



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi [1]

Sistem pengaman adalah beberapa komponen yang saling berhubungan dan berkerja bersama-sama (berkerja sama) untuk satu tujuan dalam mengatasi permasalahan yang terjadi disebabkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi dalam system operasi komponen peralatan. System pengaman yang baik harus mampu.

1. Melakukan koordinasi dengan system TT (GI/transmisi/pembangkit),
2. Mengamankan peralatan dari kerusakan dan gangguan,
3. Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan,
4. Secepatnya dapat membebaskan pemadaman karena gangguan,
5. Membatasi daerah yang mengalami pemadaman, dan
6. Mengurangi frekuensi pemutusan tetap (permanen) karena gangguan.

Di samping itu, setiap system atau alat pengaman harus mempunyai kepekaan, kecermatan dan kecepatan bereaksi yang baik. Fungsi dari system pengaman sebagai berikut :

- Mendeteksi adanya gangguan
- Mencegah kerusakan (peralatan dan jaringan)
- Pengamanan terhadap manusia
- Meminimumkan daerah padam bila terjadi gangguan pada system.

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1. Selektivitas

Selektivitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada saat mendesain sistem proteksi tersebut.



Dalam pengertian lain, selektivitas berarti rele harus mempunyai daya beda, sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian rele bertugas mengamankan peralatan dengan cara mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah kepada pemutus tenaga agar pemutus tenaga membuka kontakannya sehingga hanya memutuskan pada daerah yang terganggu.

2. Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi, yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor luar di luar daerah proteksinya, misalnya pada arus beban lebih dan arus gangguan lebih.

Dengan kata lain, stabilitas dapat juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi di mana dia dirancang tanpa terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang tidak merupakan besaran yang perlu diperhitungkan.

3. Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengatasi gangguan secepat dan sesegera mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang atau meluas ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut. Seperti isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan.

Namun demikian, sistem proteksi atau yang sering disebut rele proteksi ini tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10ms). Disamping itu, waktu kerja rele tidak boleh melampaui waktu penyetelan kritis. Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan pada rele proteksi sangat diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu.



4. Sensitivitas

Sensitivitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain dimana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif. Sehingga rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan.

2.1.1 Klasifikasi Sistem Proteksi[2]

Alat-alat pengaman yang kebanyakan berupa relay mempunyai 2 (dua) fungsi, yaitu :

- Melindungi peralatan terhadap gangguan yang terjadi dalam system, agar jangan sampai mengalami kerusakan.
- Melokalisir akibat gangguan, jangan sampai meluas dalam system.

Untuk memenuhi fungsinya tersebut dalam butir a, alat pengaman harus bekerja cepat agar pengaruh gangguan yang merupakan hubung singkat dapat segera dihilangkan sehingga pemanasan yang berlebihan yang timbul sebagai akibat arus hubung singkat dapat segera dihentikan. Untuk memenuhi fungsinya tersebut dalam butir b, alat-alat pengaman yang terdekat dengan tempat gangguan saja yang bekerja. Secara teknis dikatakan bahwa alat-alat pengaman harus bersifat selektif. Ditinjau dari letaknya dalam system ada 4 (empat) kategori pengaman yaitu :

- a. Pengaman Generator .
- b. Pengaman Saluran Transmisi .
- c. Pengaman Transformator dalam Gardu Induk .
- d. Pengaman Sistem Distribusi .

Dalam system PLN saat ini sebagian besar masih banyak dipakai relay-relay elektro mekanik, walaupun juga telah dimulai pemakaian relay elektronik. Relay elektro mekanik terdiri dari rangkaian listrik yang menggerakkan suatu



mekanisme yang pada akhirnya harus men-trip PMT dengan jalan menutup kontak pemberi arus trip coil (kumparan trip) dan PMT. Sedangkan relay elektronik kerjanya lebih cepat dari pada relay elektro mekanik sehingga ditinjau dari segi pengamanan peralatan adalah lebih baik ;

a. Pengaman Generator.

Bagian hulu dari system tenaga listrik adalah generator yang terdapat di pusat listrik dan digerakan oleh mesin penggerak mula (dalam bahasa Inggris disebut: prima mover). Mesin penggerak dalam Pusat Listrik berkaitan erat dengan instalasi mekanis dan instalasi listrik dari Pusat Listrik. Generator sebagai sumber energy listrik dalam system perlu diamankan jangan sampai mengalami kerusakan.

Pengamanan generator secara garis besar terdiri dari :

- a. Pengamanan terhadap gangguan diluar generator, yaitu gangguan dalam system yang dihubungkan dengan generator.
- b. Pengamanan terhadap gangguan yang terjadi didalam generator.
- c. Pengamanan terhadap gangguan dalam mesin penggerak yang memerlukan pelepasan PMT generator.

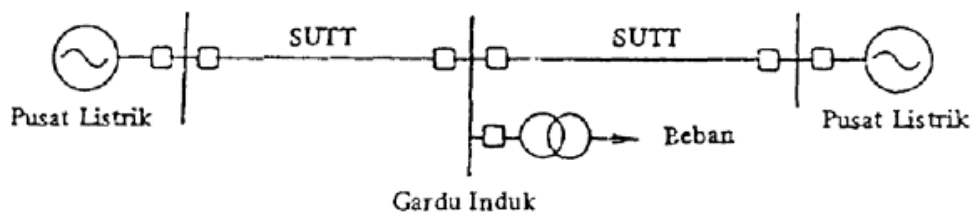
b. Pengaman Saluran Transmisi

Sebagaimana telah diuraikan bahwa SUTT adalah bagian dari sistem yang paling banyak mengalami gangguan. Hal ini menyebabkan masalah pengamanan SUTT merupakan masalah yang paling sulit dalam pengamanan system tenaga listrik. Gangguan pada SUTT lebih dari 90 % bersifat temporer dan pada umumnya masalah koordinasi pengaman (selektivitas) merupakan persoalan yang menonjol dalam masalah pengamanan SUTT. Pada SUTT radial dalam system yang sederhana pengamanan dapat dilakukan dengan menggunakan relay arus lebih saja, tapi jika system berkembang lebih besar maka penggunaan relay arus lebih saja akan menemui kesulitan karena timbulnya akumulasi waktu seperti ditinjau dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 : SUTT radial dengan relay arus lebih yang mempunyai penyetelan waktu

apabila pada SUTT dikedua ujungnya terdapat sumber daya maka penggunaan relay arus lebih tidak dapat menjamin selektifitas protection lagi, karena apabila terjadi gangguan pada SUTT daya yang menuju titik gangguan datang dari dua arah sehingga dengan time grading relay arus lebih sukar dicapai keadaan dimana hanya seksi yang terganggu saja yang PMT nya trip. Kelemahan ini dapat dikurangi apabila dipakai power directional relay (relay daya terarah) yang hanya berkerja apabila gangguan terjadi di depan PMT. Penggunaan power directional relay ini dengan time grading dapat mengurangi jumlah relay yang tidak perlu berkerja apabila terjadi gangguan terjadi pada salah satu seksi SUTT, namun belum bisa menjamin bahwa PMT seksi yang terganggu yang berkerja.



