

# Analisis Pemilihan Pentanahan Titik Netral Generator Pada PLTMH 2 x 4,4 MW Nua Ambon

ASYER AGRISELIUS<sup>1</sup>, SYAHRIAL<sup>1</sup>, SITI SAODAH<sup>2</sup>

1. Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
2. Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

Email : Asyer.el09@gmail.com

## ABSTRAK

Pentanahan titik netral generator pada pembangkit tenaga listrik sangat penting dalam hal proteksi peralatan dari gangguan hubung singkat ke tanah, pengamanan terhadap manusia dan penyaluran daya listrik, oleh karena itu diperlukan perhitungan dan perancangan agar generator dapat terproteksi jika terjadi gangguan hubung singkat ke tanah. Dalam penelitian ini, untuk menentukan jenis pentanahan titik netral generator dengan kapasitas 2 x 4,4 MW maka dilakukan perhitungan dan simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah, gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, pemilihan metoda pentanahan titik netral generator, perhitungan tegangan sentuh dan perhitungan tegangan langkah. Dimana jenis pentanahan yang dipilih adalah pentanahan dengan tahanan yaitu  $72 \Omega$ , sedangkan model pentanahan yang dipilih untuk pengamanan area pembangkit adalah pentanahan menggunakan grid dengan jumlah batang konduktor yang terpasang = 12 batang, sehingga diperoleh  $E_s$  sebenarnya = 225,3 Volt lebih kecil dari nilai  $E_s$  yang diizinkan = 730,5 Volt dan  $E_l$  yang sebenarnya = 102,6 Volt lebih kecil dari nilai  $E_l$  yang diizinkan = 2429,7 Volt. Dengan demikian design pentanahan yang dilakukan telah memenuhi persyaratan. Pembahasan ini berdasarkan perhitungan dan simulasi menggunakan batasan-batasan yang terdapat dalam teori.

**Kata kunci:** Pentanahan, Generator 2 x 4,4 MW, Gangguan Hubung Singkat,  $E_s$ ,  $E_l$ , Sistem Grid, Konduktor

## ABSTRACT

*Neutral grounding Generator point on the power plant is very important in terms of equipment protection from short circuit to ground disturbance, human security and distribution of electrical power, therefore the necessary calculations and design so that the generator can be protected in the event of a short circuit fault to ground. In this study, to determine the type of grounding the neutral point of the generator with a capacity of 2 x 4.4 MW, the calculation and simulation of 3-phase short circuit fault to ground, short circuit interruption 1 phase to ground, the selection method of grounding the generator neutral point, touch voltage calculation and calculation of the voltage step. Where grounding type chosen is grounded with a resistance that is  $72 \Omega$ , while grounding the model chosen for securing the grounding area using a grid generation is the number of conductor bars are attached = 12 rods, in order to obtain the actual  $E_s = 225.3$  volts less than the value of  $E_s$  which allowed = 730.5 Volts and actual  $E_l = 102.6$  volts less than the allowable value of  $E_l = 2429.7$  Volt. Thus the grounding design has*

*been undertaken to meet the requirements. This discussion is based on calculations and simulations use restrictions contained in the theory.*

**Keywords:** *Grounding, Generator 2 x 4.4 MW, Short-circuit Disorders,  $E_s$ ,  $E_f$ , Grid Systems, Conductor*

## 1. PENDAHULUAN

Generator merupakan suatu peralatan yang berperan penting dalam proses atau tahapan pembangkitan tenaga listrik. Hal ini dikarenakan generator mengubah tenaga gerak menjadi energi listrik. Kontinuitas dari operasi generator ini harus terjaga dengan baik sehingga pasokan energi listrik tidak berkurang akibat adanya gangguan pada generator. (Sasmita, 1995)

Dalam suatu generator dibutuhkan suatu sistem pentanahan yang handal. Hal ini dimaksudkan agar ketika terjadi gangguan fasa ke tanah generator tidak akan membahayakan keselamatan manusia, sebab arus gangguan akan mengalir pada bagian peralatan dan ke piranti pentanahan. Hal ini akan mengakibatkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien peralatan dengan permukaan tanah yang berbahaya bagi manusia dan peralatan yang berada pada area generator tersebut. Oleh sebab itu diperlukan sistem pentanahan yang baik dan efektif meratakan gradien tegangan yang timbul. (Sasmita, 1995)

Analisis pemilihan pentanahan titik netral generator pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro 2 x 4,4 MW Nua Ambon diperlukan dalam kaitannya menentukan jenis pentanahan pada generator tersebut dan area yang aman pada pembangkit saat terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah serta untuk menjaga kontinuitas dari kerja generator sehingga pasokan energi listrik tidak terganggu.

