

**PERANCANGAN SISTEM PENGETANAHAN PERALATAN DI GARDU INDUK
PLTU IPP (INDEPENDENT POWER PRODUCER) KALTIM 3**

Jovie Trias Agung N¹, Drs. Ir. Moch. Dhofir, MT.², Ir. Soemarwanto, M.T.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

E-mail: jovienugroho@yahoo.com

Abstrak – Fungsi pengetanahan peralatan gardu induk tersebut ialah untuk membatasi tegangan yang timbul antara peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus gangguan yang mengalir dalam tanah. Skripsi ini berisi tentang perancangan sistem pengetanahan peralatan di gardu induk PLTU IPP KALTIM 3. Pada perancangan ini menggunakan sistem pentanahan *grid-rod* dengan membuat kombinasi antara jumlah *grid* dan *rod* yang kedalaman penanaman konduktornya bergantung dari nilai tahanan jenis tanah serta luas area pentanahan yang akan digunakan. Pada perancangan sistem pengetanahan gardu induk ini tahanan jenis tanah sebesar 650 ohm.meter, arus gangguan maksimum ketanah sebesar 7371.72 ampere, sehingga ukuran diameter konduktor yang digunakan sebesar 20.25 mm. Dengan panjang konduktor *grid* (L_C) sebesar 3386.6 meter dan panjang konduktor *rod* (L_R) sebesar 5472.0 meter dan ketebalan batu koral 0.12 meter, maka didapat tegangan sentuh (E_t) sebesar 708.50 volt, tegangan langkah (E_s) sebesar 829.78 volt dan tahanan pengetanahan (R_g) sebesar 3.936 ohm.

Kata Kunci – Pentanahan, Gardu Induk, Arus Gangguan Ketanah, Tegangan Sentuh, Tegangan Langkah, Tahanan Pengetanahan.

I. PENDAHULUAN

Kalimantan Timur merupakan daerah dengan pertumbuhan ekonomi tinggi di kawasan timur Indonesia yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan listrik dari tahun ke tahun. Saat ini konsumsi energi listrik di Kalimantan Timur sebagian besar bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). Sehingga penambahan pembangunan pembangkit listrik dirasakan perlu dilakukan. Salah satu pembangunan proyek yang sedang dilaksanakan adalah PLTU (Independent Power Producer) IPP KALTIM 3 dengan kapasitas 2x100 MW yang berlokasi di desa/kelurahan Tamapole Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

Pada pembangunan PLTU IPP KALTIM 3 ini akan di ikuti dengan pembangunan Gardu Induk.. Didalam Gardu Induk terdapat peralatan-peralatan

seperti *Current Transformer (CT)*, *Potential Transformer (PT)*, *Circuit Breaker (CB)*, *Disconnecting Switch (DS)*, *Earthing Switch (ES)*, *Busbar*, *Control Local Panel*, dan peralatan-peralatan lainnya. Gardu Induk harus dilengkapi dengan sistem pengetanahan peralatan yang baik. Fungsi dari pengetanahan peralatan Gardu Induk tersebut ialah untuk membatasi tegangan yang timbul antara peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus gangguan yang mengalir dalam tanah. Arus gangguan tanah yang mengalir di tempat gangguan maupun di tempat pengetanahan Gardu Induk menimbulkan tegangan di permukaan tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang melampaui batas-batas keselamatan manusia yang diijinkan.

Atas dasar latar belakang tersebut, maka dalam skripsi ini akan dilakukan perhitungan untuk menganalisis nilai dari tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah guna memenuhi standar keselamatan manusia yang telah ditentukan serta memperkecil tegangan permukaan tanah sehingga tegangan permukaan yang timbul tidak membahayakan baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan ketanah. Sistem pentanahan yang digunakan adalah *sistem grid-rod*, dimana sistem pentanahan *grid* dilakukan dengan cara menanamkan batang-batang konduktor sejajar dengan permukaan tanah pada kedalaman tertentu dan dibantu dengan batang-batang vertikal/*rod*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Arus Gangguan Ketanah

Arus gangguan ke tanah yang mengalir ditempat gangguan maupun ditempat pengetanahan Gardu Induk menimbulkan perbedaan tegangan di permukaan tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang dapat melampaui batas-batas keamanan manusia dan binatang.

