



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik adalah kelistrikan tenaga listrik mulai dari Gardu Induk/Pusat Listrik yang memasok beban mempergunakan tegangan menengah 20 kV dan 220 – 400 V.

Jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV adalah jaringan distribusi primer yang dipasok dari Gardu Induk atau Pusat Listrik Tenaga Diesel (sistem isolated), mempergunakan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau mempergunakan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Gangguan hubung singkat sering terjadi pada jaringan 20 kV, antara fasa (3 fasa atau 2 fasa) atau gangguan hubung singkat ke tanah (2 fasa atau 1 fasa ke tanah), jika koordinasi proteksi kurang baik dapat menyebabkan pemadaman yang meluas.

Jaringan distribusi sekunder adalah jaringan yang dipasok dari gardu distribusi ke beban dengan tegangan 220 – 400V (fasa-fasa) dan 220 – 231 V (fasa-netral) menggunakan kabel lilit (twisted cable).²

2.2 Sistem Distribusi

Pada jaringan distribusi, jaringan tegangan menengah menghubungkan daerah industri berukuran menengah, daerah perumahan kota besar dan daerah perdesaan ke jaringan tegangan tinggi lewat trafo gardu induk ke tegangan menengah biasanya dipergunakan untuk men-supply perumahan dan daerah industri ringan di kota-kota dan perdesaan dari trafo-trafo distribusi. Di daerah industri jaringan tegangan menengah mengalirkan energi dari trafo distribusi ke mesin-mesin listrik.

Pemeliharaan tegangan tergantung pada ukuran daerah supply dan pembebanan (rugi tegangan, penampang penghantar) serta tegangan jaringan yang

² Sarimun. 2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Hal: 153



berdekatan, pada jaringan tegangan rendah juga pada kontak yang diizinkan.

Material yang dipakai untuk penghantar umumnya tembaga dan aluminium, baja hanya dipakai untuk tulang kawat aluminium, jadi jenis penghantar yang dipakai adalah tembaga, aluminium atau SCAC (Steel Cored Aluminium Conductor).

Pemilihan penampang penghantar dipengaruhi oleh pertimbangan-pertimbangan antara lain untuk pembebanan kabel yang diperbolehkan tergantung pada kemampuan isolasi untuk melawan kenaikan temperatur, jadi pada temperatur penghantar dan temperatur udara di sekelilingnya, pembebanan saluran udara yang diperbolehkan dibatasi oleh pengurangan kekuatan mekanis bila temperatur bertambah, variasi tegangan yang diperbolehkan adalah $\pm 5\%$.³

2.3.1 Perlengkapan Saluran Distribusi

Perlengkapan saluran distribusi dipergunakan dengan maksud menjamin kontinuitas penyediaan tenaga listrik serta menjamin keamanan atau keselamatan pemakai tenaga listrik. Perlengkapan itu antara lain adalah: sekering, pemutus (breaker) dan recloser, trafo distribusi, pengubah tap, sistem pendinginan, pengubah fase, pemisah, saklar beban, panel control, lemari hubung dan arrester.