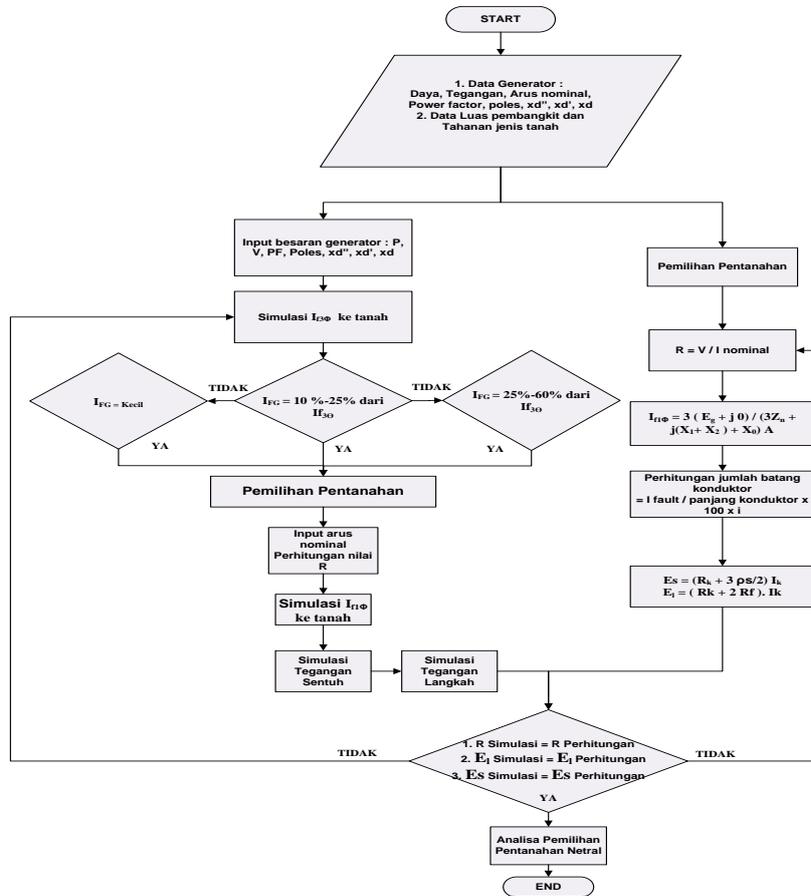
Penelitian ini merupakan studi yang akan menganalisis kinerja suatu sistem pentanahan untuk dijadikan suatu masukan pada pentanahan netral generator PLTMH Nua Ambon. Mengacu pada standar-standar yang telah dibuat dan disepakati, khususnya mengenai keamanan manusia terhadap tegangan sentuh dan tegangan langkah yang timbul.

## 2. METODA PERHITUNGAN DAN SIMULASI PENTANAHAN TITIK NETRAL GENERATOR

### 2.1 Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 1, Pertama mengambil data-data yang diperlukan dalam penelitian seperti : data generator, trafo, luas area pembangkit dan tahanan jenis tanah. Setelah itu pada *software ETAP input* besaran generator : P, f, pf, V, pole,  $X_d$ ,  $X_d'$  dan  $X_d''$  kemudian dilakukan percobaan hubung singkat 3 phasa ke tanah yang nilai gangguan hubung singkatnya digunakan sebagai parameter pemilihan pentanahan netral dimana jika  $R_0 \geq 2 X_0$  dan  $I_{FG} = 10\% - 25\%$  dari  $I_{f3\phi}$  maka jenis pentanahan yang digunakan adalah pentanahan netral menggunakan tahanan rendah,  $X_0 \leq X_1$  dan  $I_{FG} = 25\% - 60\%$  dari  $I_{f3\phi}$  maka jenis pentanahan yang digunakan adalah pentanahan netral menggunakan *reactor* dan jika  $R_0 \leq X_{C0} / 3$  dan  $I_{FG} =$  kecil maka jenis pentanahan yang digunakan adalah pentanahan netral menggunakan tahanan tinggi. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi nilai tahanan yang akan digunakan, tegangan sentuh dan tegangan langkah pada area pembangkit. Selain simulasi menggunakan *software ETAP*,

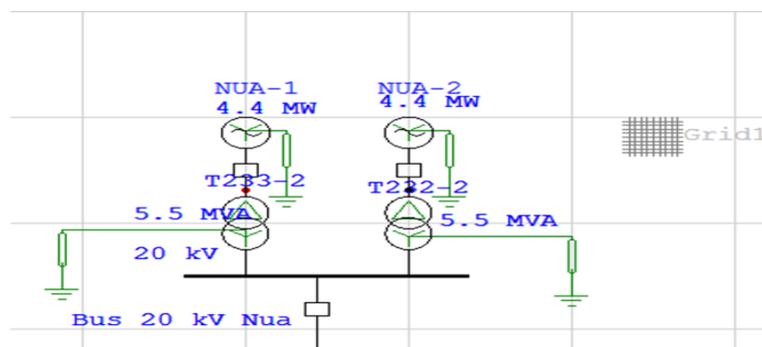
pemilihan pentanahan titik netral juga menggunakan perhitungan manual agar hasil yang didapatkan lebih akurat.



Gambar 1. Langkah Penelitian

## 2.2 Data Penelitian

Pada Gambar 2 data yang harus di peroleh untuk melakukan penelitian pemilihan pentanahan netral generator pada PLTMH Nua Ambon. Berikut ini data yang didapatkan :



Gambar 2. Konfigurasi Sistem Pentanahan PLTMH Nua Ambon

Tabel 1 menunjukkan data generator 2 x 4,4 MW di Nua Ambon yang terdiri dari daya aktif, daya semu, power faktor, poles, kecepatan motor (rpm), tegangan phasa-phasis, tegangan phasa netral dan arus nominal masing-masing generator.