Berdasarkan IEEE std 80 penentuan arus gangguan yang akan digunakan untuk merancang sistem pengetanahan. IEEE membatasi analisis arus gangguan ke tanah berdasarkan seringnya gangguan yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan 3 fasa.

1. Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Persamaan arus gangguan satu fasa ke tanah adalah

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{E_a}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad (1)$$

Karena :

$$I_f = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}, \text{ sehingga } I_f = 3 I_{a1} \quad (2)$$

2. Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Persamaan-persamaan saat gangguan tanah terjadi pada dua fasa adalah

$$I_{a1} = \frac{E_a}{(Z_1 + (Z_2 // Z_0))} \quad (3)$$

$$I_{a0} = - \left(\frac{Z_2}{(Z_2 + Z_0)} \right) \times I_{a1} \quad (4)$$

Maka besar arus gangguan ke tanahnya :

$$I_f = I_b + I_c \text{ atau } I_f = 3 I_{a0} \quad (5)$$

3. Gangguan Tiga Fasa

Besar arus gangguan tiga fasa terjadi pada fasa a, b dan c (Sulasno, 1993 : 201) adalah :

$$I_f = I_a = I_b = I_c = \frac{E}{Z_1} \quad (6)$$

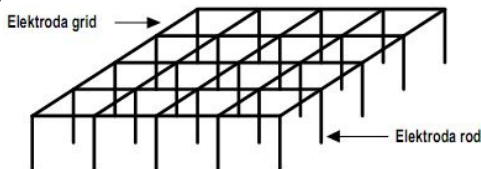
B. Ukuran Konduktor

Untuk ukuran penghantar yang mampu menahan besarnya titik lebur sehingga dirancang menggunakan penghantar tembaga yang solid, maka luas penampang konduktor minimum pengetanahan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan

$$A = I_f \times \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_f \cdot a_r \cdot p_r} \right) \ln \left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right)}} \quad (7)$$

C. Tahanan Pengetanahan

Menurut Schwarz's nilai tahanan sistem pengetanahan gabungan / *Grid-Rod* (R_g) dapat ditentukan dengan cara menentukan terlebih dahulu tahanan pengetanahan *Grid* (R_1) tahanan pengetanahan Rod (R_2) dan tahanan pengetanahan bersama (R_m) sebagai berikut:



Gambar 1 Pentanahan Sistem *Grid-Rod*

Sumber :IEEE std 80, 2000 : 168

Tahanan pengetanahan *grid* (R_1) menggunakan Persamaan

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{a'} \right) + \frac{K_1 \times L_C}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (8)$$

Tahanan pengetanahan *rod* (R_2) menggunakan Persamaan

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 \times L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] \quad (9)$$

Tahanan pengetanahan bersama (R_m) menggunakan Persamaan

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{L_r} \right) + \frac{K_1 \times L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad (10)$$

Sehingga total untuk nilai tahanan pengetanahan untuk sistem gabungan / *Grid-Rod* (R_g) dapat menggunakan persamaan

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (11)$$

dengan :

R_g : Tahanan pengetanahan (Ω)

ρ : Tahanan jenis tanah (Ω -m)

L_C : Panjang total konduktor *grid* (m)

A : Luas area sistem pengetanahan (m^2)

L_R : Panjang total konduktor *rod* (m)

L_r : Panjang batang konduktor *rod* (m)

n_R : Jumlah konduktor batang / *rod*

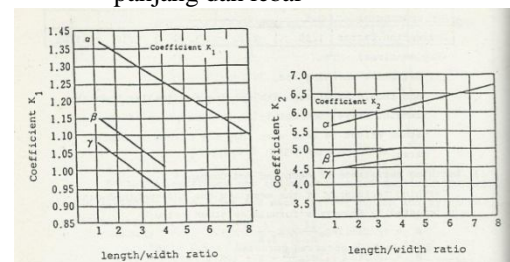
a' : $\sqrt{a \times 2h}$, untuk konduktor yang ditanam pada kedalaman h

h : Kedalaman penanaman konduktor (m)

a : Diameter konduktor pengetanahan *grid* (m)

b : Diameter konduktor pengetanahan *rod* (m)

