BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Umum Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem penyaluran tenaga listrik yang bekerja dengan mengubah tengangan yang bangkitkan oleh sistem pembangkit tenaga listrik menjadi tegangan tinggi (transmisi) dan tegangan menengah (distribusi) yang akan dikirim kan ke konsumen (beban). Gardu induk berfungsi untuk pembagi tenaga yang di dapatkan dari pembangkit yang kemudian akan salurkan ke gardu induk lain (sistem penyaluran distribusi).

2.1.1 Fungsi lain gardu induk yaitu :

a. Menyalurkan dan menerima tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan yang dibutuhkan oleh konsumen (beban) pada tegangan tertentu

b. Sebagai Penyulang tegangan menengah yang akan disalurkan ke gardu induk yang lain.

2.1.2 Klasifikasi GI (Gardu Induk)

Terdapat beberapa macam GI (gardu induk), antara lain:Berdasarkan pemasangan peralatan

Sesuai dengan pemasangan peralatan, GI dapat dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

a. Gardu induk pasang dalam (GIS)

GI (gardu induk) Pasang dalam (GIS) pada pembuatan konstruksi dibuat didalam gedung, GIS di bangun didalam gedung dikarenakan tempat pemukiman masyarakat setempat kurang adanya lahan dalam pembuatan sehingga dibuatkan dalam gedung, GIS biasa dibangun di wilayah perkotaan yang padat.

b. Gardu Induk pasang luar

GI ini disebut sebagai GI (gardu induk) konvensional dikarenakan sebagian besar alat dan komponen dibagian luar bagunan terkecuali pada bagian control, tempat battery, cubikel, sistem proteksi, dan lain-lain. Pada ardu induk ini memiliki tegangan tinggi dan masih banyak digunakan di Indonesia dengan lahan bagunan yang lebih luas

c. Gardu Induk Mengatur Tegangan

Merupakan GI yang sering terjadi drop tegangan dikarenakan letak posisi gardu induk ini jauh dari pembangkit. Oleh karena itu digunakan alat untuk menaikkan tegangan, seperti capasitor bank, agar drop tegangan yang terjadi secara signifikan.

2.2 Transformator

Transformator merupakan sebuah alat yang terdiri dari 2 belitan atau lebih dengan rangkaian magnetic dari belitan, sistem AC arus dan tegangan serta frekuensi sama dengan ketentuan standar (IEC 60076 -1 tahun 2011). Prinsip pada trafo menggunakan elektromagnetik yaitu hukum induksi faraday, dan hukum ampere, besar kecilnya arus dapat mengubah medan listrik tergantung dari arus listrik yang diberikan, tengangan induksi dibangkitkan dari berubahnya medan magnet. Pengiriman sumber daya listrik dari tinggi ke tegangan tinggi atau rendah disebut sebagai fungsi trafo itu sendiri.

2.2.1 Prinsip Kerja Transformator

Berdasarkan Prinsip kerja trafo induksi eletromagnetik terdiri dari 2 lilitan yaitu umparan primer dan sekunder yang terisolasi, Kebanyakan pada tranformator.

kawat yang terisolasi dililitkan pada besi atau disebut sebagai inti besi, timbulnya medan magnet atau fluks magnet dikarenakan oada kumparan primer yang sedang dialiri arus bolak-balik (AC). Kekuatan pada medan magnet tergantung dari arus listrik yang dialiri. Apabila arus listik yang di aliri pada kumpara primer semakin besar maka semakin besar pula medan magnet atau fluks magnetik. GGL (Gaya Gerak Lurus) di induksi oleh kumparan primer sehingga kumparan sekunder terdapat daya, maka disebutkan terjadilah pengubahan tergangan listik baik dari tengan yang tinggi maupun tegangan rendah begitu pun sebaliknya.