**Tabel 1. Data Generator**

DATA GENERATOR PLTMH NUA		
ITEM	Generator NUA 1	Generator NUA 2
DAYA AKTIF	4,4 MW	4,4 MW
DAYA SEMU	5,176 MVA	5,176 MVA
POWER FACTOR (%)	80 %	80 %
POLES	10	10
RPM	600	600
TEGANGAN PHASA-PHASA	6,3 KV	6,3 KV
TEGANGAN PHASA-NETRAL	3,67 KV	3,67 KV
ARUS NOMINAL	504 A	504 A

### 2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Phasa ke Tanah

Rumus dalam perhitungan (Saadat, 1999):

$$\text{Impedansi dasar : } Z_d = (E_g)^2 / (S) \quad [\Omega]$$

$$X_d'' = (X_d'' / 100) \cdot Z_d \quad [\Omega]$$

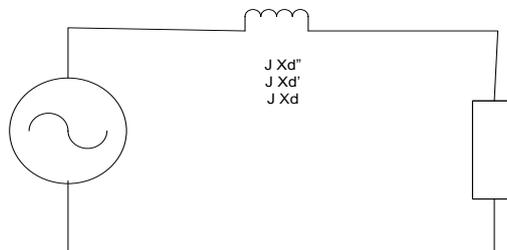
dimana :

$Z_d$  = Impedansi Dasar ( $\Omega$ )

$E_g$  = Tegangan 1 Phasa (V)

$S$  = Daya Semu (MVA)

$X_d''$  = Reaktansi Subtransient ( $\Omega$ )



**Gambar 3. Rangkaian Pengganti Gangguan Hubung Singkat 3 Phasa**

Gambar 3 menunjukkan saat terjadi gangguan hubung singkat pada generator akan timbul komponen arus bolak-balik (A) yang terdiri dari arus subtransien ( $X_d''$ ), arus transien ( $X_d'$ ), arus *steady state* (keadaan mantap) juga timbul komponen arus searah (DC). Sedangkan besar komponen arus bolak-balik tersebut adalah jumlah dari arus subtransien, arus transien, arus *steady state* adalah:

$$I_{AC} = E \left[ \frac{1}{X_d} + \left( \frac{1}{X_{d'}} - \frac{1}{X_{d''}} \right) e^{-\left(\frac{t}{T_d'}\right)} + \left( \frac{1}{X_{d''}} - \frac{1}{X_{d'}} \right) e^{-\left(\frac{t}{T_d''}\right)} \right] \quad (1)$$

besar komponen arus searah :

$$I_{DC} = (2E/X'') \left( e^{-\left(\frac{t}{T_a}\right)} \right) (\cos \alpha) \quad (2)$$

dimana :  $\alpha = \text{switching angle}$

Arus efektif akan maksimum pada saat  $t = 0$  dan arus searah akan maksimum bila  $t = 0$  dan  $\alpha = 0$ , maka :

$$I_{(maks)} = \left[ \left( \frac{E}{X_{d''}} \right)^2 + \left( \frac{2E}{X_{d''}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$I_{(maks)} = \sqrt{3} \left( \frac{E}{X_{d''}} \right) \quad (4)$$

Jadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada jepitan-jepitan generator adalah (Sasmita, 1995) :

$$I_{f3\phi} = \sqrt{3} \cdot (E_g / X_{d''}) \quad [A] \quad (5)$$

#### 2.4 Pemilihan Metoda Pentanahan Netral Generator

Pemilihan metoda pentanahan ditinjau berdasarkan data pada generator dan hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa ke tanah. Syarat-syarat pemilihan metoda pentanahan netral generator sebagai berikut (Hutahuruk, 1978):

- Pentanahan dengan tahanan rendah :  $R_0 \geq 2 X_0$  dan  $I_{FG} = 10\% - 25\%$  dari  $I_{f3\phi}$ .
- Pentanahan dengan tahanan tinggi :  $R_0 \leq X_{c0}/3$  dan  $I_{FG} = \text{kecil}$
- Pentanahan dengan reaktor :  $X_0 \leq X_1$  dan  $I_{FG} = 25\% - 60\%$  dari  $I_{f3\phi}$

#### 2.5 Perhitungan Nilai Tahanan (Resistansi) Rendah yang Digunakan

Dari syarat-syarat pada bab 3.4, sesuai hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa ke tanah maka penelitian ini memilih menggunakan metoda pentanahan dengan tahanan rendah dimana  $R_0 \geq 2 X_0$  dan  $I_{FG} = 10\% - 25\%$  dari  $I_{f3\phi}$ . Sehingga kita dapat menentukan nilai tahanan yang akan digunakan dengan memasukkan nilai arus nominal generator = 504 A :

$$R = \frac{V}{I} \quad (6)$$

Untuk menentukan daya Resistor :

$$P = I^2 \cdot R \quad (7)$$

dimana :

- R = Tahanan ( $\Omega$ )
- I = Arus (A)
- V = Tegangan (V)
- P = Daya generator (W)

#### 2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

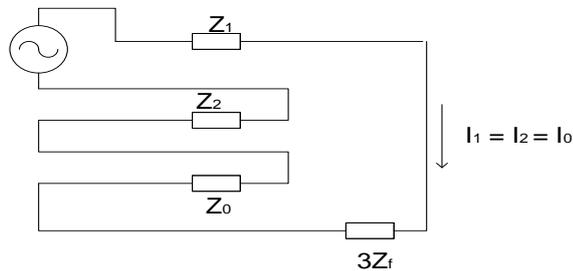
Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang terjadi pada generator :

$$I_{f1\phi} = 3 \cdot E_g / (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n) \text{ A} \quad (8)$$

dimana :

- $I_{f1\phi}$  = Arus gangguan 1 fasa ke tanah (A)
- $E_g$  = Tegangan 1 fasa (V)
- $Z_n$  = Impedansi ( $\Omega$ )
- $Z_0$  = Reaktansi urutan nol ( $\Omega$ )

$Z_1$  = Reaktansi urutan positif ( $\Omega$ )  
 $Z_2$  = Reaktansi urutan negatif ( $\Omega$ )



**Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Hubung Singkat 1 Phasa ke Tanah**

Pada Gambar 4 harga arus gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah ini tergantung pada harga  $Z_n$  atau tergantung pada impedansi pentanahan netral generator tersebut (s) (Agung, 2013).