K_1 dan K_2 : oefisien yang tergantung dari perbandingan panjang dan lebar

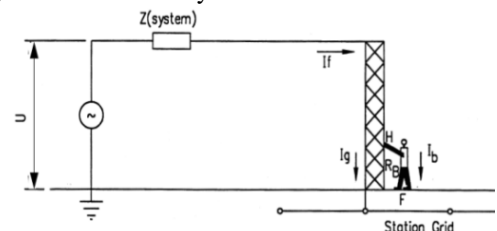


Gambar 2 Grafik hubungan antara koefisien K_1 dan K_2 dengan perbandingan panjang dan lebar.

Sumber :The New Japan Engineering Consultants, 1989 : 128

D. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian yang berada di bawahnya.



Gambar 3 Tegangan Sentuh

Sumber : IEEE std 80, 2000 : 17

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg yang berada diantara satu objek dapat dihitung tegangan sentuh pada persamaan dibawah ini :

$$E_{t70} = (1000 + 1.5Cs \times \rho s) \frac{0.157}{\sqrt{t_f}} \quad (12)$$

$$E_{t50} = (1000 + 1.5Cs \times \rho s) \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \quad (13)$$

Dengan :

E_{t50} : Tegangan sentuh untuk berat badan manusia 50 kg

E_{t70} : Tegangan sentuh untuk berat badan manusia 70 kg

Cs : Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah

ρs : Tahanan jenis permukaan material (lapisan batu koral), (Ohm-m)

t_f : Durasi/lama gangguan (waktu pemutusan), (s)

E. Tegangan Sentuh Sebenarnya

Tegangan mesh ini menyatakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yang dapat dijumpai dalam sistem pengetanahan Gardu Induk, dan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk perancangan aman. Tegangan mesh dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_t = \frac{\rho \times K_m \times K_i \times I_f}{L_m} \quad (14)$$

Dengan :

E_t : Tegangan sentuh (volt)

ρ : Tahanan jenis tanah (Ω -m)

K_i : Faktor ketidakmerataan kerapatan arus

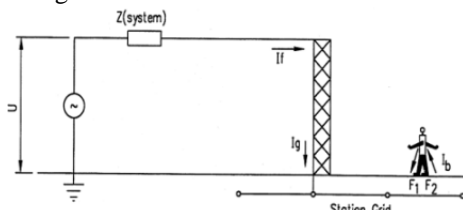
K_m : Faktor geometrik tegangan mesh

I_f : Arus gangguan ke tanah (A)

L_m : Panjang total penanaman konduktor efektif

F. Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus tembus ke tanah.



Gambar 4 Tegangan Langkah
Sumber : IEEE std 80, 2000 : 19

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg dapat dihitung tegangan langkah pada persamaan ini.

$$E_{s70} = (1000 + 6Cs \times \rho s) \frac{0.157}{\sqrt{t_f}} \quad (15)$$

$$E_{s50} = (1000 + 6Cs \times \rho s) \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \quad (16)$$

G. Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah terbesar sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$E_s = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_f}{L_s} \quad (17)$$

Dengan :

K_s : Faktor Geometrik Tegangan Langkah

L_s : Total panjang efektif konduktor yang ditanamkan

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Kajian penulis atas referensi-referensi yang ada baik berupa buku maupun karya-karya ilmiah yang berhubungan dengan penulisan laporan ini.

B. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan antara lain: gambar rancangan PLTU, data tahanan jenis tanah serta data teknis generator dan trafo.

C. Analisis Dan Perhitungan

1. Analisis Tahanan Jenis Tanah

Analisis tahanan jenis tanah dilakukan untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah yang sesuai berdasarkan kedalaman penanaman konduktor.