2.2.2 Klasifikasi Transformator

Transformator dalam distribusi tena ga listrik dapat dibedakan menjadi sesuai dengan penggunaannya, antara lain :

a. Transformator Distribusi

Transformator yang menghubungkan dari beban 20 kV ke tegangan yang lebih rendah (220 V).

b. Transformator Pembangkit

Transformator yang menghubungkan dari output generator ke sistem transmisi (150 kV atau 500 kV).

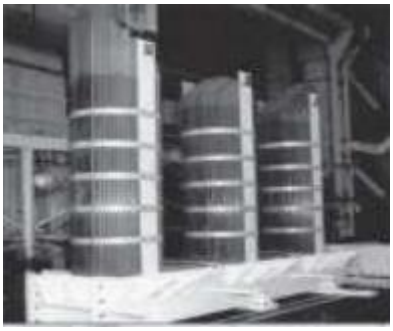
c. Transformator transmisi

Transformator yang menghubungkan dari pembangkit 150kv atau 500kv ke distribusi tegangan menengah 20kv

2.2.3 Komponen - Komponen Transformator

a. Inti Besi

Fungsi inti besi sebagai tempat untuk dililitkannya kumparan dan dialiri arus yang manimbulkan fluks magnetik sehingga dapat menginduksi kumparan yang lain, inti besi terbuat dari lempeng-lempeng besi tipis yang berisolasi agar menghindari rugi-rugi *eddy current.*



Gambar 2.1 Inti Besi Transformator

b. Tangki Konservator

Tangki konservator sebagai tempat atau wadah untuk menampung minyak dari minyak tersebut akan menahan panas dari trafo dikarenakan arus beban, Ketika terjadi kenaikan suhu pada operasi trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Pada tangka dan trafo terdapat jarak yang dipasangkan rele bucholz yang berfungsi untuk menyerap gas produksi dikarenakan kerusakan minyak. Pada ujung masuk nya udara melalui saluran pelepasan dilengkapi media untuk menyerap uap air pada udara agar minyak tidak terkontaminasi dengan air.

Gambar 2.2 Tangki Konservator

c. Bushing

Bushing merupakan sebuah alat untuk mengosolir tangan dan arus sehingga tengan dan arus tidak dapat mengalir di daerah pembungkus, bushing di lapisi bahan yang tidak dapat mengantarkan tegangan dan arus (isolator), serta sebagai penghubung antara trafo dan jaringan luar.

Gambar 2.3 *Bushing*

d. Sistem Pendingin

Sistem pendingin berfungsi untuk mengurangi panas yang terdapat pada inti besi dan kumparan yang merupakan rugi-rugi besi tembaga. Apabila panas tersebut terus berkelanjutan dengan waktu yang lama dapat menyebabkan kerusakan isolasi bagian dalam transformator, untuk

menghindari suhu yang anas dibutuhkan sistem pendingin untuk mengurangi panas dan menyalurkan panas tersebut keluar dari transformator sehingga dalam penggunaan trafo menjadi stabil.

Gambar 2.4 Sistem Pendingin

e. Tap Changer

Sesuai dengan kebutuhan konsumen transfomator di tuntun untuk bekerja dengan stabil, tap changer berfungsi untuk mengubah tegangan sesuaidengan kebutuhan dikarenakan tegangan input tidak selalu sama.

Gambar 2.5 *Tap Changer*

f. Sistem Pernafasan

Perubahan pada minyak transformator tergantung pada perubahan temperatur yang ada di dalam mau pun luar

transformator. Kelembapan dan kontaminasi oksigen berasal dari udara luar sehingga terdapat gas-gas dan air. Ketika temperature peningkatan pada minyak trafo membuat udara dari trafo keluar, apabila temperature menurun maka udara dari luar akan masuk kedalam tranformator, proses masuk nya udara dari luar masuk kedalam trafo untuk menghindari kontaminas pada minyak trafo, Pernapasan transformator daya memilki tabung yang didalam nya berisi zat kristal (slica gel) terdapat

dibagian luar transformator.