Gambar 2.2 : SUTT dengan sumber daya di kedua ujungnya

Kelemahan ini dapat dikurangi apabila dipakai power directional relay (relai daya terarah) yang hanya berkerja apabila gangguan terjadi di depan PMT. Penggunaan power directional relay ini dengan time grading dapat mengurangi jumlah relay yang tidak perlu berkerja apabila terjadi gangguan pada salah satu seksi SUTT, namun belum bisa menjamin bahwa PMT seksi yang terganggu yang berkerja.

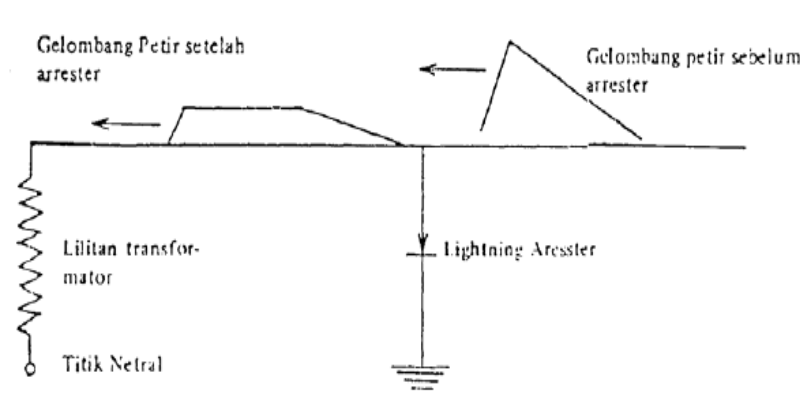
Kelemahan ini dapat dikurangi apabila dipakai power directional relay (relai daya terarah) yang hanya berkerja apabila gangguan terjadi di depan PMT. jumlah relay yang tidak perlu berkerja apabila terjadi gangguan pada salah satu seksi SUTT, namun belum bisa menjamin bahwa PMT seksi yang terganggu yang berkerja.

c. Pengaman Transformator

Pengaman tranformator terdiri dari :

- Pengamanan terhadap gangguan diluar transformator
- Pengaman terhadap gangguan didalam transformator.

Karena transformator di gardu induk pada umumnya berhubungan dengan rel dan rel langsung berhubungan dengan saluran transmisi sedangkan saluran transmisi kebanyakan adalah saluran udara yang jumlah gangguannya tinggi maka kemungkinan bahwa transformator mendapat gangguan karena gangguan disalurkan transmisi adalah lebih besar dari pada generator. Petir yang banyak menyambar saluran udara setelah menjalar disalurkan udara kemudian menuju transformator tetapi terlebih dahulu akan di “potong” oleh lightning arrester seperti tampak pada gambar 2.3



Gambar 2.3 : gelombang petir yang dipotong oleh lightning arrester

Walaupun gelombang petir ini telah di “potong” oleh lightning arrester dan isolasi transformator telah diperhitungkan terhadap gelombang petir yang terpotong, namun hal ini tetap menimbulkan “stress” didalam isolasi



transformator. Apabila pemotongan gelombang ini oleh lightning arrester kurang sempurna maka gelombang petir ini bisa lebih besar yang sampai di transformator dan dapat menjebolkan isolasi lilitan transformator dan akhirnya menimbulkan gangguan pada transformator. Gangguan ini merupakan gangguan di dalam transformator yaitu apabila disebabkan hubung singkat itu sesungguhnya disebabkan gangguan luar (petir) yang mengalir ke dalam transformator. Proses ini mungkin juga tidak bersifat seketika artinya tidak seketika ada petir yang menyambar saluran udara lalu transformator yang arresternya kurang baik langsung jebol isolasinya. Hal ini tentu saja tergantung kepada sampai berapa jauh arrester berkerja “kurang baik”.

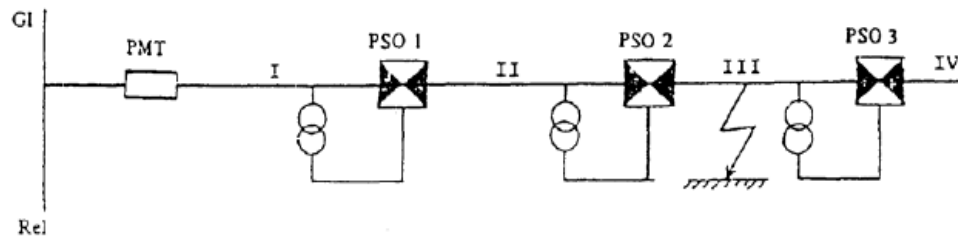
d. Pengaman Sistem Distribusi

sehubungan dengan pentanahan Jaringan Distribusi, maka umumnya feeder distribusi yang keluar dari G.I dilengkapi dengan :

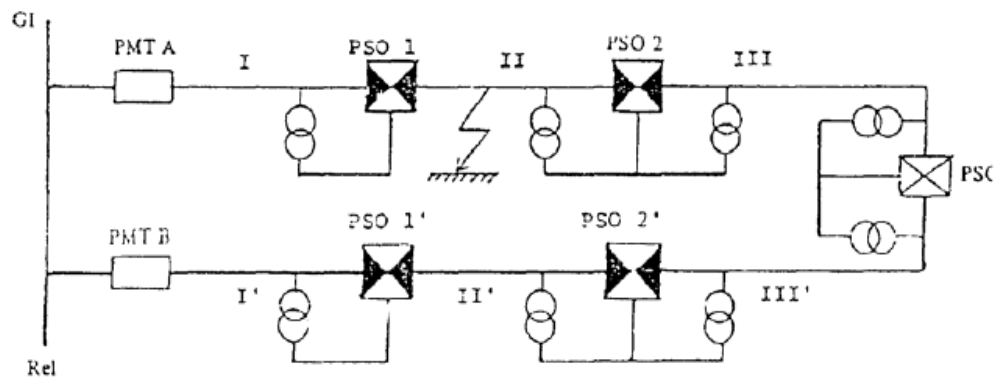
- a) relay arus lebih
- b) relay gangguan tanah