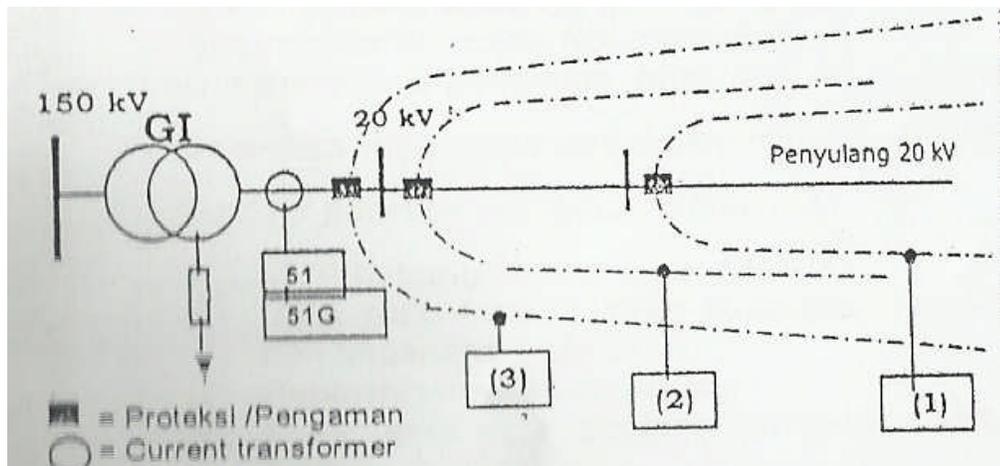
Sekering dipergunakan untuk melindungi jaringan distribusi terhadap gangguan arus lebih, sekering terdiri dari penghantar kecil yang dapat melebur dan biasanya terbuat dari perak, timah, seng atau paduan logam lainnya yang mempunyai titik lebur rendah, sekering dapat menyalurkan arus nominal secara terus menerus tetapi akan putus dalam waktu minimal 5 menit apabila arusnya dinaikan menjadi 230% dari arus normalnya.⁴

³ Daryanto. 1987. Pengetahuan Teknik Listrik. Hal: 26

⁴ Daryanto. 1987. Pengetahuan Teknik Listrik. Hal: 34



2.3.2 Daerah Pengamanan Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2.1 Daerah Pengamanan Distribusi

Pada gambar pengaman distribusi tenaga listrik sistem tegangan menengah terbagi sebagai berikut:

1. Daerah pengaman listrik menggunakan Recloser, Fuse Cut Out atau SSO
2. Daerah pengaman listrik lokasi di sumber listrik gardu induk atau pusat listrik memepergunakan OCR dan GFR (outgoing feeder)
3. Daerah pengaman listrik di sumber listrik gardu induk atau pusat listrik memepergunakan OCR dan GFR (incoming feeder).⁵

2.3.3 Koordinasi Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

Relay arus lebih terpasang terpasang pada gardu induk atau pusat listrik dengan tegangan 20 kV, sebagai proteksi/pengaman bila terjadi gangguan hubung singkat di jaringan distribusi tenaga listrik.

Gangguan listrik yang terjai pada sistem kelistrikan 3 fasa adalah:

- Gangguan 3 fasa

⁵ Sarimun. 2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Hal: 154



- Gangguan 2 fasa
- Gangguan 2 fasa ke tanah dan
- 1 fasa ke tanah.

Bila gangguan listrik tidak diamankan dengan baik, dapat mentriapkan pengaman listrik di incoming feeder sehingga pemadaman listrik dapat meluas yang disebut blackout. Untuk mengamankannya diperlukan koordinasi proteksi yang terpasang baik di incoming feeder, outgoing feeder dan pengaman yang terpasang di jaringan 20 kV (relay atau recloser).

Karena pada setelan proteksi (OCR & GFR) diperlukan besar arus gangguan yang dimasukkan pada setelan OCR & GFR, untuk keperluan ini dibutuhkan hitungan besarnya arus gangguan (Amp), besarnya beban puncak (Amp), penyetelan relay dapat mempergunakan karakteristik definite atau inverse. Selanjutnya untuk setting relay dihitung dengan mempergunakan persamaan dimana impedansi urutan setiap arus gangguan dibedakan impedansi urutannya.⁶

2.3.4 Tipikal Jaringan Distribusi 20 kV

Gangguan hubung singkat di cabang 2 yang menggunakan fuse dengan peredam arc dapat dipisahkan dari sistem yang masih sehat, tidak sampai membuat OCR/GFR di penyulang di gardu induk bekerja mentriapkan PMT, karena arc yang timbul di dalam tabung fuse bisa dipadamkan oleh pasir, sehingga cabang 1, cabang 3, cabang dan cabang 4 tetap mendapat pasokan listrik dari gardu induk.