Gambar 2.6 Sistem Pernafasan

2.3 Klasifikasi Gangguan Pada Transformator

2.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan adalah kondisi tidak normal arus yang mengalir pada intalasi sistem tenaga listrik, terdapat arus tak seimbang dalam sistem intalasi tiga fasa mengakibatkan bekerjanya PMT (Pemutus) diluar keinginan operator sehingga terjadi putusnya aliran daya yang melalui PMT tersebut. Gangguan arus hubung singkat dapat terjadi di dalam

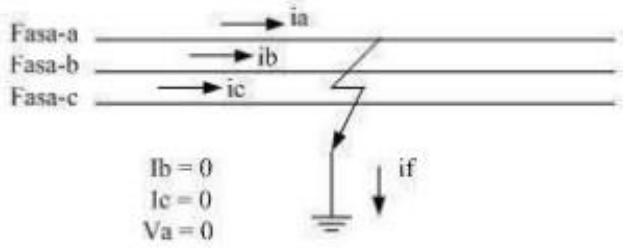
maupun di luar trafo, maka dari itu diperlukan sistem proteksi untuk menjaga peralatan apabila terjadi hal gangguan arus.

Pada umumnya gangguan ini dapat dideteksi oleh adanya arus atau teganganyang tidak seimbang, seperti :

a. Gangguan satu fasa ke tanah

Pada gangguan ini memerlukan metode simetris, metode komponen simetris dalam menganalisa arus dan tegangan ketika terjadi masalah gangguan, dalam menganalisa gangguan dilakukan pergantian titik (node) dan menghubung singkat semua sumber tegangan serta dengan pemberian tegangan sama besar dengan tegangan sesaat. berdasarkan komponen urutan

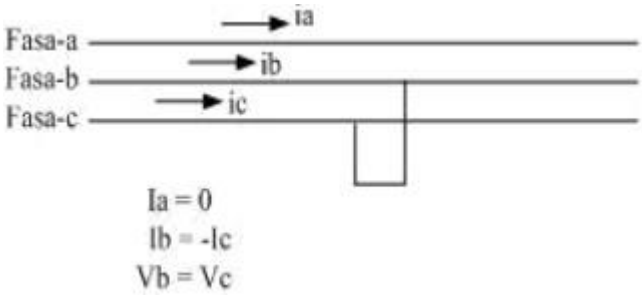
positif,negatif, dan komponen urutan nol dapat di representasi pada metode 3fasa tak imbang.



Gambar 2.7 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

b. Gangguan dua fasa

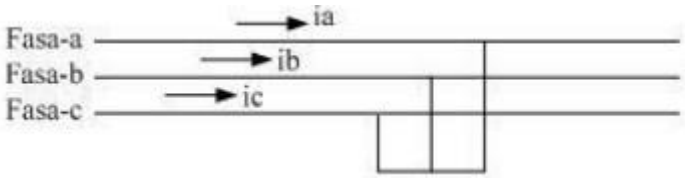
Pada gangguan hubung singkat dua fasa tidak terdapat gangguan yang terhubung ke tanah menyebabkan arus saluran tidak terdapat komponen urutan nol.



Gambar 2.8 Gangguan hubung singkat dua fasa

c. Gangguan tiga fasa

Pada gangguan hunbung singkat tiga fasa termasuk dalam gangguan simetris, pada tegangan dan arus dari tiap fasa tetap seimbang apabila terjadi gangguan, jadi dalam menganalisa sistem ini dengan menggunakan pada komponen positifnya saja.



Gambar 2.9 Gangguan hubung singkat tiga fasa

2.3.2 Beban Lebih

Beban lebih atau disebut sebagai overload yang terjadi karena beban-beban yang yang terpasang pada transformator melebihi kapasitas maksimum dari trafo tersebut, pada trafo terdapat arus beban yang melebihi arus beban penuh (*full load*). Kondisi *overload* ini akan membuat lilitan kawat pada trafo menjadi panas dikarena tidak sanggup menahan

beban yang lebih, naik nya beban ini mengakibatkan rusak pada isolasi lilitan di kumparan tranformator.