Apabila diujung feeder distribusi yang keluar dari GI ada sumber daya (Pusat Listrik) maka Relay Arus Lebih dan Relay Gangguan tanah tersebut diatas harus bersifat power directional. Apabila feeder distribusi adalah SUTM dan bersifat radial, tidak ada sumber daya diujungnya, maka dipasang pula relay untuk Auto reclosing (Penutu Balik). Karena jumlah gangguan per km per tahun pada SUTM adalah cukup tinggi maka untuk dapat melokalisir gangguan secepat mungkin sering kali SUTM dibagi atas beberapa seksi yang mempunyai pengaman sendiri dengan harapan apabila ada gangguan pada salah satu seksi, gangguan tidak akan merembet kepada seksi yang ada didepannya selektivitas antara seksi dapat dilakukan menggunakan Relay Arus Lebih untuk setiap seksi serta menggunakan time grading. Namun seperti telah diuraikan, kesulitan menggunakan Relay Arus lebih dengan time grading adalah timbulnya akumulasi waktu. Akumulasi waktu ini dapat dikurangi apabila dipakai Relay Arus Lebih dengan karakteristik invers, namun kesulitan ini tidak teratasi apabila besarnya arus gangguan pada setiap seksi tidak cukup berbeda untuk

menyelenggarakan time grading. Untuk mengatasi persoalan ini dipakai Pemisah Seksi Otomatis dan juga sekering-sekering (pelebur-pelebur) pada seksi-seksi SUTM seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 dan gambar 2.5. sekering biasanya dipasang pada cabang dan SUTM dari pada Transformator Distribusi.

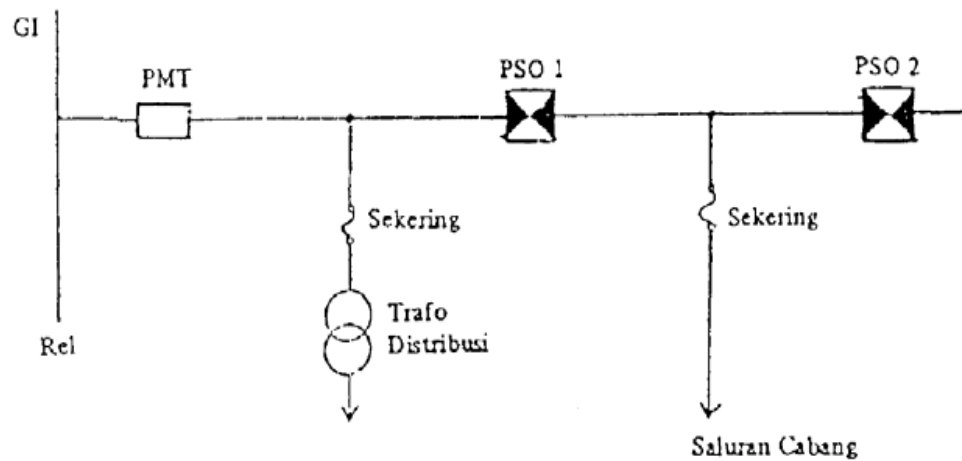


Gambar 2.4 : SUTM radial dengan tiga pemisah seksi otomatis (PSO)



Gambar 2.5 : SUTM dalam ring dengan lima pemisah seksi otomatis (PSO)

Pemisah Seksi Otomatis (PSO) dapat disetel Normally Open atau Normally Closed. PSO berkerja membuka atau menutup berdasarkan tegangan yang diterimanya, jadi pendindraannya (sensing) adalah atas dasar tegangan dan dapat disetel time delanya (waktu tunda). Apabila disetel normally closed, PSO akan menutup apabila menerima tegangan setelah melalui time delay-nya. Sebaliknya apabila disetel normally open, PSO akan menutup setelah tegangan hilang untuk waktu yang melampaui time delay- nya. Seperti terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 : penggunaan sekering dalam jaringan tegangan menengah

2.1.2 Pengaman jaringan tegangan menengah[3]

Jenis jenis pengaman yang digunakan pada jaringan tegangan menengah antara lain :

1. Pengaman lebur
2. Relai Arus Lebih (Over Current Relay)
3. Relai Arus Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)
4. Relai Arus Gangguan Tanah Berarah (directional Ground fault Relay)
5. Relai Penutup Balik (Reclosing Relay)
6. Penutup Balik Otomatis (PBO, Automatic Circuit Recloser)
7. Saklar Seksi Otomatis (SSO, Sectionalizer)

2.1.2.1 Pengaman Lebur[3]

Pengaman lebur (FCO) merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubung singkat antara fasa, dapat pula sebagai pengaman hubung singkat fasa ke tanah bagi system yang ditanahkan langsung.

Berdasarkan bentuk fisik pelebur dibedakan menjadi :

- Tertutup (enclosed)
- Terbuka (open)



- Elemen terbuka (open link)

Berdasarkan cara kerjanya dibedakan menjadi :

- Tipe expulsion
- Tipe limiting

Karakteristik fuse cut out mempunyai sepasang garis lengkung yang disebut karakteristik arus waktu. Lengkung yang berada di bawah disebut waktu lebur minimum (minimum melting time), lengkung di atas disebut waktu bebas maksimum (maximum clearing time). Ada dua tipe fuse cut out yaitu tipe cepat (K) dan tipe lambat (T). Perbedaan kedua tipe ini terletak pada speed ratio-nya.

2.1.2.2 Relé arus Lebih[3]

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

- Tanpa penundaan waktu (instaneous)
- Dengan penundaan waktu
- Dengan penundaan waktu tertentu (definite time OCR)
- Dengan penundaan waktu berbanding terbalik (inverse time OCR)
- Kombinasi 1 dan 2

\

2.1.1.3 Relai Arus Gangguan Tanah[3]

Relai arus gangguan tanah (ground fault relay) merupakan pengaman utama terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah untuk sistem yang ditanahkan langsung atau melalui tahanan rendah.

2.1.2.4 Relay Arus Gangguan Tanah Berarah[3]

Relai arus gangguan tanah berarah (directional ground fault relay) adalah pengaman utama terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah untuk sistem



yang ditanahkan melalui tahanan tinggi.

2.1.2.5 Relai Penutup Balik[3]

Relai penutup balik (reclosing relay) adalah pengaman pelengkap untuk membebaskan gangguan yang bersifat temporer untuk keandalan system.

2.1.2.6 Penutup Balik Otomatis[3]

Penutup balik otomatis (PBO, automatic circuit recloser) digunakan sebagai pelengkap untuk pengaman terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan PBO menurut peredam busur apinya dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

- a) Media minyak
- b) Vacuum
- c) SF6

PBO menurut peralatan pengendaliannya (control) dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

- a) PBO Hidraulik (control hidraulik)
- b) PBO teknologi Elektrik

Urutan operasi PBO :

- a) Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (trip) dalam operasi cepat (fast trip)
- b) Kontak PBO akan menutup kembali setelah melewati waktu recluse sesuai setting tujuan member selang waktu ini adalah untuk memberikan waktu pada penyebab gangguan agar hilang, terutama gangguan yang bersifat temporer.
- c) Jika gangguan bersifat permanen, PBO akan membuka dan menutup balik sesuai dengan settingnya dan akan lock-out (terkunci).
- d) Setelah gangguan dihilangkan oleh petugas, baru PBO dapat dimasukkan ke system.