### 2.7 Perhitungan Tegangan Langkah dan Tegangan sentuh sistem Grounding Grid.

Luas daerah pembangkit adalah 40 m x 30 m dengan letak peralatan seperti dalam gambar. Dengan memperhatikan luas dan situasi letak peralatan pada Gardu Induk, maka dapat diperkirakan susunan pentanahan grid yang akan dipasangkan. Arus hubungan singkat ketanah diketahui untuk menentukan besarnya arus maksimum yang mungkin mengalir dalam tanah akibat terjadinya hubungan singkat ketanah . Perencanaan sistem pentanahan pada gardu induk didasarkan pada standar "IEEE 80", dengan ukuran/langkah-langkah sebagai berikut (Hutahuruk, 1978):

- a. Pemeriksaan tahanan jenis tanah.
- b. Perencanaan pendahuluan tata letak (layout).
- c. Perhitungan arus fibrilasi.
- d. Menghitung jumlah batang pentanahan yang diperlukan
- e. Menghitung tegangan sentuh yang diizinkan.
- f. Menghitung tegangan sentuh maksimum sebenarnya.
- g. Menghitung tegangan langkah yang diizinkan.
- h. Menghitung tegangan langkah maksimum sebenarnya.

#### 2.7.1. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah nilai tahananannya dapat diperoleh dari kondisi dan jenis tanah yang ada disekitar garud induk. Pengukuran tahanan jenis tanah pada lokasi gardu induk diambil pada berapa lokasi pada areal, untuk menghitung tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \tag{9}$$

Keterangan :

- $\rho$  = Tahanan jenis rata-rata tanah. (Ohm-meter)
- $a$  = Jarak antara batang elektroda yang dekat (meter)
- $R$  = Besar Tahanan yang terukur. (Ohm)

**Tabel 2. Tahanan Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)
Tanah rawa	30
Tanah liat dan tanah lading	100
Pasir basah	200
Kerikil basah	500
Pasir dan kerikil kering	1000
Tanah berbatu	3000

Selain menggunakan perhitungan tahanan jenis tanah juga dapat dilihat dari Tabel 2 yang telah ditetapkan oleh PUIL 2000 (Janardana, 2005).

### 2.7.2 Jumlah Batang Pentanahan Yang Diperlukan

Pada waktu arus gangguan mengalir antara batang pentanahan dan tanah akan menjadi panas akibat arus  $I^2 \rho$ . Suhu tanah harus tetap dibawah 100 c, untuk menjaga jangan sampai terjadi penguapan air kandungan dalam tanah dan kenaikan tahanan jenis. Seluruh panjang batang pentanahan yang diperlukan dihitung dari pembagian arus gangguan ketanah

dengan kerapatan arus yang diizinkan, sedangkan jumlah batang pentanahan yang di tanahkan diperlukan dari pembagian panjang satu batang. Jadi bila besar arus gangguan ketanah (546) amper maka jumlah batang pentanahan minimum dengan panjang (3,5 meter).

### 2.7.3 Tegangan Sentuh Yang Diizinkan

Tegangan sentuh yang yang diizinkan dapat dihitung dengan terlebih dahulu mencari besaran-besaran berikut :

#### a) Arus Fibrilasi

Besarnya arus fibrilasi yang mengalir pada tubuh manusia keterangan arus listrik dapat menyebabkan jantung mulai fibrilasi dapat dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini:

$$K_{50} = 0,166 \text{ Ampere}$$

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (10)$$

Keterangan :

$I_k$  = Arus fibrilasi (Amp)

$t$  = Lama waktu gangguan (detik) = 0,75 detik.

Pada Gambar 5 lama waktu gangguan tergantung dari berapa faktor, antara lain statilitas, tipe switchyard dan tipe relay dan pemutusan daya yang digunakan. Sebegitu jauh belum ada standard mengenai lama waktu gangguan. Waktu yang dianggap realistis berkisar antara 0,5 detik sampai 1,0 detik. Pengambilan waktu 0,75 detik dianggap sudah memenuhi persyaratan dan cukup realistis. Maka nilai tegangan sentuh dapat dicari dengan memasukkan data :

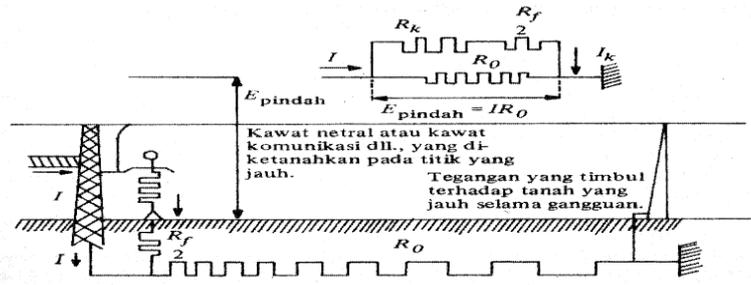
$I_k$  = Arus Fibrilasi = 0.164 A

$R_k$  = Tahanan Badan Manusia = 1000 Ohm/meter.