Gangguan hubung singkat di cabang 2 yang menggunakan fuse tanpa peredam arc tidak dapat memisahkan bagian yang terganggu dari sistem yang masih sehat, karena arc yang timbul dari konduktor yang lebur di dalam tabung fuse tidak ada yang memadamkan dan melalui arc itu, arus dari sumbernya di gardu induk tetap mengalir ke titik gangguan.

⁶ Sarimun. 2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Hal: 154-155



Sehingga OCR/GFR di penyulang di gardu induk bekerja mentriapkan PMT, akibatnya seluruh percabangan penyulang distribusi 20 kV ini terpaksa mengalami pemutusan pasokan listrik (seluruh konsumen di penyulang/feeder itu padam).⁷

2.3.5 Klasifikasi Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi dikategorikan kedalam beberapa jenis, sebagai berikut:

1. Tegangan pengenalnya:
 - JTM 20 KV
 - JTR 380/220 Volt

2. Konfigurasi jaringan primer:
 - Jaringan distribusi pola radial
 - Jaringan distribusi pola loop
 - Jaringan distribusi pola loop radial
 - Jaringan distribusi pola grid
 - Jaringan distribusi pola spindle

3. Konfigurasi penghantar jaringan primer:
 - Konfigurasi penghantar segitiga
 - Konfigurasi penghantar vertical
 - Konfigurasi penghantar horizontal

2.3.6 Sistem Pentanahan Jaringan Distribusi di Indonesia

Pentanahan titik netral adalah hubungan titik netral dengan tanah, baik langsung maupun melalui tahanan reaktansi ataupun kumparan Peterson. Di Indonesia sistem pentanahan meliputi empat macam, yaitu:

⁷ Sarimun. 2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Hal: 223



- Sistem distribusi tanpa pentanahan
- Sistem distribusi pentanahan tak langsung (dengan tahanan)
- Sistem distribusi pentanahan langsung (solid)
- Sistem distribusi pentanahan dengan kumparan Peterson.

2.3.7 Gangguan Sistem Distribusi

Jenis gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada jaringan distribusi adalah sebagai berikut:

1. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena flashover antara penghantar fasa dan tanah (tiang travers atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. Pada gangguan yang tembusnya (breakdown) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh relay pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa.

2. Hubung singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan satu penghantar fasa yang lainnya sehingga terjadi arus lebih (over current). Gangguan ini dapat diakibatkan oleh flashover dengan pohon- pohon yang tertiuip oleh angin. Jika terjadi gangguan hubung singkat dua fasa, arus hubung singkatnya biasanya lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa.



3. Hubung singkat tiga fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya semua ketiga penghantar fasa. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon kemudian menimpa kabel jaringan.

2.3.8 Peralatan Proteksi Pada Sistem Distribusi JTM 20 KV

Peralatan proteksi pada sistem distribusi JTM 20 KV terdiri dari :

1. Relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*)

Relay arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). Prinsip kerja OCR pada dasarnya adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting. Macam-macam karakteristik relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*):

a. Relay waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

b. Relay arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_{set}), dan jangka waktu kerja relay mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay.



c. Relay arus lebih waktu terbalik (*Inverse time*)

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok yaitu *standar inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*.

2. Relay gangguan ke tanah (*Ground Fault Relay/GFR*)

Relay gangguan ke tanah (*Ground Fault Relay/GFR*) adalah alat yang berfungsi untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan satu fasa ketanah.

3. *Recloser*

Pemutus balik otomatis (*Automatic circuit recloser = Recloser*) ini secara fisik mempunyai kemampuan seperti pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat.

4. Saklar seksi otomatis (*sectionalizer*)

Sectionalizer adalah alat perlindungan terhadap arus lebih, hanya dipasang bersama-sama dengan PBO yang berfungsi sebagai pengaman *back-up* nya. Alat ini menghitung jumlah operasi pemutusan yang dilakukan oleh perlindungan *back-up* nya secara otomatis disisi hulu dan SSO ini membuka pada saat peralatan pengaman disisi hulunya sedang dalam posisi terbuka.