2.1.2.7 Saklar Seksi Otomatis[3]

Saklar seksi otomatis (SSO, Sectionalizer) adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. Ada dua jenis SSO yaitu dengan pengindera arus yang disebut Automatic Sectionalizer dan pengindera tegangan yang disebut Automatic Vacuum Switch (AVS). Agar SSO berfungsi dengan baik, harus dikoordinasikan dengan PBO (recloser) yang ada di sisi hulu. Apabila SSO tidak di koordinasikan dengan PBO, SSO hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa.

2.1.3 Pemilihan Pengaman Pada Jaringan Tegangan Menengah[5]

Pemilihan pengaman yang diterapkan pada jaringan tegangan menengah antara lain :

- a) Pemilihan pengaman arus lebih
- b) Pemilihan relay arus lebih.
- c) Pemilihan relay gangguan tanah.

a. Pemilihan Pengaman Arus Lebih

Pemilihan pengaman arus lebih untuk pengaman system 20 kv disesuaikan dengan pola pengaman system SPLN 52-3:1983 berdasarkan system pentanahan netral yaitu :

- 1) System distribusi 20 kV tiga fasa, tiga kawat dengan pentanahan netral melalui tahanan tinggi.
- 2) System distribusi 20 kV tiga fasa, empat kawat dengan pentanahan langsung.
- 3) System distribusi 20 kV tiga fasa, tiga kawat dengan pentanahan netral melalui tahanan rendah.

b. Pemilihan Relai Arus lebih

Pemilihan relai arus lebih untuk pengamanan system 20 kv diatur sebagai berikut :

- a) Sistem distribusi di mana variasi arus gangguannya cukup besar, yaitu sistem distribusi yang disuplai dari system terpisah (PLTD), maka



pemilihan relai arus lebih waktu tertentu akan lebih baik dari arus lebih waktu terbalik.

- b) Sistem distribusi di mana variasi arus gangguannya kecil yang disuplai dari sistem yang sudah interkoneksi, maka pemilihan relai arus lebih waktu terbalik akan lebih baik dari arus lebih waktu tertentu.
- c) Sistem distribusi yang disuplai lebih dari satu sistem pembangkit, untuk mendapatkan selektivitas dan untuk penyulang yang menginterkoneksi relai arus lebih harus dilengkapi dengan relai tanah.

c. Pemilihan Relai Gangguan Tanah

arus gangguan satu fasa sangat bergantung pada jenis pentanahannya. Pada umumnya gangguan satu fasa melampaui tahanan gangguan, sehingga menjadi semakin kecil. Oleh karena itu dipasang relai gangguan tanah secara khusus dan disesuaikan dengan system pentanahan.

Pemilihan relai gangguan tanah untuk pengaman system 20 kV diatur sebagai berikut:

- a) Untuk sistem pentanahan dengan tahanan tinggi, digunakan relai yang memiliki sensitivitas tinggi yaitu relai gangguan tanah berarah dengan karakteristik waktu tertentu.
- b) Untuk sistem pentanahan dengan tahanan rendah dimana besarnya arus gangguan berlawanan dengan letak gangguan landai maka relai akan sukar di koordinasikan dengan peningkatan arus, sehingga relai yang digunakan sebaiknya relai arus lebih karakteristik waktu tertentu. Demikian juga untuk gangguan tanah SKTM system Spindel (untuk panjang saluran 10 km).
- c) Untuk sistem pentanahan langsung, besarnya arus hubung singkat berlawanan dengan letak gangguan sangat curam, sehingga relai yang digunakan adalah relai arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik.



2.1.4 Sistem Pengaman Terhadap Arus Lebih jaringan Tegangan Menengah[5]

Arus lebih adalah arus yang timbul karena terjadinya gangguan / hubungan singkat pada system / peralatan yang diamankan. Beban lebih adalah beban / arus yang melebihi nilai normalnya, yang untuk waktu tertentu dapat ditolerir adanya untuk kepentingan perusahaan, yang besar dan waktunya dibatasi oleh kemampuan alat / system JTM untuk menahannya. Arus lebih timbul di sebabkan oleh hubungan singkat ini dapat terjadi karena terjadinya gangguan. Pada SKTM, gangguan yang berasal dari dalam dapat disebabkan pemasangan yang kurang baik, penuaan, dan beban lebih. Sedangkan gangguan dari luar berupa berupa misalnya gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain, kendaraan-kendaraan yang melewati di atasnya, dan deformasi tanah. Gangguan pada SKTM umumnya bersifat permanen. Pada SUTM, sebagian besar gangguan disebabkan pengaruh dari luar yaitu angin dan pohon, kegagalan pengaman tegangan lebih / petir, kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran (misalnya peralatan yang dipasang kurang baik, kawat putus pada konektor / lepas, dan sebagainya), manusia, hujan dan cuaca, binatang atau benda-benda asing (misalnya benang layang-layang dari bahan non isolasi, ular dan sebagainya), kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran (misalnya peralatan yang dipasang kurang baik, kawat putus pada konektor / lepas, dan sebagainya), manusia hujan dan cuaca, binatang atau benda-benda asing (misalnya benang layang-layang dari bahan non isolasi, ular dan sebagainya). Gangguan pada SUTM dapat dibagi dua, yaitu :

- a) Gangguan sementara yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sementara bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena berkerjanya alat pengaman PBO dapat berubah menjadi gangguan permanen (tetap) dan menyebabkan pemutusan tetap.
- b) Gangguan permanen (tetap) di mana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab



gangguan tersebut.

2.2 Sistem Pentanahan[4]

Gangguan fasa ketanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya, gangguan satu fasa umumnya bukan merupakan hubungan singkat secara metalik tetapi melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguan yang sudah dibatasi dengan adanya tahanan gangguan menjadi semakin kecil. Dengan demikian rele gangguan antara fasa tersebut diatas tidak berfungsi. Oleh karena itu dipasang rele gangguan tanah secara khusus dan disesuaikan dengan system pentanahannya system pentanahan dapat dikelompokkan dalam beberapa kelompok yaitu :

1. System pentanahan mengambang.
2. System pentanahan dengan tahanan tinggi.
3. System pentanahan dengan tahanan rendah.
4. System pentanahan langsung.
5. System pentanahan titik netral tranformator.
6. System pentanahan titik netral transmisi.
7. System pentanahan switchyard.
8. System pentanahan arrester.