2.3.3 Tegangan Lebih Akibat Petir

Gangguan yang terjadi dikarenakan adanya sambaran petir yang mengenai kawat phasa R,S,T sehingga menimbukkan kerusakan pada transformator, kondisi

seperti ini dikarenakan pada alat arrester tidak berfungsi secara normal. Pada

arrester itu sendiri akan mengirimkan tegangan lebih ketanah Ketika terdapatsambaran petir.

2.3.4 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana :

S = daya Transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala- jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

$$I_{fl} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana :

I_{fl} = arus beban penuh (A)

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan Sisi sekunder transformator (kV)

2.4 *Neutral Grounding Resistor* (NGR)

Tahanan yang diletak pada titik netral transformator dan di hubungkan secara Y (bintang) disebut sebagai NGR (*Neutral Grounding Resistor*), NGR diletakkan pada titik netral transformator dengan tegangan 20 kV atau 70 kV, sedangkan pada titik netral trafo 150 kV dan 500 kV ditanahkan langsung (solid).

Gambar 2.10 *Neutral Grounding Resistance*

$$I_{1\ fasa} = \frac{V_s \times 1000}{\sqrt{3} \times NGR} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana :

I = arus hubung singkat satu fasa Ω

Vs =tegangan pada sisi sekunder kV

DaIam standart SPLN 26: 1980 teIah ditetapkan besar tahanan pengetanahan dan besar arus gangguan yang diizinkan untuk setiap macam tahanan pengetanahan sebagai berikut (Rahman, 2018) :

1. Tahanan rendah 12 ohm biasanya digunakan untuk wilayah Jakarta dan

   arus gangguan tanah maksimum 1000 Ampere dipakai pada jaringan kabeI

   tanah.

2. Tahanan rendah 40 ohm dan arus gangguan maksimum 300 Ampere

   dipakai pada jaringan saIuran udara dan campuran saIuran udara dengan

   kabeI tanah. Tahanan rendah dengan nilai 40 ohm biasanya digunakan

   untuk wiIayah BaIi.

3. Sedangkan tahanan tinggi dengan nilai 500 ohm biasanya digunakan pada

   wilayah Jawa Timur dan arus gangguan maksimaI 25 Ampere dipakai pada

   saIuran udara.

Terdapat dua jenis NGR, yaitu :

2.4.1 Liquid

Pada liquid untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan yaitu pada resistor di tampung didalam bejana dengan menggunakan larutan air murni denganmenambahkan KOH atau garam (NaCL).

2.4.2 Elemen/Padat

Pada Elemen/padat untuk mendapatkan nilai tahahanan yang dapat di atur dengan menggunakan resistor yang terbuat dari copper nickle, FeCrAl,stainless steel, cast iron, dan nichrome

Dalam pentanahan . Berikut merupakan jenis pentanahan pada sistem :

a. Selektifitas dan sensitifitas pengaman gangguan tanah
b. Pembatas arus gangguan tanah
c. Level pengaman terhadap tegangan lebih seperti petir
d. Membatasi tegangan terhadap system

Sistem pertanahan terdiri dari beberapa jenis, berikut adalah deskripsi sistempentanahan:

1. .Pentanahan secara langsung

   Arus hubung singkat 1 fasa ketanah : $If1\emptyset > 0.25\ x\ If3\emptyset$

2. Mentanahkan menggunakan resistansi rendah (12 Ω - 62Ω)

   Arus hubung singkat 1 fasa ketanah : $If1\emptyset > (0.1 - 0.25)\ x\ If3\emptyset$

3. Pentanahan dengan menggunakan resistansi tinggi (200 Ω

   - 500 Ω)Arus hubung singkat 1 fasa ketanah : $If\ 1\emptyset < 0.1$

   $x\ If3\emptyset$

Mitigasi bencana Kemungkinan *Flashover* Pada *Neutral Grounding Resistor*:

Flashover merupakan loncatan api yang diakibatkan dari terbentuknya kerak pada isolator atau komponen listrik tegangan tinggi, Adanya polutan yang menempel membuat terbentuknya lapisan konduktif

di permukaan isolator yang dapat menyebabkan mengalirnya arus bocor atau arus lebih sehingga terjadi pemanasan pada lapisan tersebut. Dengan keadaan seperti ini dapat terjadi pelepasan muatan dan dapat memanjang sehingga munculnya busur listik (*arcing/spark*) yang melintasi pita kering melalui seluruh permukaan isolator.

Flashover Ketika terjadi pada NGR dapat merusak elemen NGR, isolator, maupun *bushing* penghubung netral sekunder trafo dan pastinya mengganggu kehandalan penyaluran. Untuk mengantisipasi kondisi seperti ini perlu dilakukannya mitigas agar NGR dan elemen lain nya dalam keadaan amanBeberapa faktor penyebab terjadinya *flashover* pada NGR :

1. Pada desain *Neutral Grounding Resistor* (NGR) yang semakin kompak (padat), hal ini menjadikan clearence semakin kecil kemungkinan terjadinya hubung singkat antara body dan elemen semakin besar.
2. Kondisi pada rumah *Neutral Grounding Resistor* (NGR) yang kurang tertutup rapat sehingga binatang dapat masuk kedalam NGR itu sendiri yang mengakibatkan terjadi hubung singkat didalam NGR.
3. Kebersihan yang terdapat didalam body NGR seperti debu-debu, air hujan, kotoran binatang dan lain-lain, hal seperti ini dapat mengakibatkan terjadinya *Flashover* pada NGR dan merusak elemen-elemen yang ada di dalam body NGR.

2.4.3 Klasifikasi Pembumian dengan tahanan NGR

Klasifikasi sistem pembumian dengan NGR :

a. Sistem pembumian tahanan rendah, dengan nilai tahanan 40 dan 12Ohm lalu pada arus primer 600 – 50 Aampere.

b. Sistem pembumian tahanan tinggi dengan nilai tahanan 500 dan 200 Ohm, lalu pada arus primer 10 – 1 A.

Desain sub sistem tenaga listrik bergantung pada penggunaan NGR baik jenisrendah maupun jenis tinggi, Arus gangguan pada phasa ke tanah semakin kecil dikarenakan nilai pada NGR besar.

2.5. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan diakibatkan dari timbulnya arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal . Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi primer dapat juga disebabkan berdasarkan penyebab external dan penyebab internal . Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi gangguan tersebut dilakukan analisis hubung singkat sebagai tahap awal untuk menanggulangi sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan. Perhitungan arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut : Arus gangguan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan umum.

2.5.1 Menghitung Impedansi

1. Impedansi Sumber

Menghitung impedansi sumber pada sisi 20 kV maka akan diketahui terIebih dahuIu niIai kapasitas daya hubung singkat (MVA). Kapasitas daya hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ir.Wahyudi Sarimun N.,2016):

$$MVAhs = Ihs3Ø \max x\ (vprimer\ trafo\ x\ \sqrt{3}) \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana:

MVAhs = kapasitas daya hubung singkat GI (MVA)

Ihs3Ømax = arus hubung singkat 3 fasa maks GI (kA)

Vprimer trafo = tegangan primer trafo(kV)

SeteIah menghitung kapasitas daya hubung singkat kemudian hitung terIebih dahuIu impedansi sumber di sisi 150 kV, dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ir.Wahyudi Sarimun N., 2016):

$$(sisi\ 150\ kV) = \frac{\text{kV}^{\ 2}}{MVA_{hs}} \quad \text{.....(2.5)}$$

Dimana:

Z(sisi 150 kV) = Impedansi sumber pada sisi 150 kV (Ω)

kV = Tegangan sisi primer trafo daya (kV)