$ps$  = Tahanan Jenis Tanah =2500 ohm-m

Maka didapat tegangan sentuh yang diizinkan :

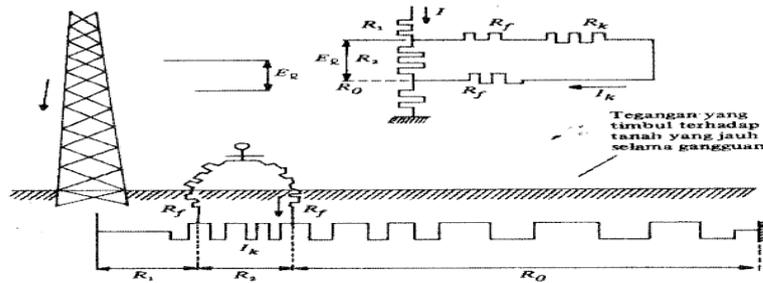
$$E_s = (R_k + 3 ps/2) I_k \quad (11)$$



**Gambar 5. Tegangan Sentuh Pada Pembangkit**

**2.7.4 Tegangan Langkah Yang Diizinkan**

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ketanah. Pada Gambar 6 dimisalkan jarak antara kedua kaki orang adalah 1 meter dan diameter kaki dimisalkan 8 cm dalam keadaan tidak memakai sepatu. Pada Gambar 6 diperlihatkan tegangan langkah yang dekat dengan peralatan yang diketanahkan



**Gambar 6. Tegangan Langkah Pada Pembangkit**

Dengan menggunakan rangkaian pengganti dapat ditentukan tegangan langkah sebagai berikut :

$$E_l = ( R_k + 2 R_f ) \cdot I_k$$

$$= ( 1000 + 6\psi_s ) \times 0,116/\sqrt{t}$$

$$E_l = \frac{116 + 0,696 \cdot \psi_s}{\sqrt{t}} \tag{12}$$

Keterangan :

- $E_1$  = Tegangan langkah (Volt)
- $R_k$  = Tahanan badan (orang ohm) = 1000  $\Omega$ .
- $R_f$  = Tahanan kontak ketanah dari satu kaki (dalam ohm) = 3 $\psi_s$
- $t$  = Waktu kejut (dalam detik)
- $\psi_s$  = tahanan jenis tanah

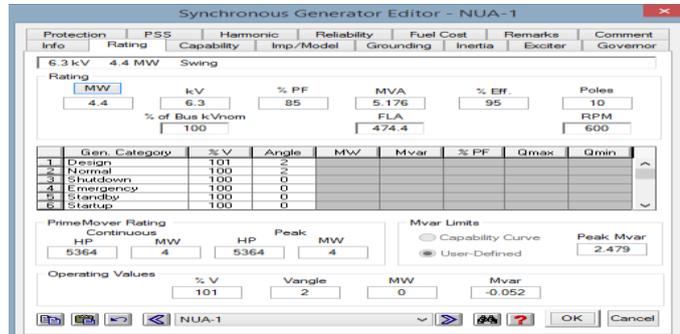
**2.8 Simulasi Hubung Singkat Generator Menggunakan ETAP 7**

Selain dengan cara perhitungan kita juga dapat mencari besar arus hubung singkat ke tanah dengan simulasi menggunakan software ETAP 7. Berikut cara menghitung arus hubung singkat dengan simulasi ETAP 7 :

a) Hubung Singkat 3 Fasa ke Tanah

Arus hubung singkat tiga fasa ke tanah dapat diketahui dengan memasukkan data generator, trafo dan beban-beban (Pada lampiran) seperti pada gambar 7. Setelah data-

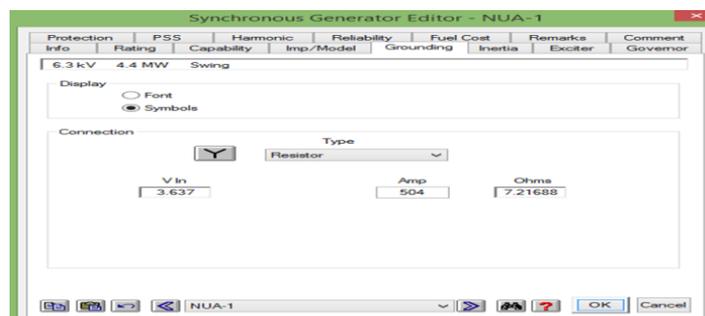
data tersebut telah dimasukkan kemudian menentukan short circuit analisis dengan mengatur short circuit study case sesuai titik gangguan yang akan ditinjau. Dalam tugas akhir ini titik yang ditinjau pada bus 203-2. Setelah itu rangkaian di *running* untuk melihat gangguan tiga fase ke tanah seperti pada gambar berikut :



Gambar 7. Tabel Pada ETAP 7 Untuk Input Data Generator

b) Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah dengan Metoda Pentanahan Menggunakan Reaktansi.

Pada Gambar 8 arus hubung singkat satu fasa ke tanah dengan metoda pentanahan menggunakan reaktansi dapat diketahui dengan memasukkan data generator, trafo dan beban-beban (Pada lampiran) serta pada titik netral generator dan trafo yang di hubungkan menggunakan reaktansi.