2.2.1 Metode pentanahan

Metode pentanahan berdasarkan sistem pentanahannya antara lain :

a. Tahanan

System pentanahan melalui tahanan pernah diterapkan pada system 230 kv. System ini mempunyai tegangan lebih transien yang disebabkan oleh pemutusan relative rendah. Seperti diketahui maksud pengetanahan ini adalah untuk membatasi arus gangguan ke tanah antara 10 % sampai 25 % dari arus gangguan 3 fasa. Batas yang paling bawah adalah batas minimum untuk dapat berkerjanya rele gangguan tanah, sedangkan batas atas adalah untuk membatasi banyaknya panas yang hilang pada waktu terjadi gangguan. Oleh sebab itu untuk arus yang lebih besar, lebih cendrung menggunakan reactor.



Sebab system pentanahan melalui tahanan ini sekarang jarang digunakan pada jaringan tranmisi dan sebagai gantinya lebih disukai penggunaan reactor.

b. Reactor dan Efektif

System pentanahan dengan reaktor digunakan bila trafo daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Reaktor itu digunakan untuk memenuhi persyaratan dari sistem yang diketanahkan dengan reaktor dimana besar arus gangguan diatas 25 % dari arus gangguan 3 fasa ($X_0/X_1 \leq 10$).

Keuntungan ekonomis yang makin meningkat dengan mengetanahkan trafo daya secara langsung untuk menekan tegangan lebih transient, sehingga trafo daya dapat menggunakan isolasi yang dikurangi dan tipe arrester yang diketanahkan, semakin mengurangi penggunaan metode pengetanahan efektif ($X_0/X_1 \leq 3$ dan $R_0/X_1 \leq 1$) diperoleh keuntungan ekonomis tadi.

c. Kumparan Petersen

Kumparan Petersen dapat digunakan pada sistem dengan tegangan mulai dari 2,3 kV sampai 230 kV. Tetapi karena faktor ekonomis, dimana pada tegangan diatas 115 kV dapat menggunakan trafo dengan isolasi dikurangi, maka pengamanaan kumparan Petersen biasanya dibatasi sampai tegangan 115 kV. Penggunaan paling banyak dilakukan pada sistem 33 kV dan 66 kV, dan pada pengetanahan netral generator terpadu (unit connected generator).

2.2.2 Metode Sistem Pentanahan Netral di Indonesia

Sesuai standar perusahaan umum listrik milik Negara, yaitu SPLN 2 : 1978, telah ditetapkan metode pengetanahan untuk sistem-sistem 150 kV, 70 kV dan 20 kV. Adapun pola kriteria, pertimbangan penerapan dan penetapan pengetanahan di berikan di bawah ini :

a. Pola Kriteria

Yang menjadi kriteria dalam perencanaan ialah keandalan yang tinggi dengan memperhatikan faktor keselamatan manusia dan ekonomi.

1. Faktor keandalan sistem ini meliputi antara lain :

- a) Pemilihan cara pengetanahan netral sistem dan pengamanaan.



- b) Penyesuaiannya pada interkoneksi.
- 2. Faktor keselamatan ialah usaha keselamatan manusia di dalam maupun diluar gardu induk faktor ini meliputi usaha-usaha :
 - a) Keselamatan dalam keadaan tidak ada gangguan.
 - b) Keselamatan dalam keadaan gangguan.
- 3. Factor ekonomi mempertimbangkan biaya invertasi dari :
 - a) Pemilihan pengetanahan netral sistem dan pengamannya.
 - b) Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar (TID) peralatan utama dan koordinasi isolasinya.
 - c) Usaha memperbaiki pengaruh induktif dan interferensi radio.

b. Pertimbangan Penerapan

Pengetanahan efektif pada sistem 150 kV memberikan keandalan yang tinggi dan keuntungan faktor ekonomi yang menonjol dari pengurangnya tingkat isolasi. Arus gangguan yang besar diimbangi dengan kecilnya angka-keluar (outage rate), sehingga faktor keselamatan tetap terjamin.

Pada sistem 70 kV, pengetanahan dengan tahanan memberikan keuntungan sebagai berikut :

- 1. Keandalan sistem ini lebih baik dari pada pengetanahan dengan kumparan Petersen, terutama bagi jaringan yang luas.
- 2. Keselamatan lebih baik dari pada cara pengetanahan efektif, karena arus gangguan yang kecil. Juga lebih baik bila dibandingkan dengan pengetanahan dengan kumparan Petersen, karena gangguan dapat segera diisolir.
- 3. Factor ekonomi lebih menguntungkan, karena lebih murah dari pengetanahan dengan kumparan Petersen dan tidak banyak berbeda dengan pengetanahan efektif. Selain itu juga pengaruh induktif adalah yang terkecil dibandingkan dengan pengetanahan efektif maupun pengetanahan reaktor.

Pada sistem 20 kv, yang ada umumnya berdekatan dengan pemakai listrik



dan jaringan telekomunikasi, maka factor keselamatan dan pengaruh induktif lebih penting lagi di perhatikan dengan memperhatikan pula pertimbangan-pertimbangan tersebut diatas maka pada sistem ini dipakai pengetanahan dengan tahanan.

c. Penetapan Sistem pentanahan di Indonesia

1) Sistem 150 kV

Pentanahan netral sistem 150 kV berserta pengamannya ditetapkan sebagai berikut :

1. Pentanahan netral untuk sistem ini adalah pentanahan efektif. Penambahan reaktansi pada netral sistem ini di mungkinkan selama persyaratan pentanahan efektif dipenuhi ($X_0/X_1=3$)
2. Pengaman sistem dilaksanakan dengan pemutus cepat dan penutup cepat.

2) Sistem 70 kV

Pentanahan netral sistem ini berserta pengamannya ditetapkan sebagai berikut :

1. Pentanahan netral untuk sistem ini adalah pentanahan dengan tahanan.
2. Pengaman sistem dilaksanakan dengan pemutus cepat dan penutup cepat

3) Sistem 20 kV

Pentanahan netral sistem 20 kV berserta pengamannya ditetapkan sebagai berikut :

1. Bagi saluran udara maupun saluran dalam tanah dipakai pemutus dengan rele arus lebih untuk gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan rele tanah untuk gangguan hubung singkat fasa ke tanah.
2. Bagi saluran udara dipakai pula penutup cepat atau lambat, sedangkan bagi saluran dalam tanah tidak dipakai penutup kembali.

2.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan metode pentanahan.

Factor-faktor dasar yang harus diperhatikan didalam pemilihan metode



pengetanahan, ialah :

- 1) Selektifitas dan sensitivitas dari rele gangguan tanah.
- 2) Pembatasan besar arus gangguan tanah.
- 3) Tingkat pengamanan terhadap gangguan suja dan arrester.
- 4) Pembatasan tegangan lebih transient.