MVAhs = Kapasitas daya hubung singkat GI(MVA)

SeteIah didapatkan hasiI impedansi sumber pada sisi 150 kV, maka baru impedansi sumber pada sisi 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ir.Wahyudi Sarimun N., 2016):

$$Z(\ sisi\ 20\ kV\ ) = \frac{kV(\text{sisi sekunder trafo})^2}{kV(\text{sisi primer trafo})^2} \times Z_{(\ sisi\ 150kV\ )}$$

..... (2.6)

2. Impedansi Transformator

Perhitungan impedansi pada transformator yang diambiI adaIah nilaireaktansinya, sedangkan resistor diabaikan akibat nya nilainya keciI. Maka untuk mengetahui niIai reaktansi transformator daIam ohm dihitung dengancara sebagai berikut:

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

$$Z_T = \frac{kV(\text{sisi sekunder trafo})^2}{MVA_{trafo}}$$

..... (2.7)

Dimana:

Z_T = Impedansi trafo (Ω)

kV^2 sisi sekunder = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

MVA trafo = Kapasitas daya trafo (MVA)

LaIu tahap seIanjutnya yaitu mencari niIai reaktansi tenaganya. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($Z_{T1} = Z_{T2}$) dihitung denganmenggunakan rumus:

$Z_T = Z_{T2} =$ % yang diketahui × Z_T (pada 100%) ....(2.8)

SebeIum dilakukan perhitungan reaktansi urutan nol (Z_{T0}) harus diketahui terIebih dahuIu data yang didapat trafo daya itu sendiri ialah data dari kapasitas belitan delta yang ada daIam trafo:

- Untuk trafo daya dengan hubungan beIitan ΔY dimana kapasitas beIitan deIta sama besar dengan kapasitas beIitan Y, maka $Z_{T0} = Z_{T1}$
- Untuk trafo daya dengan hubungan beIitan Yyd dimana kapasitas beIitan deIta (d) biasanya adaIah sepertiga dari kapasitas beIitan Y (beIitan yang dipakai untuk menyaIurkan daya, sedangkan beIitan deIta tetap ada di daIam tetapi tidak dikeIuarkan kecuaIi satu terminaI deIta untuk ditanahkan), makaniIai

$Z_{T0} = 3 \times Z_{T1}$ ..... (2.9)

3. Impedansi PenyuIang

Untuk perhitungan nilai impedansi penyuIang, perhitungannya tergantung dari besarnya nilai impedansi per km dari penyuIang yang akan dihitung. Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyuIang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyuIang tersebut. Contoh

besarnya niIai impedansi suatu penyuIang: Z = (R + jX). Sehingga untuk impedansi penyuIang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

- Urutan positif dan urutan negatif

$Z_1 = Z_2$ = panjang Saluran × $Z_{penghantar}$ (km) x Z_1/Z_2 (Ω) ..... (2.10)

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif

(Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif

(Ω)

- Urutan noI

Z_0= % panjang x panjang penyuIang (km) x Z_0 (Ω) ..... (2.11)

Dimana :

Z_0 = Impedansi urutan noI (Ω)

4. Impedansi EkivaIen PenyuIang

Pada perhitungan ini adaIah perhitungan niIai impedansi ekivaIen positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}) dan noI (Z_{0eq}) dari titik gangguan ke sumber. Impedansi Z_{1eq} dan Z_{2e}q dapat dihitung sesuai Iokasi gangguan deengan menjumlahkan $Z_{(sisi\ 20\ kV)}$ + Z_{T1} pada % I, sedangkan Z_{0eq} dimuIai dari titik gangguan sampai ke transformator daya yang netraInya ditanahkan. NiIai tahanan pengetanahan adaIah 3 x Rn dan untuk pentanahan tanpa tahanan (*soIid*) niIai tahanan

pengetanahan adaIah noI. Iokasi gangguan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Berikut rumus untuk menghitung impedansi ekivaIen jaringan :

- Urutan positif dan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_T$ ..... (2.12)