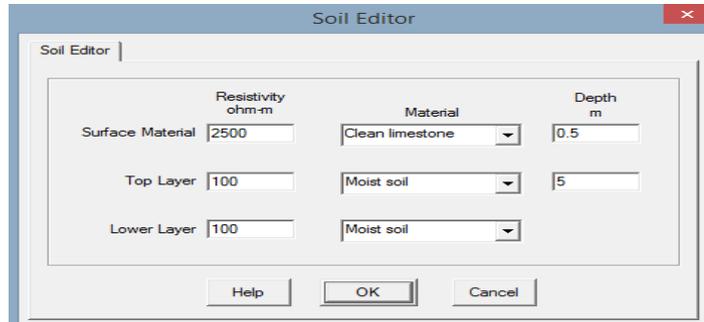


Gambar 8. Pemilihan Jenis Pentanahan Menggunakan Resistor Pada ETAP 7

## 2.9 Simulasi Grounding Grid Menggunakan ETAP 7

Dengan memperhatikan luas dan situasi letak peralatan pada Pembangkit, pada Gambar 9 dapat diperkirakan susunan pentanahan grid yang akan dipasangkan. Arus hubungan singkat ketanah diketahui untuk menentukan besarnya arus maksimum yang mungkin mengalir dalam tanah akibat terjadinya hubungan singkat ketanah. Perencanaan sistem pentanahan pada pembangkit ini didasarkan pada standar "IEEE 80", dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Memasukkan data arus hubung singkat satu phasa tanah
- a. Memasukkan data tahanan jenis tanah.
- b. Perencanaan pendahuluan tata letak (layout).
- c. Memasukkan jumlah batang pentanahan yang diperlukan

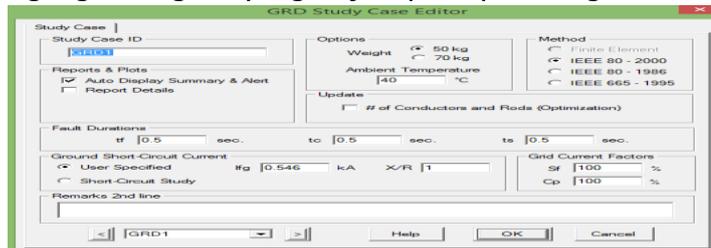


Gambar 9. Soil Editor ETAP 7

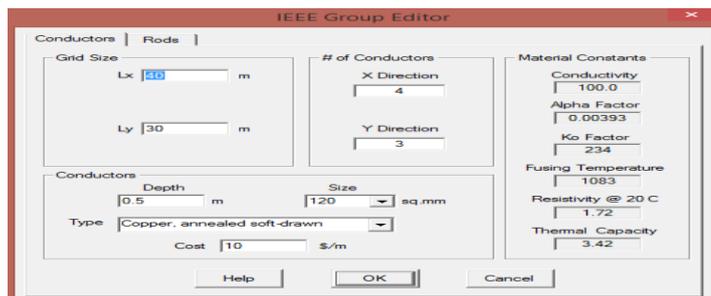
**2.9.1 Simulasi Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah**

a) Pada titik gangguan Bus 203-2

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 untuk menentukan tegangan sentuh dan tegangan langkah pada pembangkit maka dimasukkan data-data besar arus hubung singkat satu phasa ke tanah, luas area pembangkit, banyak elektroda yang terpasang dan dalam pentanahan elektroda pada kolom IEEE Group Editor, maka akan didapatkan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang terjadi pada pembangkit.



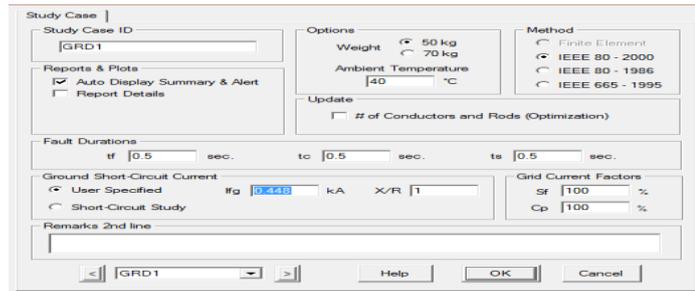
Gambar 10. Study Case Editor Titik Gangguan Bus 203-2 ETAP 7



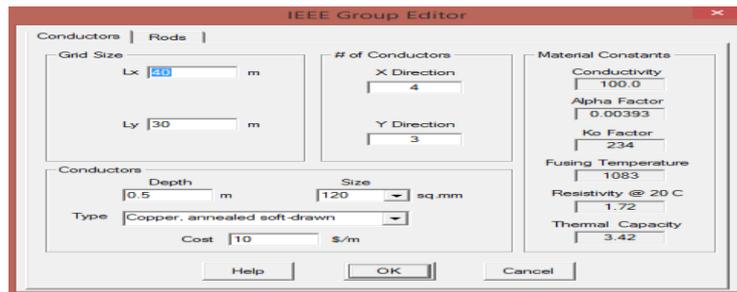
Gambar 11. IEEE Group Editor ETAP 7

b) Pada titik gangguan Bus 20 kV

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 dapat dilihat untuk menentukan tegangan sentuh dan tegangan langkah pada pembangkit maka dimasukkan data-data besar arus hubung singkat satu phasa ke tanah, luas area pembangkit, banyak elektroda yang terpasang dan dalam pentanahan elektroda pada kolom IEEE Group Editor, maka akan didapatkan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang terjadi pada pembangkit.