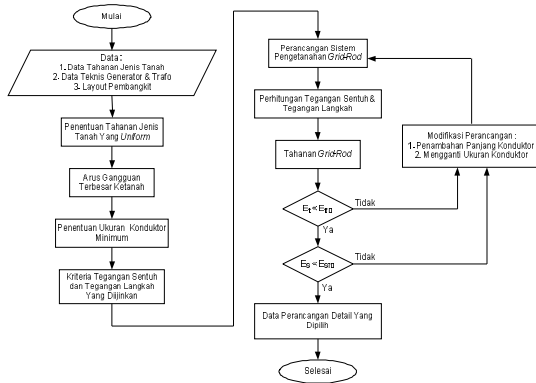
Gambar 5 Diagram Alir Analisis Tahanan Jenis Tanah

2. Analisis Arus Gangguan Ketanah

Data arus gangguan terbesar ke tanah akan digunakan sebagai data masukan untuk perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah pada sistem pengetanahan peralatan area Gardu Induk pada PLTU IPP KALTIM 3

3. Analisis Perancangan Pengetanahan Peralatan Di Gardu Induk

Langkah – Langkah dalam perancangan sistem pengetanahan diperlihatkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 6 Blok Diagram Perancangan

D. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Sebagai akhir dari kegiatan penyusunan skripsi ini disusunlah suatu kesimpulan dari semua proses analisis yang telah dilakukan serta saran sebagai pertimbangan untuk pengembangan selanjutnya

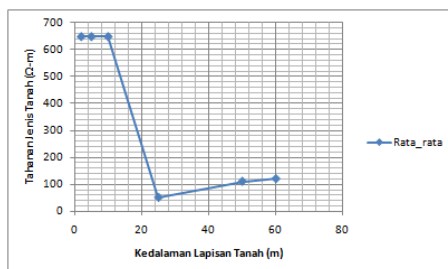
IV. PEMBAHASAN

A. Penentuan Tahanan Jenis Tanah Yang Uniform

Hasil analisis nilai rata-rata tahanan jenis tanah pada area PLTU IPP KALTIM 3 pada setiap kedalaman ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahanan Jenis/Resistivitas lapisan tanah pada kedalaman tertentu

No	Kedalaman (m)	Resistivitas Rata-Rata ($\Omega \cdot m$)
1	2	650
2	5	650
3	10	650
4	25	50
5	50	110
6	60	120

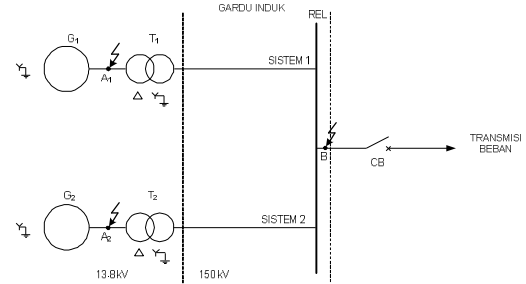


Gambar 7. Grafik Rata-Rata Tahanan Jenis Tanah Setiap Kedalaman

Untuk perhitungan tahanan jenis pengetanahan peralatan dibutuhkan nilai tahanan jenis yang *uniform*. Untuk itu pada perancangan menggunakan tahanan jenis tanah sebesar 650 $\Omega \cdot m$

B. Penentuan Arus Gangguan Maksimum

Diagram garis tunggal untuk unit pembangkit baru yang akan dibangun.



Gambar 8. Diagram Garis Tunggal Unit Pembangkit Baru

Hasil perhitungan arus gangguan ketanah pada Sistem Gardu Induk PLTU IPP KALTIM 3 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan arus gangguan disetiap titik gangguan.

TITIK GANGGUAN	ARUS GANGGUAN (A)		
	1 ϕ - G	2 ϕ - G	3 ϕ
A ₁	6040.42	7371.72	5102.08
A ₂	6040.42	7371.72	5102.08
B	4695.82	5918.50	3891.81

C. Ukuran dan Jenis Konduktor Pengetanahan

Jenis konduktor yang akan digunakan untuk perancangan sistem pengetanahan peralatan untuk gardu induk adalah konduktor tembaga berlilit tipe *hard-drawn*.

$$A = I_f \times \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_f \times a_r \times p_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

$$= 7371.72 \times \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3.42 \times 10^{-4}}{1 \times 0.00381 \times 1.78}\right) \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 30}\right)}} = 26.384 \text{ mm}^2$$