Dimana:

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

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

Z_T = Impedansi trafo daya urutan positif dan negatif (Ω)

Z_S = Impedansi Sumber (Ω)

- Urutan noI

  - Untuk R = Ω

    $Z_{0eq} = Z_{T0} + 3Rn$ ..... (2.13)

  - ..... Tanpa Melewati R (*Solid*/Langsung)

    $Z_{0eq} = Z_{T0} + 0$ ..... (2.14)

Dimana:

Z_{0eq} = Impedansi ekivaIen jaringan urutan noI(Ω)

Z_{T0} = Impedansi trafo daya urutan noI (Ω)

Rn = Tahanan tanah trafo daya (Ω)

Z_0 penyuIang = Impedansi urutan noI pada penyuIang (Ω)

5. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. SeteIah terbukanya *circuit breaker* oIeh reIay pengamannya, peraIatan atau saIuran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembaIi. Jika terjadi gangguan satu fasake tanah, arus gangguannya hampir seIaIu Iebih keciI daripada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formuIa perhitungan arus hubung singkatnya adaIah:

Secara umum : $I = \frac{V}{Z}$ ..... (2.15)

Keterangan :

I = Arus hubung singkat (Amp)

V = Tegangan Sumber (volt)

Z = Impedansi jaringan (ohm)

Karena $Z_{1\,Eq} = Z_{2\,Eq}$, maka :

$I_{hs}\ 1\ fasa = \frac{3 \times V_{ph}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}}$ ..... (2.16)

Sedangkan persamaan untuk arus hubung singkat 2 phasa :

$$I_{hs}\ 2\ fasa = \frac{V}{2 \times Z_{1eq}} \quad \text{.....(2.17)}$$

Dan arus hubung singkat 3 phasa ,persamaan nya sebagai berikut :

$$I_{hs}\ 3\ fasa = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad \text{.....(2.18)}$$

Dimana :

I_{hs} = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)Vph = Tegangan fasa – fasa system 20 kV = 20.000 voIt Z_{1Eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_{0Eq} = Impedansi urutan noI (Ω)

2.6. Sistem Pembumian

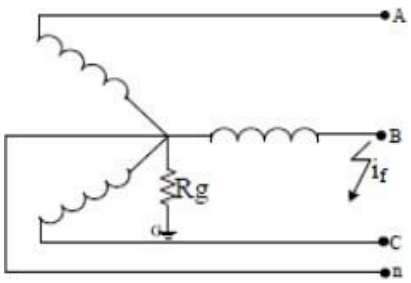
Bumi (*Earth*) adalah tempat untuk mengirim tegangan lebih yang terdapat pada sistem tenaga listrik dikarenakan potensial listrik di titik manapun menurut konversi yaitu nol, pembumian adalah suatu sistem pengaman untuk menjaga makhluk hidup dan komponen-komponen sistem tenaga listrik dari adanya sambaran petir, pada pembumian dahulu mulai dikenal di masyarakat sejak 1990 ketika di waktu tersebut pembumian mempunyai ukuran yang masih kecil dikarenakan penggunaan listrik yang belum meluas, dengan berkembangnya jaman peningkatan kebutuhan akan listrik semakin banyak membuat perangkat pada sistem tenaga listrik juga akan semakin luas baik dari perangkatnya maupun jarak pengiriman tengangan juga semakin jauh sehingga

membutuhkan tegangan tinggi, dari setiap perangkat sistem tenaga listrik terdapat sistem pembumian untuk menjaga perangkat-perangkat yang ada, apabila pada sistem tenaga listrik tidak terdapat sistem pembumian maka akan sangat membahayakan bagi makhluk hidup dari tengangan lebih dan arus lebih disekitar nya dan membuat kerugian yang begitubesar.

