Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

ANALISIS PENGARUH GEOTEKSTIL PADA PEMBUMIAN PLTMG TANJUNG SELOR 15 MW

Mohammad Amir dan Ari Suryani
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains dan Teknologi Nasional

ABSTRAK

Pada pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Gas (PLTMG) di Tanjung Selor dengan kapasitas 15 MW, dilakukan perhitungan ulang perancangan sistem pembumiannya karena pihak perencana sipil menggunakan geotekstil sebagai bahan perkuatan tanah. Geotekstil yang bersifat isolator listrik dan tanah timbunan yang memiliki struktur lebih padat, membuat resistivitas tanahnya menjadi lebih tinggi.Hal itu membuat sistem pembumiannya tetap menggunakan tanah asli sebagai media, namun elektrode ditanam lebih dalam.Dari hasil perhitungan ulang sistem pembumian, didapatkan tahanani lebih kecil dari sebelumnya yaitu 0,474 Ohm.

Kata Kunci : Sistem Pembumian, Geotekstil, Resistivitas tanah.

ABSTRACT

In the construction of a PLTMG in Tanjung Selor with a capacity of 15 MW, the re-calculation of the grounding system is planned since the civil planners use geotextiles as a soil reinforcement material. Geotextiles that are electrical insulators and soil deposits that have more dense structures, make the soil resistivity becomes higher. It keeps the grounding system in the original soil as a medium, but the electrode is planted deeper. From the recalculation of the grounding system, the resistance obtained is smaller than the previous 0.474 Ohm.

Keywords: Grounding System, Geotextile, Soil Resistivity.

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

1. Pendahuluan

Pada sistem pembumian PLTMG Tanjung Selor 15 MW dilakukan penghitungan ulang karena pihak konstruksi sipil mengubah desain konstruksi gedung. Pihak perencana sipil menambahkan geotekstil sebagai penguatan fondasi. Hal ini dilakukan karena kondisi tanah yang terlalu basah dan lunak sehingga tanah tersebut tidak cukup kuatuntuk dijadikan fondasi.

Penambahan penggunaan geotekstil ini kemungkinan akan memengaruhi hasil perhitungan dari sistem pembumiannya. Data tahanan jenis tanah didapatkan dengan menggunakan metode pengukuran geolistrik tahanan jeniskonfigurasi *Schlumberger*. Berdasarkan datadari kondisi di lapangan, diharapkan terdapat perbedaan setelah digunakan geotekstil pada permukaan tanah agar dapat dianalisis.

2. Konsep Dasar Pembumian

Pembumian merupakan suatu mekanisme dimana daya listrik dihubungkan langsung dengan tanah (bumi). Sedangkan sistem pembumian merupakan suatu sistem yang terpenting dalam sistem tenaga listrik guna mengamankan terhadap adanya gangguan dari dalam maupun luar.

Sistempembumian ini memiliki dua jenis pemasangan penghantar diantaranya sistem *grid* (horizontal) dan sistem *rod* (vertikal). Adapun penjelasan dari sistem *grid* dan sistem *rod* adalah sebagai berikut:

a. Sistem *Grid*

Sistem pembumian *grid* dilakukan dengan cara menanamkan batang-batang elektrode tersebut terhubung satu dengan yang lainnya menggunakan konduktor, sehingga membentuk beberapa buah *mesh*.

b. Sistem *Rod*

Pembumian *rod* atau batang adalah sistem yang menggunakan elektrode berbentuk batang, dapat berupa pipa logam, batang logam bulat pejal (atau *copper rod, copper weld steel rod*) yang dipancangkan tegak lurus kedalam tanah. Untuk memperoleh nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil, biasanya elektrode ini dipasang secara paralel dengan beberapa elektrode batang lainnya. Jarak penanaman yang efektif antara dua elektrode adalah dua kali panjang elektrode batang yang ditanam.

Nilai tahanan tanah untuk gardu induk dan stasiun pembangkit biasanya kurang dari 1 Ohm. Sedangkan untuk gardu induk jaringan distribusi rendah biasanya harga tahanan tanah bernilai 1 sampai 5 Ohm tergantung pada keadaan sekitar. Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, tahanan pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm. Untuk daerah yang

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

memiliki tahanan tinggi, pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 10 Ohm.

3. Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah ataupun akibat injeksi arus ke dalam bumi.

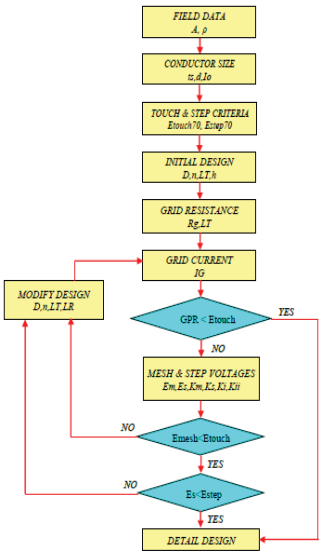
Pada metode geolistrik tahanan jenis ini, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektrode arus. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektrode potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektrode yang berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan dibawah titik ukur.

Metode resistivitas konfigurasi *Schlumberger* dilakukan dengan cara mengkondisikan spasi antarelektrode potensial adalah tetap sedangkan spasi antarelektrode arus berubah secara bertahap (Sheriff, 2002).

Pengukuran resistivitas pada arah vertikal atau *Vertical Electrical Sounding* (VES) merupakan salah satu metode geolistrik resistivitas untuk menentukan perubahan resistivitas tanah terhadap kedalaman yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal (Telford, *et al*., 1990).

4. Tahapan Perancangan Sistem Pembumian

Menurut IEEE-80 tahun 2000, tahapan perancangan sistem pembumian terdiri dari 8 langkah. Gambar 2.9 merupakan diagram alir prosedur perancangan dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 4.1
Diagram Alir Tahapan
Perancangan Sistem Pembumian

a. Mencari Data Lapangan

b. Menghitung Ukuran Penghantar

Hubungan arus gangguan dengan luas penampang elektrode yaitu:

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

$$A=\frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{tc\ \alpha r\ \rho r}\right)In\left(\frac{Ko+Tm}{Ko+Ta}\right)}}$$

(IEEE Std.80-2000)

Persamaan tegangan sentuh dan langkah maksimum setelah memperhitungkan faktor reduksi dan arus minimum dengan mempertimbangkan berat rata rata orang dewasa sebesar 70 kg adalah:

$E_{sentuh70}=(1000 + 1{,}5\ Cs\rho s)\frac{0{,}157}{\sqrt{ts}}$

(IEEE Std-80-2000)

$E_{langkah70}=(1000 + 6\ Cs\ \rho s)\ \frac{0{,}157}{\sqrt{ts}}$

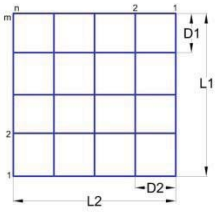
(IEEE Std-80-2000)

Untuk mendapatkan nilai faktor reduksi C_s dilakukan perhitungan melalui persamaan dibawah ini:

$$C_s = 1 - \frac{0{,}09\ (1-\frac{\rho}{\rho s})}{2hs+0{,}09}$$

(IEEE Std-80-2000)

c. Menetapkan Rancangan Awal



Gambar 2.11
Tata Letak Sistem Pembumian *Grid*

Untuk menghitung total dari keseluruhan elektrode pembumian dengan menggunakan persamaan berikut:

$L_T = L_c + L_R$

Total panjang elektrode mendatar dapat dihitung melalui persamaan:

$L_c = L_1\ n + L_2\ m$

Sedangkan untuk total panjang elektrode pembumian tegak adalah:

$L_R = L_r \times n_r$

d. Menghitung Tahanan Pembumian

Tahanan pembumian total dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$R_g = \frac{R1\ R2 - Rm^2}{R1+R2-2Rm}$$

(IEEE Std-80-2000)

Nilai tahanan pembumian mendatar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi Lc}\left[In\left(\frac{2\ Lc}{a\prime}\right) + \frac{k1\ Lc}{\sqrt{A}} - k_2\right]$$

(IEEE Std-80-2000)

Nilai tahanan pembumian tegak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