Untuk memudahkan perancangan pengetanahan, maka ukuran konduktor disesuaikan dengan yang ada dipasaran, sehingga luas penampang konduktor adalah (A_k) 35 mm^2 dan ukuran diameter konduktor (d) sebesar 7.56 mm

D. Tegangan Langkah dan Sentuh yang Diijinkan

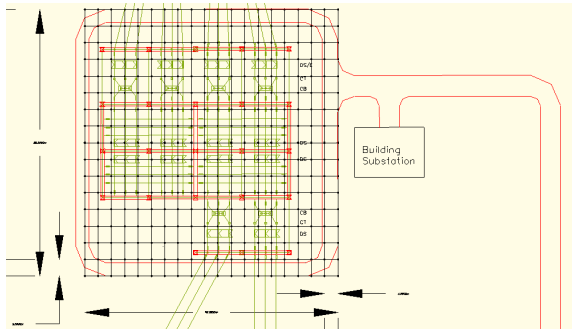
Ketebalan batu koral mempengaruhi nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diijinkan. IEEE merekomendasikan ketebalan lapisan batu koral antara 0.08 sampai 0.15 meter dengan waktu lama gangguan 1 detik.

Tabel 3. Tegangan sentuh dan langkah yang diijinkan pada seseorang dengan berat 50 dan 70 kg untuk masing-masing ketebalan batu koral

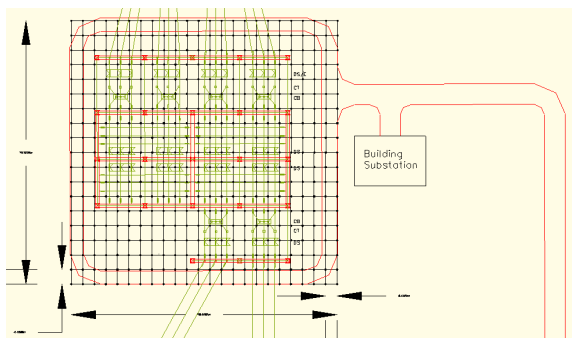
No.	Ketebalan batu koral (As)	Faktor reduksi (Cs)	E ₁₅₀ (volt)	E ₁₇₀ (volt)	E ₁₅₀ (volt)	E ₁₇₀ (volt)
1.	0.08 meter	0.7180	490.8	664.3	1615.2	2186.1
2.	0.09 meter	0.7389	501.7	679.0	1658.8	2245.1
3.	0.10 meter	0.7569	511.1	691.7	1696.4	2296.0
4.	0.11 meter	0.7726	519.3	702.8	1729.1	2340.3
5.	0.12 meter	0.7864	526.5	712.6	1757.9	2379.3
6.	0.13 meter	0.7986	532.9	721.2	1783.4	2413.8
7.	0.14 meter	0.8095	538.5	728.9	1806.2	2444.5
8.	0.15 meter	0.8192	543.6	735.8	1826.6	2472.1

E. Analisis Perancangan Sistem Pengetanahan Peralatan Di Gardu Induk

Penentuan perancangan sistem pengetanahan peralatan untuk Gardu Induk baru berdasarkan tata letak peralatan-peralatan pada Gardu Induk tersebut. Pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan sistem perancangan pengetanahan peralatan pada area Gardu Induk.



Gambar 9. Perancangan *Grid-Rod 1* (Awal)



Gambar 10. Perancangan *Grid-Rod 2*

Berdasarkan perancangan yang telah dirancang, untuk data perancangan sistem pengetanahan peralatan serta proses perbaikan setiap perancangan dapat ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan nilai tegangan langkah maksimum, tegangan sentuh maksimum dan tahanan pengetanahan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Data Perancangan Setiap Proses Perbaikan