Keempat faktor diatas mempunyai pengaruh besar terhadap keekonomiaan sistem, perencanaan serta tata-latak dari sistem dan kontinuitas pelayanan.

2.3 Pentanahan Tegangan Menengah

Menurut fungsi pentanahan, sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a) Pentanahan sistem (pentanahan netral) dan
- b) Pentanahan umum (pentanahan peralatan).

Pentanahan sistem berfungsi untuk :

- 1) Peralatan/saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan gangguan fasa ke tanah.
- 2) Peralatan/saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan tegangan lebih.
- 3) Makhluk hidup terhadap tegangan langkah (step voltage), serta untuk kebutuhan proteksi jaringan.

Sedangkan pentanahan umum berfungsi untuk melindungi :

- (1) Makhluk hidup terhadap tegangan sentuh dan
- (2) Peralatan dari tegangan lebih.

Dengan pentanahan tersebut diperoleh arus gangguan tanah yang besarnya bergantung pada impedansi pentanahan sedemikian rupa sehingga alat – alat pengaman dapat bekerja selektif tetapi tidak merusak peralatan di titik gangguan. Bagian yang diketanahkan adalah titik netral sisi TM trafo utama/gardu induk (pentanahan bertanahan) dan kawat netral sepanjang jaringan TM (pentanahan langsung). Ada tiga macam pentanahan pada JTM, yaitu:



a. Pentanahan netral dengan tahanan tinggi

Pentanahan dengan tahanan tinggi dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan keselamatan umum sehingga lebih layak memasuki daerah perkotaan dengan SUTM.

b. Pentanahan netral dengan tahanan rendah

Pentanahan dengan tahanan rendah dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dari kombinasi antara factor ekonomi, keselamatan umum dan yang layak untuk mempergunakan SUTM bagi daerah luar kota maupun SKTM bagi daerah kawat. Sistem pentanahan ini dapat mencegah terjadinya busur listrik yang menimbulkan tegangan lebih peralihan yang besar.

c. Pentanahan netral dengan pentanahan langsung

Pentanahan secara langsung (tanpa tahanan) dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan ekonomi sehingga dengan SUTM layak dipakai di daerah luar kota sampai daerah terpencil. Untuk jaringan hubung bintang tiga fasa empat kawat (multi grounded) dipasang sepanjang jaringan. Biasanya tahanan elektroda dari bumi ke tanah di setiap titik pentanahan dibatasi maksimum 5 ohm, sedangkan arus gangguan ke tanah tidak dibatasi.

2.4 Hubungan sistem pentanahan dan pola arus pengaman lebih

Sistem pentanahan (pentanahan netral) ini lebih kebal terhadap gangguan yang bersifat sementara. Meningkat kecilnya arus gangguan tanah ($<25\text{ A}$) pengaman hanya dengan rele arus lebih normal tidak dapat dipergunakan lagi dan arus dilengkapi dengan relai gangguan tanah kearah yang lebih rumit dan mahal. Demikian pula selektivitas (diskriminasi) hanya dilakukan dengan waktu (khususnya gangguan fasa tanah). Pengaman PBO-2 (Penutup Balik Otomatis, Automatic Circuit recloser) di sisi hilir tidak dapat dilakukan. Saklar seksi otomatis (SSO) yang dapat dipergunakan pada sistem ini harus jenis pengindera tegangan dan koordinasinya dilakukan dengan penyetelan waktu, SSO dengan



pengindera arus tidak dapat digunakan. Alat pengaman fasa tunggal tidak dapat digunakan untuk mengamankan gangguan satu fasa ke tanah karena arus gangguannya kecil. Arus gangguan fasa tanah pada sistem ini tidak terlalu besar (maksimum 1000 a untuk sistem SKTM dan 300 A untuk SUTM) sehingga gangguan pada lingkungan akibat arus tanah (step voltage dan gangguan pada jaringan telekomunikasi) berkurang (dibatasi). Demikian pula penggunaan peralatan (PMT dan penghantar) dapat dipilih yang lebih ringan dan ekonomis. Mengingat adanya tahanan netral, maka arus gangguan tanah hasilnya kecil sehingga tidak efektif bagi penggunaan relai arus lebih dengan karakteristik waktu arus terbalik (*invers*), sebaliknya dapat dipergunakan relai dengan karakteristik waktu tetap yang lebih selektif dan mudah penyetelannya. PBO yang dipakai harus dari relai dengan pengatur elektronik untuk mendapatkan karakteristik waktu tetap bagi gangguan fasa tanah yang rendah. Alat pengaman fasa tunggal tidak dapat dipergunakan untuk mengamankan gangguan satu fasa tunggal karena arus kapasitif (terutama SKTM) perlu diperhitungkan. [4]

Dengan tidak adanya tahanan netral maka arus hubung tanah menjadi relatif sangat besar dan berbanding terbalik dengan letak gangguan tanah sehingga perlu dan dapat dipergunakan alat pengaman PMT + rele (berpengaman sendiri/LSP) yang dapat berkerja cepat dan dapat memanfaatkan alat pengindera dengan karakteristik waktu terbalik (*invertime*) dengan sebaik-baiknya. Karena gangguan arus fasa tanah besar, maka dapat dilakukan koordinasikan antara PMT-relai arus lebih atau PBO dengan fuse atau antara PBO dengan SSO secara baik sekali. Dengan didasarkannya sistem ini pada tiga fasa empat kawat, fasa netral, maka peralatan pengaman fasa tunggal yang lebih selektif (PBO, SSO dan fuse dapat dimanfaatkan). Karena arus gangguan fasa tanah besar dan kejadian gangguan fasa tanah relatif banyak dan PBO relatif sering berkerja, maka peralatan kemampuan (PMT, PBO dan lain-lain) harus disesuaikan dengan besarnya arus gangguan dan frekuensi buka tutup PBO (misalnya tidak menggunakan PMT berisi minyak minimum).