$R_2 = \frac{\rho}{2\pi\, nr\, LR}[\ \text{In}\ (\frac{4\, LR}{b}) - 1 + \frac{2k1\, Lr}{\sqrt{A}}(\sqrt{nr} - 1)^2\ ]$

(IEEE Std-80-2000)

Nilai tahanan pembumian antara mendatar dengan tegak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$R_m = \frac{\rho}{\pi\, Lc}\ [\text{In}\ (\frac{2\, Lc}{Lr}) + \frac{k1\, Lc}{\sqrt{A}} - k_2 + 1]$

(IEEE Std-80-2000)

e. Menghitung Arus *Grid* Maksimum

Arus *grid* maksimum dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$I_G = D_f \times I_g$

(IEEE Std-80-2000)

Nilai dari faktor pelemahan dapat menggunakan persamaan:

$D_f = \sqrt{1 + \frac{Ta}{tf}(1 - e^{\frac{-2tf}{Ta}})}$

(IEEE Std-80-2000)

f. Menghitung Kenaikan Potensial Bumi

Kenaikan potensial bumi akibat mengalirnya arus *grid* pada sistem yang dibumikan, dan besarnya dihitung menggunakan persamaan:

$GPR = I_G \,.\, R_g$

(IEEE Std-80-2000)

g. Menghitung Tegangan *Mesh* dan Tegangan Langkah

Tegangan *mesh* adalah tegangan sentuh maksimum yang terjadi antara elektrode pembumian mendatar, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$E_{mesh} = \frac{\rho\,.\,IG\,.\,Km\,.\,Ki}{Lc + \left[1{,}55 + 1{,}22\left(\frac{Lr}{\sqrt{Lx^2 + Ly^2}}\right)\right].\ LR}$

(IEEE Std-80-2000)

Nilai faktor ruang dan koreksi dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$K_i = 0{,}644 + 0{,}148\ n$

(IEEE Std-80-2000)

Sedangkan untuk Km dihitung melalui persamaan:

$K_m = \frac{1}{2\pi}\ \text{In}\ [\frac{D^2}{16\ hd} + \frac{(D + 2h)^2}{8\ Dd} - \frac{h}{4\ d}\ ] + \frac{Kii}{Kh}\ \text{In}\ [\frac{8}{\pi\,(2n-1)}]$

(IEEE Std-80-2000)

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

Untuk K_{ii} dan K_h dihitung dengan persamaan berikut:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}}$$

(IEEE Std-80-2000)

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{ho}}$$

(IEEE Std-80-2000)

Jika berlanjut ke perhitungan tegangan langkah, menggunakan persamaan di bawah ini:

$$E_s = \frac{[(Ks\,.\,Ki\,.\,\rho\,.\,IG)]}{[0{,}75\,.\,Lc + 0{,}85\,.\,LR]}$$

(IEEE Std-80-2000)

Nilai Ks dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_s = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \left(\frac{1-0{,}5^{n-2}}{D}\right)\right]$$

(IEEE Std-80-2000)

5. Geotekstil sebagai Isolator Listrik

PLTMG Tanjung Selor 15 MW dibangun di atas tanah seluas 12.800 meter^2 dengan panjang dan lebar 160 x 80 meter.Jenis geotekstil yang digunakan pada PLTMG Tanjung Selor adalah teranyam.Penggunaan geotekstil ini dipilih berdasarkan keunggulan jenis teranyam yang mempunyai *tensile strength* (kuat tarik) yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis yang tidak teranyam.

Gambar 5.1
Aplikasi Geotekstil pada PLTMG Tanjung Selor

Gambar di atas menunjukkan ilustrasi dari pemasangan geotekstil pada PLTMG Tanjung Selor.Geotekstil terdiri dari 3 lapis yang disisipi tanah timbunan setebal 2 meter dan ditutup dengan tanah timbunan terakhir setinggi 0.5 meter. Jadi total tinggi geotekstil dan tanah timbunan diatas tanah asli adalah 4.5 meter.