5. Pelebur (*fuse cut out*)

Fuse cut out adalah suatu alat pemutus, dimana dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk



membuka rangkaian dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu. Oleh karena pelebur ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka pelebur dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu.⁸

2.4.1 Pengetanahan Sistem Distribusi

Semua sistem distribusi dan industry diketanahkan dengan salah satu metode pengetanahan, sebagian tanpa impedansi atau dengan impedansi pengetanahan, tetapi sebagian lain hanya melalui kapasitansi sistem. Yang terakhir ini disebut sistem yang tidak diketanahkan atau sistem yang terisolir atau sistem delta.

Pengetanahan tanpa impedansi, seperti telah kita lihat, sangat membatasi tegangan maksimum ke tanah dari fasa-fasa, yang sehat. Juga dimungkinkan melayani beban satu fasa ke netral tanpa adanya tegangan ke tanah yang berbahaya pada keadaan gangguan tanah. Tambahan lagi dengan pengetanahan tanpa impedansi ini sistem relay lebih sederhana untuk mengisolir bagian sistem yang mengalami gangguan tanah.⁹

2.4.2 Rekomendasi Metode Pengetanahan untuk Sistem Distribusi

2.4.2.1 Sistem Tegangan Rendah

1. Pengetanahan Langsung

Untuk sistem-sistem 1 kV dan dibawahnya, dianjurkan menggunakan pengetanahan langsung dan dilengkapi dengan sensor arus tanah residu untuk “tripping” gangguan tanah secara otomatis. Alasan utama pemilihan metode ini karena metode inilah yang paling murah untuk membatasi tegangan lebih transien.

⁸ Sahputra. 2012. (<http://itsmen.wordpress.com/2012/04/01/gangguan-yang-terjadi-pada-jaringan-distribusi/>)

⁹ Hutauruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Hal: 39



2. Pengetanahan Tahanan Tinggi

Bila operator yang cakap selalu ada untuk menjawab alarm gangguan tanah dan bila kontinuitas pelayanan sangat diutamakan, pengetanahan tahanan tinggi sangat baik dipergunakan.

3. Pengetanahan Tahanan Rendah

Pengetanahan tahanan rendah tidak digunakan pada sistem tegangan rendah karena arus gangguan tidak cukup besar untuk mengerjakan pengaman lebur atau alat pemutus daya yang umum digunakan pada sistem tegangan rendah.

4. Tidak Diketanahkan atau Sistem Delta

Sistem delta atau tidak diketanahkan tidak digunakan pada sistem tegangan rendah karena masalah tegangan lebih dan bahaya kepada personel.

2.4.2.2 Tegangan Menengah

Sistem tegangan menengah sampai dengan 20 kV harus selalu diketanahkan karena kemungkinan gagal sangat besar oleh tegangan lebih transien yang tinggi yang disebabkan busur tanah (arcing grounds atau restriking ground faults). Untuk itu pengetanahan yang sesuai adalah:

1. Tahanan Rendah

Metode ini lebih disukai, terutama untuk sistem-sistem yang men-supply mesin-mesin berputar, khususnya dalam industri.

2. Tahanan Tinggi

Dengan tahanan tinggi kerusakan-kerusakan karena arus sangat berkurang. Pengetanahan ini dipilih untuk tujuan:

- Mencegah pemutusan yang tidak direncanakan,



- Apabila sistem sebelumnya dioperasikan tanpa pengetanahan dan tidak ada relay tanah terpasang,
- Apabila pembatasan kerusakan karena arus dan tegangan lebih diinginkan, tetapi tidak dibutuhkan relay tanah yang selektif.