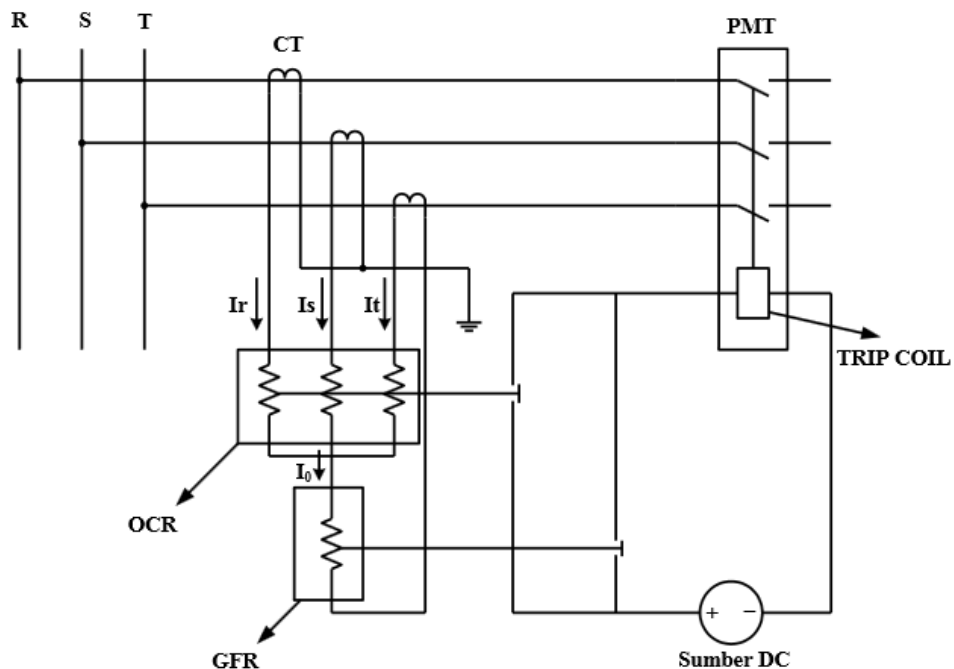
2.5 Rele Gangguan Tanah[1]



Gambar 2.7 : Relay gangguan tanah

a. Pengertian Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah yang lebih dikenal dengan GFR (Ground Fault Relay) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan rele OCR namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi gangguan hubung singkat antar fasa maka rele GFR mendeteksi hubung singkat fasa ketanah, dibawah ini merupakan gambar pengawatan rele gangguan tanah.



Gambar 2.8 : Rangkaian pengawatan rele gangguan tanah

b. Prinsip Kerja Rele Gangguan Tanah



Besar arus I_r , I_s , I_t pada kondisi normal adalah seimbang, sehingga pada kawat tanah tidak mengalir arus dan rele gangguan tanah pun tidak bekerja. Bila terjadi hubung singkat ke tanah maka akan timbul ketidakseimbangan arus, sehingga pada kawat pentanahan akan mengalir arus urutan nol dan mengakibatkan GFR bekerja.

c. Setting Rele Gangguan Tanah

1. Arus Setting Gfr

Penyetelan relay GFR pada sisi primer dan sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga arus setting untuk relay ocr baik sdi sisi primer maupun di sisi skunder transformator tenaga .

Nilai tersebut adalah nilai primer untuk mendapatkan nilai sekunder yang dapat diset kan pada relay ocr maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus CT yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

2. Setelan Waktu

Hasil perhitungan arus hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay , sama halnya dengan relay OCR, relay GFR menggunakan rumus penyetingan yang sama dengan rele OCR . Tetapi waktu kerja relay yang di innginkannya berbeda. Rele GFR cenderung sensitive dibandingkan rele OCR.

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada rele GFR sisi incoming 20 kV dan 70 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.6 Penyetelan Relay Gangguan Tanah Pada JTM 20 kV [3]

Penyetelan relei ground fault relay (GFR) sangat penting didalam keandalan sistem tenaga listrik, jika terjadi gangguan di salah satu feeder outgoing 20 kV tidak menyebabkan berkerjanya pengaman pada Incoming Feeder 20 kV. Ketelitian penyetelan rele GFR sangat diperlukan jika



penyetelan rele kurang baik juga dapat menyebabkan pemadaman atau berkerjanya rele di incoming atau kadang-kadang menyebabkan berkerjanya pengaman trafo. Penyebab ketidak wajaran tersebut adalah karena adanya kesalahan, kelemahan atau penyimpangan lainnya, disingkat penyimpangan. Adapun bentuk penyimpanan dan penyebabnya dapat salah kerja sebabnya bermacam-macam dapat berupa :

- Salah setting (terlalu sensitif atau terlalu cepat)
- Salah wiring
- Kerusakan Rele / Rele bantu
- Koordinasi yang kurang tepat.
- Karakteristik rele yang tidak cocok satu sama lain (misalnya antara definite time dan inverse time relay)
- Trafo Arus yang terlalu jenuh Dsb.

Penyetelan rele gangguan tanah biasanya dikoordinasikan dengan rele lebih . Koordinasi dilakukan dengan penyetelan arus tiap feeder dan incoming berdasarkan arus bebanya masing-masing dan penyetelan waktu kerja relay, dimana dengan relay inverse harus dengan menghitung arus gangguan di feeder. Arus gangguan dihitung dengan mengetahui :

- Short circuit di bus HV.
- Impedansi, ratio trafo P.S
- Impedansi feeder.

Didalam penyetelan relay gangguan tanah perlu dilakukan beberapa perhitungan. Untuk mendapatkan setelan relay gangguan tanah sesuai dengan yang diinginkan dan sesuai persyaratan peralatan pengaman dalam sistem pengaman. Beberapa perhitungan yang akan dilakukan sebagai berikut :

- 1) Perhitungan impedansi sumber
- 2) Perhitungan reaktansi trafo tenaga
- 3) Perhitungan impedansi feeder 20 kV (penyulang)
- 4) Perhitungan impedansi ekivalen
- 5) Perhitungan arus gangguan satu fasa ke tanah



6) Perhitungan setting relay gangguan tanah out going 20 kV

2.6.1 Perhitungan Impedansi Sumber.

Beberapa perusahaan listrik memberikan data pada pelanggan untuk menetapkan pemutus rangkaian bagi instalasi industri atau sistem distribusi yang di hubungkan pada sistem pemakaian. Biasanya data tadi berupa daftar *mega volt ampere* hubung singkat, dimana :

$$S_{sc} = \sqrt{3} \times (kV) \times I_{sc} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas, maka di hasilkan :

$$Z_s = \frac{kV^2}{S_{sc}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Z_s = Impedansi sumber (ohm)

kV= Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

S_{sc} = Data hubung singkat di bus 70 kV (kA)

2.6.2 Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$Z_t \text{ pada } 100\% = \frac{kV^2}{S_t} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Z_t = Impedansi trafo tenaga

kV = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga

S_t = Kapasitas daya trafo

Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya :



- Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_t \text{ pada } 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :

1. Untuk trafo dengan hubungan belitan Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.
2. Untuk trafo dengan hubungan belitan Yyd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
3. Untuk trafo dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 x X_{t1} .

2.6.3 Perhitungan Impedansi Penyulang 20 kV

Impedansi feeder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_F = L \times Z/KM \dots \dots \dots (2.5)$$

Ada 2 jenis perhitungan impedansi feeder 20 kV (penyulang) yaitu :

- a) Perhitungan Impedansi feeder Urutan Positif dan Urutan negatif
- b) Perhitungan Impedansi Feeder Urutan Nol.