Berdasarkan penjabaran di atas, telah dijelaskan bahwa geotekstil itu terbuat dari bahan polimer sintetik.Contoh paling dekat dari polimer yang ada di sekitar manusia adalah plastik dan DNA.Plastik adalah salah satu bahan yang dikategorikan sebagai isolator listrik.Isolator listrik merupakan bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik.Isolator juga berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan.

6. Perhitungan Perancangan Sistem Pembumian

Berdasarkan diagram alir tahap perancangan sistem pembumian pada gambar 4.1, perhitungansecara detail dijelaskan melalui 8 tahap dibawah ini.

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

a. Mencari Data Lapangan

Nilai rata-rata resistivitas tanahnya adalah 59,6 Ohm.Daerah yang ingin dilindungi adalah daerah penempatan *power house,* tangki, panel listrik, transformator dan EDG.Luas daerah yang dilindungi adalah 50 m x 50 m atau 2500 m^2.

b. Menghitung Ukuran Penghantar

Jenis elektrode yang diajukan pada proyek ini adalah tembaga. Menggunakan persamaan dibawah ini didapatkan nilai luas elektrode sebesar:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{tc\ \alpha r\ \rho r}\right) In\left(\frac{Ko+Tm}{Ko+Ta}\right)}}$$

= 111,63 mm^2

Standar dari PLN menentukan bahwa luas penampang yang digunakan minimal sebesar 300mm^2.Dengan luas penampang ini, maka diameter yang diperlukan dapat dihitung melalui persamaan:

$L = \frac{1}{4} \pi d^2$
d = 19,55 mm
≈ 0,02 m

c. Menghitung Tegangan Sentuh dan Langkah Maksimum

$$C_s = 1 - \frac{0,09\ (1 - \frac{\rho}{\rho s})}{2hs + 0,09}$$
= 0.70

Maka tegangan sentuh dan langkahnya adalah:
$E_{sentuh70} = (1000 + 1,5\ Cs\ \rho s) \frac{0,157}{\sqrt{ts}}$
= 326,25 Volt
$E_{langkah70} = (1000 + 6\ Cs\ \rho s) \frac{0,157}{\sqrt{ts}}$
= 1035 Volt

d. Menetapkan Rancangan Awal

Total panjang elektrode *grid*menghasilkan panjang sebesar:

Lc = L1 n + L2 m
= 1700 meter

Untuk elektrode batang dirancang sepanjang 6 meter (L_r) dengan jumlah elektrode sebanyak 289 batang (n_r). Panjang total elektrode batangnyaadalah:

LR = Lr x nr
= 6 x 289
= 1734 meter

Total panjang elektrode (L_T) diperoleh dengan menjumlahkan panjang elektrode *grid* dan batang menggunakan persamaan 2.17 menjadi:

LT = LC + LR
= 3434 meter

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

e. Menghitung Tahanan Pembumian

Perhitungan tahanan pembumian mendatar mendapatkan nilai:

$R_1 = \frac{\rho}{\pi Lc}[\text{In}(\frac{2\,Lc}{a\prime}) + \frac{k1\,Lc}{\sqrt{A}} - k_2]$
$=0{,}476$ Ohm

Perhitungan tahanan pembumian tegak mendapatkan nilai:

$R_2 = \frac{\rho}{2\pi\, nr\, LR}[\text{In}(\frac{4\,LR}{b}) - 1 + \frac{2k1\,Lr}{\sqrt{A}}(\sqrt{nr} - 1)^2]$
$=0{,}0015$ Ohm

Perhitungan tahanan pembumian diantara mendatar dan tegak mendapatkan nilai:

$R_m = \frac{\rho}{\pi\, Lc}[\text{In}(\frac{2\,Lc}{Lr}) + \frac{k1\,Lc}{\sqrt{A}} - k_2 + 1]$
$=0{,}458$ Ohm

Perhitungan tahanan pembumian total adalah:

$R_g = \frac{R1\,R2 - Rm^2}{R1 + R2 - 2Rm}$

$=0{,}474$ Ohm

Nilai tahanan pembumian ini masuk dalam kriteria standar tahanan pembumian berdasarkan IEEE-Std-80-2000 dan PUIL 2010 untuk gardu induk dan pembangkit sebesar 1 Ohm atau kurang.

