloser* atau lebih dipasang secara seri. Koordinasi dilakukan supaya *recloser* di sisi hulu tidak melakukan pembukaan seketika pada saat *recloser* di sisi hilir sudah melakukan pembukaan seketika. Untuk itu *recloser* di sisi hulu harus melakukan pembukaan yang ditunda. Sistem operasi *recloser* pada umumnya 4 kali trip dan 3 kali *recloser* setelah itu *recloser* akan *lock out*. Waktu reclose bergantung pada kondisi lapangan, secara umum waktu reclose adalah 15 detik. Dan prosesnya bisa dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Sistem Operasi *Recloser*

Faktor yang harus diperhatikan pada *recloser* adalah :

- a. Rating tegangan pada *recloser* harus sama atau lebih besar dari tegangan pada sistem.
- b. Rating arus pada *recloser* harus sama atau lebih besar dari arus maksimum gangguan.
- c. Rating arus beban maksimum harus sama atau lebih besar dari arus pada rangkaian.
- d. Arus minimum yang menyebabkan gangguan harus diperhatikan untuk mengetahui apakah *recloser* dapat bekerja mendeteksi arus.

2.7.9 Macam *Recloser*

Ada beberapa pembagian jenis *recloser* menurut jumlah fasanya, menurut pengaturannya, dan menurut media pemutusnya.

1. Menurut jumlah fasanya *recloser* ada dua yaitu :

- a. *Recloser* satu fasa

Recloser satu fasa digunakan untuk pengamanan satu fasa jika ada gangguan. *Recloser* satu fasa juga dapat digunakan untuk pengamanan tiga fasa tetapi hanya ada satu fasa yang memiliki beban yang lebih besar. *Recloser* satu fasa berbentuk seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.18. *Recloser* Satu Fasa

b. *Recloser* tiga fasa

Recloser tiga fasa mempunyai dua cara kerja

1) Satu fasa membuka tiga fasa mengunci

Jika salah satu fasa mengalami gangguan, maka *recloser* pada fasa itu saja yang bekerja sesuai dengan urutan kerjanya untuk melakukan operasi buka tutup. Sampai waktu kerjanya berhenti.

2) Tiga fasa membuka tiga fasa mengunci

Untuk gangguan yang bersifat temporer maupun yang bersifat permanen akan menyebabkan kontak fasanya dapat membuka dan menutup kembali serta mengunci secara serentak.

Berikut ini dapat dilihat gambar *recloser* tiga fasa. *Recloser* tiga fasa seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.19. *Recloser* Tiga Fasa

2. Menurut peralatan pengaturannya *recloser* dibagi dua yaitu
 - a. Pengaturan Hidrolik

Pada *Auto-Recloser* dengan pengatur Hidrolik, membuka / menutupnya kontak kontak dilakukan dengan cara hidrolik (tekanan minyak).
 - b. Pengaturan elektronik

Auto-Recloser dengan pengatur elektronik lebih luwes, lebih mudah diatur dalam hal membuka/menutup kontak – kontak, mudah diperagakan urutan kerjanya dan lebih akurat dibandingkan dengan *Auto-Recloser* pengaturan Hidrolik.
3. Menurut media pemutusannya *recloser* dibedakan menjadi:
 - a. Media minyak

Minyak disini digunakan untuk melindungi isolasi dari tegangan impuls frekuensi rendah.
 - b. Media hampa udara (*vacum*)

Penggunaan hampa udara disini sama dengan penggunaan minyak, yaitu untuk melindungi isolasi dari tegangan impuls frekuensi

rendah, hanya saja media hampa udara pemeliharaan dapat dikurangi.

c. Media gas SF6

Gas SF6 pada *recloser* ini digunakan sebagai media pemadam busur api dan sebagai penggerak.

2.7.10 Setting Arus Recloser

Langkah langkah yang dilakukan dalam perhitungan *setting* arus hubung singkat *recloser* adalah

1. Arus Gangguan Hubung Singkat

Arus hubung singkat diperlukan untuk menentukan karakteristik dari peralatan proteksi jaringan listrik. Gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan dapat berupa gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan hubung singkat satu fasa ketanah. Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat dapat menggunakan Hukum Ohm.