Impedansi feeder (penyulang) diperoleh dari data jaringan yang dipergunakan dilapangan (ohm/km) kalau diketahui panjang jaringan maka impedansi ini dikalikan dengan panjang jaringan dan akan diperoleh Ohm. Karena pada pemilihan lokasi (%) berkisar antara 25 % s/d 100 % dari panjang jaringan, maka untuk memperoleh impedansi urutan positif dan urutan nol dihitung dengan cara sebagai berikut :

- a) Perhitungan impedansi feeder urutan positif dan negatif.



$$Z_{F1} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_1 / \text{KM} \dots\dots\dots (2.6)$$

b) Perhitungan impedansi feeder urutan nol.

$$Z_{F0} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_0 / \text{KM} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

Z_{F1} = Impedansi feeder urutan positif (Ohm)

Z_{F0} = Impedansi feeder urutan nol (Ohm).

Lokasi = Titik penentuan berdasarkan panjang jaringan (%)

L = Panjang Jaringan (km)

Z_1/KM = Impedansi jaringan urutan positif (Ohm/km)

Z_0/KM = impedansi jaringan urutan negative (Ohm/km)

2.6.4 Perhitungan Impedansi Ekiivalen.

Impedansi feeder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{eki} = Z_s + Z_r + Z_y \dots\dots\dots (2.8) [3]$$

Ada 2 jenis perhitungan impedansi ekiivalen yaitu :

1. Perhitungan impedansi ekiivalen urutan positif dan negative

Impendansi ekiivalen urutan positif dan negatif diperoleh dari penjumlahan impendansi sumber urutan positif/negatif, impedansi trafo urutan positif/negatif dan impedansi feeder urutan positif/negatif.maka untuk memperoleh impendansi ekiivalen urutan positif/negatif, dihitung dengan menggunakan rumus :

Dasar hitungan :

$$Z_1 \text{ eki} = Z_2 \text{ eki}$$

$$Z_{T1} = j X_{T1}$$

$$Z_1 \text{ eki} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_1 \text{ feeder} \dots\dots\dots (2.9)$$

2. Perhitungan impedansi ekiivalen urutan nol.

Impendansi ekiivalen urutan nol diperoleh dari penjumlahan antara imependansi trafo urutan nol, nilai 3 R_x (tahanan netral) dan impedansi feeder urutan nol. Berdasarkan sistem pentanahan netral sistem pasokan gardu induk seduduk putih pentanahan tahanan 40 Ohm.



Zo eki, dihitung :

- mulai dari trafo yang ditanahkan
- tanahan netral nilai $3 R_N$
- Impedansi feeder

Trafo di gardu induk seduduk putih memiliki belitan Yy, maka

- $X_{T0} = 10 \times X_{T1}$
- $Z_{T0} = j X_{T0}$
- $3 R_N = 3 \times 40$
- Zo feeder = Lokasi x panjang Zo total

Perhitungan Zo ekivalen

$$Z_0 \text{ eki} = Z_{0T} + 3 R_N + Z_0 \text{ feeder} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- $Z_1 \text{ eki}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)
- $Z_0 \text{ eki}$ = Impedansi ekivalen urutan nol (ohm)
- Z_{S1} = Impedansi sumber urutan positif (ohm)
- Z_{T1} = Impedansi trafo urutan positif (Ohm)
- $Z_1 \text{ feeder}$ = Impedansi feeder urutan nol (Ohm)

2.6.5 Perhitungan arus hubungan singkat satu fasa ke tanah

Perhitungan arus hubungan singkat satu fasa ke tanah digunakan untuk keperluan menanggulangi penyetelan relay gangguan fasa ketanah. Rumus yang dipakai dalam perhitungan arus gangguan hubungan singkat gangguan fasa ke tanah, pada jaringan tegangan menengah secara umum adalah sebagai berikut dibawah ini.

- Hubungan singkat 1 fasa ke tanah

Impedansi Z_1 , Z_2 dan Z_0 yang dihitung adalah nilai ekivalen mulai dari trafo di gardu induk sampai ketitik gangguan.

Perhitungan arus gangguan 1 fasa :

$$I_F \text{ 1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_1 \times Z_2 \times Z_0} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :



I_F 1 fasa : besar arus gangguan 1 fasa (dalam Amper).

V_{ph} : Besar tegangan fasa terhadap netral (dalam Volt).

Z_0 : Impedansi ekivalen urutan nol.

Z_1 : Impedansi ekivalen urutan positif.

Z_2 : Impedansi ekivalen urutan negative.

2.6.6 Perhitungan setting relay

Perhitungan setting relay, merupakan inti dari penyetelan relay gangguan tanah . Karena dari hasil perhitungan akan kita peroleh besar setelan arus relay baik pada sisi primer atau sekundernya dan juga akan diperoleh setelan waktunya. Perhitungan in coming 20 kv dilakukan mulai dari relai paling hilir di feeder (penyulang) 20 kv. Untuk setting rele gangguan tanah diambil dari arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanahnya yang terkecil pada 100% panjang jaringan (agar diperoleh kesesuaian antara Kuat Hantaran Arus (KHA) penghantar dan arus gangguan yang mengalir penghantar sehingga pengaman lebih terjamin). Untuk mengantisipasi tahanan yang tinggi yang diakibatkan penghantar fasa bersentuhan dengan benda lain yang menimbulkan tahanan tinggi, yang akan menyebabkan arus gangguan hubung singkat menjadi kecil, maka arus setting primer dikalikan dengan konstanta 0,06 s/d 0,1 jadi persamaan setelan arus pada sisi primer diperoleh berdasarkan hasil perhitungan 10% (0,1) dari arus gangguan satu fasa ke tanah (terkecil) dan setelan arus pada sisi skundernya diperoleh berdasarkan hasil perhitungan setelan arus pada sisi primer yang berbanding terbalik pada terhadap ratio C.T nya. Akan tetapi untuk setelan waktunya (tms) dihitung dengan menggunakan perhitungan menggunakan besar arus setelan pada sisi primernya dan waktu kerja berdasarkan setting dari relay pada feeder atau penyulang yang sudah ditentukan waktunya. Setting relay in coming 20 kV dihitung berdasarkan arus gangguan satu fasa ketanah terkecil.

$$\text{- Setelan arus (Primer)} = 10\% \times I_F \text{ 1 fasa (terkecil)} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{- Setelan arus (sekunder)} = \text{Setelan Arus (Primer)} \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{- Setelan waktu Relay Gangguan Fasa Tanah (GFR) pada in coming 20 kv}$$



$$tms = \frac{ts \times \left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

ts : Setting waktu kerja (s)

Tms : Setelan waktu (s)

I fault : Arus gangguan (A)

I set : Arus setting (Prim