No	Perbaikan Perancangan	Jenis Data	Nilai Komponen (meter)
1	Perancangan <i>Grid-Rod 1</i>	Panjang Konduktor Keseluruhan (L _T)	6972.0
		Panjang Total Konduktor <i>Grid</i> (L _C)	2892.0
		Panjang Total Konduktor <i>Rod</i> (L _R)	4080.0
		Jarak Antar Konduktor Terbesar (D _{max})	5.0
		Jarak Antar Konduktor Terbesar (D _{min})	4.0
2	Perancangan <i>Grid-Rod 2</i>	Panjang Konduktor Keseluruhan (L _T)	8858.6
		Panjang Total Konduktor <i>Grid</i> (L _C)	3386.6
		Panjang Total Konduktor <i>Rod</i> (L _R)	5472.0
		Jarak Antar Konduktor Terbesar (D _{max})	4.4
		Jarak Antar Konduktor Terbesar (D _{min})	3.4

Tabel 5. Perhitungan Tegangan Langkah, Tegangan Sentuh dan Tahanan Pengetanahan Setiap Perbaikan Perancangan.

No	Jenis Perancangan	Tegangan Sentuh (volt)	Tegangan Langkah (volt)	Tahanan Pengetanahan (ohm)
1	Perancangan <i>Grid-Rod 1</i>	1154.91	871.34	4.061
2	Perancangan <i>Grid-Rod 2</i>	950.74	829.78	3.970

Berdasarkan Tabel 5 untuk nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah terkecil terdapat pada Perancangan *Grid-Rod 2* yaitu sebesar 827.30 volt untuk tegangan sentuh dan 731.24 volt untuk tegangan langkah. Tetapi dengan membandingkan hasil perhitungan pada Tabel 3 maka nilai untuk Perancangan *Grid-Rod 2* tidak memenuhi persyaratan walaupun menggunakan ketebalan batu koral 0.15 meter.

Untuk mendapatkan tegangan sentuh dan tegangan langkah yang kecil yaitu dengan mengganti ukuran konduktor yang lebih besar dari ukuran sebelumnya dengan dasar data perancangan *Grid-Rod* yang sama, maka dalam proses perancangan yang telah dilakukan didapatkan ukuran konduktor sebesar 240 mm². Untuk nilai tegangan sentuh maksimum, tegangan langkah maksimum dan tahanan pengetanahan dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

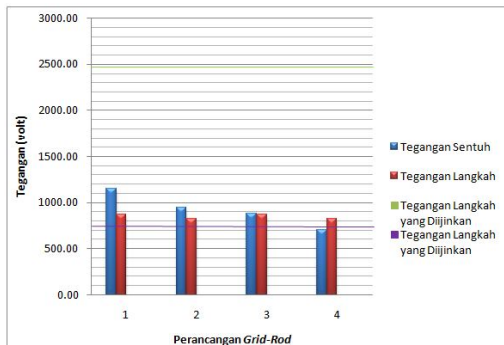
Tabel 6. Perhitungan Tegangan Langkah, Tegangan Sentuh dan Tahanan Pengetanahan Dengan Mengganti Ukuran Konduktor

No	Jenis Perancangan	Tegangan Sentuh (volt)	Tegangan Langkah (volt)	Tahanan Pengetanahan (ohm)
Ukuran Konduktor 240 mm ²				
1	Perancangan <i>Grid-Rod 3</i>	878.81	871.34	4.021
2	Perancangan <i>Grid-Rod 4</i>	708.50	829.78	3.936

Berdasarkan Tabel 6 Perancangan *Grid-Rod 4* sudah memenuhi persyaratan untuk keselamatan manusia berdasarkan Tabel 3 yaitu untuk tegangan sentuh (E₁₇₀) maksimum yang diijinkan sebesar 735.8 volt dan untuk tegangan langkah (E_{S70}) maksimum yang diijinkan sebesar 2472.1 volt dengan ketebalan batu koral 0.15 meter. Maka dalam perancangan *Grid-Rod 4* cukup menggunakan ketebalan batu koral

sebesar 0.12 meter dengan tegangan sentuh (E_{t70}) sebesar 712.6 volt dan tegangan langkah (E_{s70}) sebesar 2379.3 volt.

Untuk mengetahui perbandingan tegangan sentuh terbesar dan tegangan langkah terbesar sebelum dan sesudah penggantian ukuran konduktor dapat dilihat pada Gambar 11 dan data lengkap perancangan ditunjukkan pada Tabel 7.