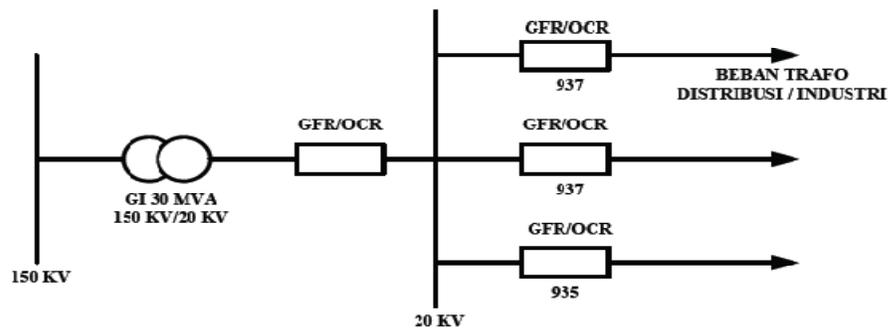
3. Pengetanahan Langsung

Pengetanahan langsung mempunyai biaya mula yang paling murah dari semua metode pengetanahan. Metode ini disarankan untuk sistem distribusi saluran udara (SUTM) dan untuk sistem-sistem yang di-supply dengan trafo yang diamankan dengan pengaman lebur pada sisi primer. Ini perlu untuk memberikan arus gangguan yang cukup untuk melebur pengaman lebur di sisi primer pada gangguan-gangguan tanah di sisi sekunder. Tetapi untuk sebagian besar sistem industri dan sistem komersial metode ini tidak disukai karena daya merusak yang hebat dari arus gangguan yang sangat besar.¹⁰

2.5.1 Relay Gangguan Tanah

Relay gangguan tanah (Ground Fault Relay) adalah pengaman terhadap gangguan tanah. Arus atau tegangan nol (residu) merupakan penggerak relay ini. Sistem daya listrik pada umumnya titik netralnya ditanahkan, baik pentanahan langsung (Solid Grounded) maupun melalui impedansi, karena itu arus residu merupakan penggerak utama relay gangguan tanah. Tegangan residu biasanya digunakan pada sistem yang tidak ditanahkan.

¹⁰ Hutaaruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Hal: 43



Gambar 2.2 Rangkaian Relay Gangguan Tanah di Feeder 20 KV¹¹

2.6 Setting Relay Gangguan Tanah (GFR) pada JTM 20 KV Gardu Induk Seduduk Putih

2.6.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber merupakan perhitungan impedansi dasar, ada 2 jenis perhitungan impedansi sumber yaitu:

1. Perhitungan Impedansi Sumber Untuk Sisi Primer (Urutan nol)
 2. Perhitungan Impedansi Sumber Untuk Sisi Sekunder (Urutan positif dan negatif).
- Perhitungan impedansi sumber urutan nol dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Z_{S0} = \text{---} \dots\dots\dots(2.1)$$

- Perhitungan impedansi sumber urutan positif dan negatif dihitung dengan rumus :

Daya di sisi Primer = Daya di sisi Sekunder

$$Z_{S2} = Z_{S2}$$

¹¹ Palizar. 2011. (<http://electricallearning19.blogspot.com/2011/03/pengertian-dan-setting-relay-gangguan.html>)



$$\text{---} = \text{---} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana: Z_{s0} = Impedansi sumber urutan nol (Ohm)

Z_{s1} = Impedansi sumber urutan positif (Ohm)

KV_1 = Tegangan sisi primer (KV)

KV_2 = Tegangan sisi sekunder (KV)

MVA = Daya (MVA)

Untuk perhitungan impedansi sumber untuk urutan nol tegangan sisi primer yang diambil adalah 70 KV dan pada urutan positif tegangan sisi sekunder yang diambil adalah 20 kV. Daya diambil berdasarkan short circuit pada level bus 70 kV GI Seduduk Putih.