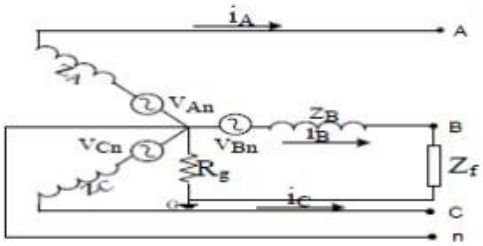
Pada pembumian mempunyai dua jenis yaitu pembumian secara sistem dan pembumian peralatan, pembumian secara sistem adalah sistem yang dilakukan pada transformator dan juga generator, sedangkan pembumian peralatan adalah keadaan normal tidak bertegangan pada bagian konduktif.

2.3.1 Pembumian titik netral dengan tahanan

Sistem pembumian dengan tahanan mempunyai dua metode, yaitu tahanan rendah dan tahanan tinggi. Didapatkan tahanan lebih tinggi pada sistem pembumian dari koneksi titik netral transformator. Pada Sistem pembumian tahanan tinggi ini bisa digunakan pada sistem yang menengah sampai dengan tahanan yang lebih kecil.Selama terjadi gangguan nilai tahanan dipilih sesuai dengan kebutuhan sehingga kemungkinan arus yang ada sekita 1-10 ampere



Gambar 2.11 hubungan wye phasa B terganggu



Gambar 2.12 Sirkuit wye phasa B terganggu

2.7 Software Electrical Transient Analyzer Program

Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, sebuah *software* aplikasi sangat dibutuhkan untuk mempresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) merupakan salah satu *software* aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik.ETAP mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan system secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.*Software* ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa sistem tenaga listrik. Analisa yang dapat dilakukan pada ETAP antara lain :

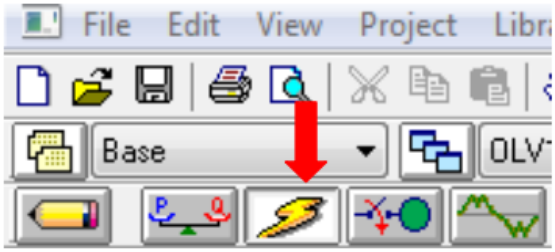
a. Analisa aliran daya
b. Analisa hubung singkat
c. Arc Flash Analysis

d. Starting motor

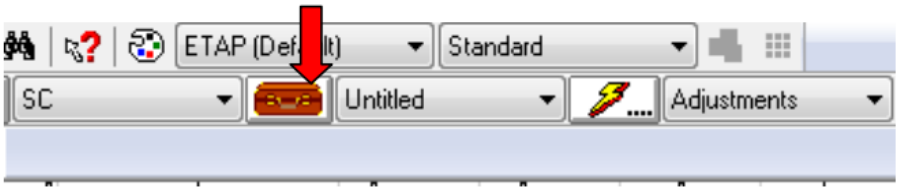
e. Koordinasi proteksi

f. Analisa kestabilan transien, dan lain-lain.

2.7.1 Metode Hubung Singkat (*Short-Circuit*) Pada ETAP *Power Station*



Gambar 2.13 *Icon Running Short Circuit*



Gambar 2.14 *Icon Study Case Short Circuit*

Hubung singkat (*short-circuit*) adalah suatu peristiwa terjadinya hubungan bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadinya aliran arus tidak normal (sangat besar) yang biasa di sebut arus hubung singkat. Adanya hubung singkat menimbulkan arus lebih yang pada umumnya jauh lebih besar daripada arus pengenal peralatan dan terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga

listrik,sehingga bila gangguan tidak segera di hilangkan dapat merusak peralatan dalam sistem tersebut

Besarnya arus hubung singkat yang terjadi sangat di pengaruhi oleh jumlah pembangkit yang masuk sistem, dan ada 2 jenis gangguan hubung singkat berdasarkan jenis arus gangguannya yaitu gangguan simetris dan gangguan asimetris. Gangguan simetris adalah gangguan dengan arus yang seimbang dan gangguan asimetris adalah gangguan dengan arus yang tidak seimbang dan perhitungan tegangan dan arus.