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- I = Arus yang mengalir pada jaringan
- V = Sumber tegangan
- Z = Impedansi jaringan

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkaat fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itusendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk ditunjukkan sebagai berikut.

$$Z \text{ untuk gangguan tiga fasa, } Z = Z_1 = Z_2 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Z \text{ untuk gangguan dua fasa, } Z = Z_1 + Z_2 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Z \text{ untuk gangguan satu fasa, } Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

2. Impedansi Sumber

Untuk menghitung besarnya impedansi sumber dapat digunakan nilai kapasitas daya hubung singkat yang di bus 150 kV. Kapasitas daya hubung singkat dapat dihitung sebagai berikut :

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times V \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

MVA_{SC} = Kapasitas hubung singkat trafo tenaga (MVA)

I_{hs} = Arus hubung singkat (A)

V = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

Setelah kapasitas hubung singkat trafo diketahui maka impedansi sumber dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_{hs} = \frac{(kV_{mv})^2}{MVA_{hs}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

MVA_{SC} = Kapasitas hubung singkat trafo tenaga (MVA)

Z_{hs} = Impedansi Sumber (Ω/km)

V = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kv ke sisi 20 kV dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$MVA_{150\text{ kV}} = MVA_{20\text{ kV}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Z_{hs2} = \frac{V_2^2}{V_1^2} \times Z_{hs1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Z_{hs1} = Impedansi trafo tenaga sisi primer (Ω/km)

Z_{hs2} = Impedansi trafo tenaga sisi sekunder (Ω/km)

V_1 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

V_2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

3. Impedansi Trafo Tenaga

Besarnya impedansi urutan positif sama dengan impedansi urutan negatif. Impedansi suatu trafo yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena nilainya sangat kecil. Untuk mencari reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara:

$$Z_{T\text{dasar}}(100\%) = \frac{(V_1)^2}{S_n} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

V_1 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

S_n = Kapasitas trafo tenaga (MVA)

$Z_{T\text{dasar}}$ = Impedansi urutan positif dan negatif (Ω/km)

4. Impedansi Jaringan Distribusi

Perhitungan impedansi jaringan distribusi 20 kV adalah impedansi (Ω/km) yang diperoleh besarnya tergantung luas penampang. Nilai impedansi dalam ohm tergantung dari panjang kawat. Tahanan (R) dan reaktansi (X_L) penghantar AAAC Tegangan 20 kV (SPLN 64 :1985)

$$Z_{urutan\ positif} = Z_{urutan\ negatif} = 0.1344 + j 0.3158 \Omega/\text{km}$$

5. Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Perhitungan impedansi tenaga dapat dirumuskan sebagai berikut.

Impedansi ekuivalen urutan positif dan urutan negatif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{T1} + Z_{Penyulang} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif (Ω)

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ω)

Z_{s1} = Impedansi sumber (Ω)

Z_{T1} = Impedansi urutan positif trafo tenaga (Ω)

Z_{T1} = Impedansi urutan positif penyulang (Ω)

6. Arus Hubung Singkat

a. Arus hubung singkat 3 fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa merupakan gangguan yang seimbang fasa-fasanya, dimana tidak terdapat arus-arus urutan nol

dan negatifnya. Bila impedansi titik gangguannya $Z_f = 0$, maka arus gangguan tiga fasa adalah :

$$I_{hs\ 3\ fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} I_{hs\ 3\ fasa} &= \text{Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)} \\ V_{ph} &= \text{Tegangan sumber fasa netral sistem (Volt)} \\ Z_{1eq} &= \text{Impedansi ekivalen urutan positif (\Omega)} \end{aligned}$$

b. Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dimana terdapat arus-arus urutan nol dan negatifnya

$$\begin{aligned} I_{hs\ 1\ fasa} &= \frac{3 \cdot V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\ &= \frac{3 \cdot V_{ph}}{2 \cdot Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.10) \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} I_{hs\ 1\ fasa} &= \text{Arus gangguan hubung singkat satu fasa (A)} \\ V_{ph} &= \text{Tegangan sumber fasa netral sistem (Volt)} \\ Z_{1eq} &= \text{Impedansi ekivalen urutan positif (\Omega)} \\ Z_{2eq} &= \text{Impedansi ekivalen urutan negatif (\Omega)} \\ Z_{0eq} &= \text{Impedansi ekivalen urutan nol (\Omega)} \end{aligned}$$

7. Setting Arus

$$a. I_{nominal\ Trafo} = \frac{S_n}{V_{ns} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} S_n &= \text{Kapasitas trafo tenaga (MVA)} \\ I_{nom\ trafo} &= \text{Arus nominal trafo (A)} \\ V_{ns} &= \text{Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)} \end{aligned}$$

$$b. I_{setting} = \frac{0.5 \times I_{nominal\ Trafo}}{Z_T} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} I_{setting} &= \text{Arus Setting (A)} \\ I_{nom\ trafo} &= \text{Arus nominal trafo (A)} \\ Z_T &= \text{Tegangan impedan arus pengenal (\%)} \end{aligned}$$