Gambar 11. Grafik Tegangan Setiap Perbaikan Perancangan

Tabel 7. Data lengkap hasil perancangan sistem pengetanahan peralatan untuk Gardu Induk baru (Perancangan *Grid-Rod* 4)

No.	Data Desain	Keterangan
1.	Luas daerah yang dilingkupi sistem pengetanahan (A)	6193.4 m ²
2.	Total panjang konduktor horisontal/ <i>grid</i> (L_C)	3386.6 m
3.	Total panjang konduktor vertikal/ <i>rod</i> (L_R)	5472.0 m
4.	Jarak paralel antar konduktor terbesar (D_{maks})	4.4 m
5.	Jarak paralel antar konduktor terkecil (D_{min})	3.4 m
6.	Panjang <i>grid</i> terbesar sumbu x (L_x)	78.2 m
7.	Panjang <i>grid</i> terbesar sumbu y (L_y)	79.2 m
8.	Tahanan jenis permukaan material / lapisan batu koral (ρ_s)	3000 Ω -m
9.	Ketebalan permukaan material (h_s)	0.12 m
10.	Kedalaman penanaman konduktor <i>grid</i> (h)	1 m
11.	Kedalaman penanaman konduktor <i>rod</i> (h)	12 m
12.	Jenis Konduktor pengetanahan	Tembaga berlilit <i>hard-drawn</i>
13.	Diameter konduktor <i>grid</i> (d)	20.25 mm
14.	Diameter konduktor <i>rod</i> (d)	16 mm

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis terhadap perancangan sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk untuk unit pembangkit baru di PLTU IPP KALTIM 3 dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis tahanan jenis tanah menggunakan model lapisan tanah seragam didapatkan nilai tahanan jenis rata-rata sebesar 650 ohm-meter sehingga dalam perancangan digunakan elektroda batang/*rod* berdiameter 16

mm dengan kedalaman batang konduktor 12 meter. Nilai tahanan pengetanahan dari perancangan sistem pengetanahan sebesar 3.936 ohm. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan dengan tahanan pengetanahan maksimum yang direkomendasikan oleh IEEE yaitu sebesar < 5 ohm.

2. Berdasarkan hasil analisis arus gangguan ketanah yaitu pada 1 fasa ketanah sebesar 6040.42 ampere dan 2 fasa ketanah sebesar 7371.72 ampere, maka yang digunakan sebagai dasar perancangan sistem pengetanahan adalah sebesar 7371.72 ampere. Konduktor *grid* menggunakan jenis konduktor tembaga berlilit tipe *hard-drawn* dengan diameter 20.25 mm.
3. Dengan panjang total konduktor *grid* (L_C) sebesar 3386.6 meter dan panjang total konduktor *rod* (L_R) sebesar 5472 meter didapat tegangan sentuh dan tegangan langkah maksimum dari hasil analisis perancangan sistem pengetanahan peralatan adalah sebesar 708.50 volt untuk tegangan sentuh yang nilai tersebut memenuhi persyaratan dengan nilai di bawah tegangan sentuh yang diijinkan yaitu sebesar 712.6 volt dan 829.78 volt untuk tegangan langkah yang nilai tersebut memenuhi persyaratan dengan nilai di bawah tegangan langkah yang diijinkan yaitu sebesar 2379.3 volt dengan ketebalan batu koral 0.12 meter.

B. Saran

Dari hasil perhitungan dan analisis terhadap perancangan sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk di PLTU IPP KALTIM 3 yang telah dilakukan ada beberapa saran untuk perancangan sistem pengetanahan yang baik untuk kedepannya yaitu

1. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan nilai tahanan penanahan yang lebih kecil dengan penambahan zat aditif berupa garam, air, bentonit dan lain-lain.
2. Arus gangguan ke tanah terbesar dapat menggunakan bantuan software apabila mencangkup sistem yang besar dan kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutaeruk, T.S. 1999. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- [2] IEEE Std. 80.2000. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. USA
- [3] Stevenson, William D., Jr. 1993. Terjemahan : Ir. Kamal Idris. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat, Penerbit Erlangga. Jakarta.
- [4] Sulasno. 1993. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Satya Wacana, Semarang.