Gambar 12. Study Case Editor Titik Gangguan 20 kV ETAP 7



Gambar 13. IEEE Group Editor ETAP 7

### 3. HASIL PERHITUNGAN, SIMULASI DAN ANALISIS

#### 3.1 Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat

a) Pada Tabel 3 Hasil Perhitungan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

$$Z_d = (kV)^2 / (MVA)$$

$$X_d'' = (X_d / 100) \cdot I_d$$

$$I_{f3\phi} = I'' = \sqrt{3} \cdot (E_g / X_d'')$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Hubung Singkat 3 Fasa ke Tanah

KETERANGAN	SATUAN		
	OHM	VOLT	KA
$Z_d$	7.67		
$E_g$		3.64	
$X_d$	1.46		
$I_{f3\phi}$			4.32

b) Perhitungan Nilai Tahanan (Resistansi) Rendah yang Digunakan

Sesuai hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa ke tanah maka penelitian ini memilih menggunakan metoda pentanahan dengan tahanan rendah dimana  $R_0 \geq 2 X_0$  dan  $I_{FG} = 10\% - 25\%$  dari  $I_{3\phi}$ . Sehingga kita dapat menentukan nilai tahanan yang akan digunakan dengan memasukkan nilai arus nominal ( $I_n$ ) generator = 504 A :

$$R = \frac{V_{ln}}{I_n}$$

untuk menentukan daya Resistor :

$$P = I^2 \cdot R$$

Maka diperoleh nilai Tahanan (R) yang digunakan = 7,21  $\Omega$  dengan daya 1,9 MW sehingga nilai Tahanan (R) yang digunakan sesuai yang ada dipasaran yaitu 7,5  $\Omega$  dengan daya 2 MW.

- c) Pada Tabel 4 Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah Metoda Pentanahan Menggunakan Resistansi

$$X_0 = 0.01 \Omega$$

$$X_1 = 0.01 \Omega$$

$$X_2 = 0.02 \Omega$$

$$I_{f1\phi} = 3 (3637 + j 0) / (3Z_n + j(0.01 + 0.02) + 0.01) A \\ = (10911.92 + j 0) / (3Z_n + j 0,04) A$$

**Tabel 4. Hasil Perhitungan Hubung Singkat 1 Phasa ke Tanah**

KETERANGAN	SATUAN		
	OHM	AMPERE	VOLT
$Z_n$	7.21		
$I_{f1\phi}$		503.55	

### 3.2.1 Tahanan Jenis Tanah

Dari tabel data tahanan jenis tanah di dapatkan data tahanan jenis tanah adalah 2500 Ohm-meter dan nilai a = 10 meter.

a = Jarak antara batang elektroda yang dekat

R = Besar Tahanan yang terukur.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot aR$$

Dari persamaan diatas maka di dapatkan nilai R = 29,87 Ohm, sehingga tahanan jenis tanah = 2500 Ohm-meter.

### 3.2.2 Jumlah Batang Pentanahan Yang Diperlukan

Untuk menghitung jumlah batang pentanahan yang diperlukan maka kita harus menghitung kerapatan arus yang diizinkan pada permukaan batang pentanahan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$i = 3,14 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \theta}{\rho t}}$$

di mana :

i = kerapatan arus yang diizinkan (amp/cm)

d = diameter batang pentanahan (mm) = 20 mm (diambil)

$\delta$  = panas spesifik rata-rata tanah (kurang lebih  $1,75 \times 10^6$  watt- detik tiap  $m^3$ )

$\theta$  = kenaikan suhu tanah yang diizinkan ( $^{\circ}C$ ) =  $50^{\circ}C$  (diambil)

$\rho$  = tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

t = lama waktu gangguan = 0,75 detik

Maka kerapatan arus = 0,135 amp/cm

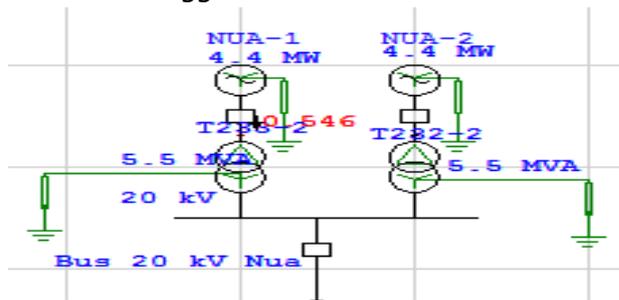
Jadi bila arus gangguan 503,54 Amper maka jumlah batang pentanahan minimum dengan panjang 3,5 meter :



Contribution		3-Phase Fault	
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms
Bus203-2	Total	0.00	4.640
Bus 20 kV Nua	Bus203-2	21.92	1.689
NUA-1	Bus203-2	100.00	2.951
Line97-2~	Bus 20 kV Nua	21.39	0.000
Bus202-2	Bus 20 kV Nua	42.78	0.519

Pada Tabel 5 memperlihatkan hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 phasa ke tanah yaitu sebesar 4,640 kA.

b) Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah Menggunakan Resistansi



Gambar 15. Simulasi Hubung Singkat 1 Phasa ETAP 7

Setelah menentukan titik gangguan yaitu pada Bus 203-2, maka simulasi dijalankan untuk mengetahui besar nilai gangguan satu phasa ke tanah seperti pada Gambar 15.