2.6.2 Perhitungan Reaktansi Trafo Tenaga (Daya)

Perhitungan reaktansi trafo tenaga ada 2 jenis yaitu :

- Perhitungan reaktansi trafo urutan positif dan negatif.
- Perhitungan reaktansi trafo urutan nol.

1. Perhitungan Reaktansi Trafo Urutan Positif dan Negatif, dihitung dengan rumus :

$$X_{T1} = X_{T2}$$

$$Z_T = \text{---} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$X_{T1} = \text{Impedansi trafo \%} \times Z_T$$

Pada Perhitungan X_{T1} persentase perhitungan sesuai dengan persentase impedansi pada trafo, berdasarkan data GI Seduduk Putih impedansi trafo adalah



11,42 %.

2. Perhitungan Reaktansi Trafo Urutan Nol

Dalam perhitungan reaktansi trafo urutan nol trafo, kita harus memperhatikan ada tidaknya belitan delta. Dimana dengan memperhatikan belitan delta pada trafo maka didapat beberapa ketentuan dalam melakukan perhitungan reaktansi trafo urutan nol, yakni:

- Kapasitas delta sama dengan kapasitas bintang nilai $X_{T0} = X_{T1}$ berlaku pada trafo unit.
- Trafo tenaga di gardu induk dengan hubungan Yy biasanya punya belitan delta dengan kapasitas sepertiga x kapasitas primer (sekunder).

$$\text{Nilai } X_{T0} = 3 \times X_{T1} \dots\dots\dots(2.5)$$

- Trafo tenaga di gardu induk dengan hubungan Yy yang tidak punya belitan delta didalamnya.

$$\text{Nilai } X_{T0} = \text{Berkisar antara 9 sampai dengan } 14 \times X_{T1}$$

Dengan memperhatikan ketentuan diatas, kita ketahui berdasarkan data dari Gardu Induk Seduduk Putih, bahwa trafo tenaga dengan belitan Yy yang tidak punya belitan delta didalamnya, maka reaktansi trafo urutan nol GI Seduduk Putih dapat dihitung sebagai berikut :

$$X_{T0} = 10 \times X_{T1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Z_T = Impedansi dasar pada trafo sebenarnya (100%) untuk sisi 20 kV (Ohm).

X_{T1} = Reaktansi trafo untuk urutan positif/urutan negatif (Ohm).

X_{T0} = Reaktansi trafo untuk urutan nol (Ohm).



2.6.3 Perhitungan Impedansi Penyulang 20 kV

Perhitungan impedansi feeder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_F = L \times Z/\text{km} \dots\dots\dots(2.7)$$

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

1. Perhitungan Impedansi Feeder Urutan Positif dan Urutan Negatif
2. Perhitungan Impedansi Feeder Urutan Nol

Impedansi feeder (penyulang) diperoleh dari data jaringan yang dipergunakan di lapangan (ohm/km) bila diketahui panjang jaringan maka impedansi ini dikalikan dengan panjang jaringannya dan akan diperoleh Ohm.

Karena pada pemilihan lokasi (%) berkisar antara 25 % sampai dengan 100 % dari panjang jaringan, maka untuk memperoleh impedansi urutan positif/negatif dan urutan nol dihitung dengan cara sebagai berikut:

- Perhitungan impedansi feeder urutan positif dan negatif

$$Z_{F1} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_1/\text{km} \dots\dots\dots(2.8)$$

- Perhitungan impedansi feeder urutan nol

$$Z_{F0} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_0/\text{km} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Z_{F1} = Impedansi feeder urutan positif (Ohm) F_1

Z_{F0} = Impedansi feeder urutan nol (Ohm) F_0

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 negatif (Ohm/km)



2.6.4 Perhitungan Impedansi Ekivalen

Perhitungan Impedansi ekivalen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{eki} = Z_S + Z_T + Z_F \dots\dots\dots(2.10)$$

Ada 2 jenis perhitungan impedansi ekivalen yaitu:

1. Perhitungan Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif
2. Perhitungan Impedansi Ekivalen Urutan Nol

- Perhitungan impedansi ekivalen urutan positif dan negatif

Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif diperoleh dari penjumlahan impedansi sumber urutan positif/negatif, impedansi trafo urutan positif/negatif dan impedansi penyulang urutan positif/negatif. Maka untuk memperoleh impedansi ekivalen urutan positif/negatif, dihitung dengan menggunakan rumus :

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

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

$$Z_1 \text{ eki} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_1 \text{ feeder} \dots\dots\dots(2.11)$$

- Perhitungan impedansi ekivalen urutan nol

Impedansi ekivalen urutan nol diperoleh dari penjumlahan antara impedansi trafo urutan nol, nilai $3 R_N$ (tahanan netral) dan impedansi feeder urutan nol. Berdasarkan sistem pentanahan netral sistem pasokan GI Seduduk Putih pentanahan tahanan 40 Ohm, maka $Z_0 \text{ eki}$,dihitung:

- Mulai dari trafo yang ditanahkan.
- Tahanan netral nilai $3 R_N$.
- Impedansi penyulang.



Trafo di GI Seduduk Putih memiliki belitan Yy , maka:

- $X_{T0} = 10 \times X_{T1}$
- $Z_{T0} = j X_{T0}$
- $3 R_N = 3 \times 40 \text{ Ohm}$
- $Z_0 \text{ feeder} = \text{Lokasi} \times \text{panjang} \times Z_0 \text{ total}$

Perhitungan Z_0 ekivalen

$$Z_0 \text{ eki} = Z_{0T} + 3 R_N + Z_0 \text{ feeder} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

$Z_1 \text{ eki} = \text{Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)}$

$Z_0 \text{ eki} = \text{Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)}$

$Z_{S1} = \text{Impedansi sumber urutan positif (Ohm)}$

$Z_{T1} = \text{Impedansi trafo urutan positif (Ohm)}$

$Z_1 \text{ feeder} = \text{impedansi feeder urutan positif (Ohm)}$

$R_N = \text{Tahanan netral (Ohm)}$

$Z_0 \text{ feeder} = \text{impedansi feeder urutan nol (Ohm)}$

2.6.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

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

- Hubung 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:

$$I \text{ 1 fasa} = \frac{\times}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots(2.13)$$



Dimana:

I 1 fasa : Besar arus gangguan 1 fasa (dalam Ampere)

Ef : Besar tegangan fasa terhadap netral (dalam Volt)

Z0 : Impedansi ekivalen urutan nol

Z1 : Impedansi ekivalen urutan positif

Z2 : Impedansi ekivalen urutan negatif¹²

2.6.6 Perhitungan Setting Arus dan Tms GFR di Outgoing Feeder

Untuk memperoleh setelan Ground Fault Relay diambil arus di ujung jaringan (setelah GH) kemudian setelan arusnya $\times 8\%$. Perhitungannya sebagai berikut:

Setting arus pada sisi primer:

- $I_{\text{Set Primer}} = 8\% \times I \text{ di ujung jaringan} \dots\dots\dots(2.14)$

Setting arus pada sisi sekunder:

- $I_{\text{Set Sekunder}} = I_{\text{Set Primer}} \times \text{Ratio Trafo Arus (CT)} \dots\dots\dots(2.15)$

Untuk memperoleh setelan Tms dipergunakan persamaan, sebagai berikut:

- $\frac{t}{t_{\text{ms}}} = \frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \dots\dots\dots(2.16)$

Dimana:

t : Setting waktu kerja (SI)

tms : Setelan waktu (SI)

I fault : Arus gangguan (A)

I set : Arus setelan (A)¹³

¹² Ayubi. 2009. (<http://elektroayubi.blogspot.com/2009/02/perhitungan-impedansi-dan-reaktansi.html>)

¹³ Sarimun. 2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Hal: 201-202