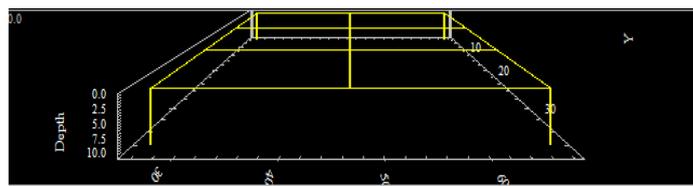
Tabel 6. Simulasi Hubung Singkat 3 Phasa ke Tanah

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus Va	Vb	Vc	kA Symm. rms Ia	Ib	Ic
Bus203-2	Total	0.00	4.640	0.00	166.17	177.34	0.546	0.546	
Bus 20 kV Nua	Bus203-2	21.92	1.689	99.24	102.65	104.38	0.132	0.000	
NUA-1	Bus203-2	100.00	2.951	100.00	100.00	100.00	0.415	0.546	
Line97-2~	Bus 20 kV Nua	21.39	0.000	96.82	100.15	101.84	0.000	0.000	
Bus202-2	Bus 20 kV Nua	42.78	0.519	99.32	98.13	101.70	0.035	0.000 *	

Pada Tabel 6 memperlihatkan hasil simulasi gangguan hubung singkat 1 phasa ke tanah yaitu sebesar 0,546 kA.

3.4 Simulasi Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Titik Gangguan Bus 203-2 Menggunakan ETAP 7

a) Setelah memasukkan data luas pembangkit dan banyaknya konduktor yang akan dipasang maka akan muncul design grounding grid pada pembangkit seperti pada Gambar 16 sebagai berikut:



Gambar 16. Design Grounding Grid menggunakan ETAP 7

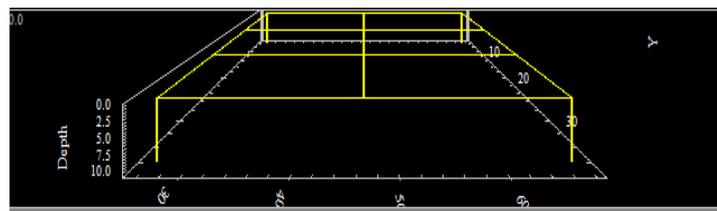
- b) Pada Gambar 17 setelah semua data-data telah dimasukkan maka akan dilakukan simulasi *grounding grid calculation*. Dari simulasi didapatkan nilai tegangan sentuh sebenarnya = 225,3 Volt sedangkan nilai tegangan sentuh yang diizinkan = 730,5 Volt, nilai tegangan langkah sebenarnya = 102,6 Volt sedangkan nilai langkah yang diizinkan = 2429,7 Volt.

Result Summary	
Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch 225.3	730.5
Step 102.6	2429.7
GPR 874.6 Volts	Rg 1.6 Ohm

**Gambar 17. Hasil Simulasi Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh**

### 3.5 Simulasi Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Titik Gangguan Bus 20 kV Menggunakan ETAP 7

- a) Pada Gambar 18 setelah memasukkan data luas pembangkit dan banyaknya konduktor yang akan dipasang maka akan muncul design grounding grid pada pembangkit sebagai berikut:



**Gambar 18. Design Grounding Grid menggunakan ETAP 7**

- b) Gambar 19 setelah semua data-data telah dimasukkan maka akan dilakukan simulasi *grounding grid calculation*. Dari simulasi didapatkan nilai tegangan sentuh sebenarnya = 225,3 Volt sedangkan nilai tegangan sentuh yang diizinkan = 730,5 Volt, nilai tegangan langkah sebenarnya = 102,6 Volt sedangkan nilai langkah yang diizinkan = 2429,7 Volt.

Result Summary	
Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch 184.8	730.5
Step 84.2	2429.7
GPR 717.6 Volts	Rg 1.6 Ohm

**Gambar 19. Hasil Simulasi Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh**

## 5. KESIMPULAN

1. Dalam penelitian ini diperoleh nilai  $I_{f3\phi} = 4,64$  kA dan  $I_{f1\phi} = 546$  A.
2. Jenis pentanahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pentanahan netral dengan menggunakan tahanan sebesar  $7,5 \Omega$  dengan daya 2 MW.
3. Dalam penelitian ini diperoleh  $E_s$  sebenarnya = 225,3 Volt lebih kecil dari nilai  $E_s$  yang diizinkan = 730,5 Volt dan  $E_l$  yang sebenarnya = 102,6 Volt lebih kecil dari nilai  $E_l$  yang diizinkan = 2429,7 Volt. Dengan demikian design pentanahan yang dilakukan telah memenuhi persyaratan.

4. Tegangan Langkah dan tegangan sentuh yang disimulasikan pada 2 titik gangguan yaitu pada bus 203-2 dan bus 20 kV mempunyai nilai besaran tegangan yang diizinkan adalah sama, sedangkan nilai tegangan sentuh yang sebenarnya pada titik gangguan bus 203-2 = 225,3 Volt,  $E_i = 102,6$  Volt dan pada titik gangguan bus 20 kV  $E_s = 184,8$  Volt,  $E_i = 84,2$  Volt. Terjadi perbedaan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada kedua titik gangguan yang telah ditentukan disebabkan oleh perbedaan nilai arus hubung singkat 1 phasa ke tanah pada masing-masing titik gangguan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Ir. T.S. Hutahuruk, M.E.E., 1978. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Institut Teknologi Bandung & Universitas Trisakti
- Hadi Saadat, 1999. *Power System Analysis*. Milwaukee School Of Engineering
- Sasmita. 1995. *Studi Pengetanahan Titik Netral Generator Sinkron*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Agung Triaji, Ryan. 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di PT. Saksama Cipta Daya Sindang Cai Subang*. Laporan Kerja Praktek Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Janardana, IGN. 2005. *Pengaruh Umur Pada Beberapa Volume Zat Aditif Betonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayan. Bali.