f. Menghitung Arus *Grid* Maksimum

Hasil perhitungan arus *grid* maksimum adalah:

$I_G = D_f \times I_g$
$= 18180$ A

g. Menghitung Kenaikan Potensial Bumi

Nilai kenaikan potensial bumi atau GPR diperoleh:

$GPR = I_G \,.\, R_g$
$= 8617{,}32$ Volt

Nilai GPR di atas lebih besar dari nilai tengangan sentuhnya, maka perlu dilakukan perhitungan tegangan *mesh* dan tegangan langkah yang dijabarkan pada perhitungan dibawah ini.

h. Menghitung Tegangan *Mesh* dan Tegangan Langkah

Untuk menghitung tegangan *mesh*adalah:

$$E_{mesh} = \frac{\rho \,.\, IG \,.\, Km \,.\, Ki}{Lc + \left[1{,}55 + 1{,}22\left(\frac{Lr}{\sqrt{Lx^2 + Ly^2}}\right)\right] .\, Lr}$$

$= 95{,}22$ Volt

Nilai tegangan *mesh* ternyata lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan, sehingga dapat berlanjut ke perhitungan tegangan

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

langkah.Nilai tegangan langkah sebagai berikut:

$$E_s = \frac{[(Ks \,.\, Ki \,.\, \rho \,.\, IG)]}{[0{,}75 \,.\, Lc + 0{,}85 \,.\, LR]}$$

$$= 212{,}992 \text{ Volt}$$

Nilai tegangan langkah di atas lebih kecil dari tegangan langkah maksimum yang diizinkan.Oleh karena itu, sudah dapat dilakukannya detail desain sistem pembumian.

7. Analisis Pengaruh Geotekstil terhadap Sistem Pembumian

Dari hasil perhitungan di subbab 4.1, dapat dibandingkan hasil data sebelum dengan sesudah dipasangnya geotekstil.Dimulai dari perbedaan general desain data, dapat dilihat dari tabel berikut.

NO	Data Desain Umum	Sebelum Pemasangan Geotekstil	Setelah Pemasangan Geotekstil
1	Resistivitas Tanah (ρ)	59,6 Ohm-m	59,6 Ohm-m
2	Resistivitas Kerikil (ρ_s)	2500 Ohm-m	2500 Ohm-m
3	Arus Hubung Singkat (I)	18000 A	18000 A
4	Waktu Kerja Pemutus Tegangan (t_c)	3,0 Sec	3,0 Sec
5	Temperatur Maksimal (T_m)	1083 °C	1083 °C
6	Temperatur Lingkungan (T_a)	40 °C	40 °C
7	Ketebalan Pecahan Kerikil (h_s)	0,10 m	0,10 m
8	Kedalaman *Grid* Pembumian (h)	1 m	5 m
9	Referensi Kedalaman *Grid* (h_o)	0,5 m	0,5 m

Berdasarkan tabel di atas, perbedaan umum desain sistem pembumian sebelum dan sesudah menggunakan geotekstil terletak pada kedalaman *grid* pembumian. Seperti penjelasan di awal bab, penanaman *grid* pembumian ini dilakukan pada tanah asli karena memiliki nilai resistivitas yang lebih kecil. Hal itu juga menyebabkan nilai resistivitas tanahnya tidak berubah.

Dengan kondisi tinggi tanah timbunan 4.5 meter, maka *grid* ditanam sedalam 5 meter.Perbedaan nilai kedalaman ini pasti akan mempengaruhi jumlah elektrode mendatar dan batang yang dibutuhkan. Untuk lebih jelasnya, simak perbedaan perancangan awal sebelum dan sesudah pemasangan geotekstil pada tabel di bawah ini.

No	Desain Awal	Sebelum Pemasangan Geotekstil	Sesudah Pemasangan Geotekstil
1	Jarak Antarelektrode *Grid* (D)	1,25 m	3,125 m
2	Jumlah elektrode paralel (n)	41	17
3	Total Panjang *Grid* (L_c)	4100	1700 m
4	Panjang Elektrode Batang (L_t)	2 m	6 m
5	Jumlah Elektrode Batang (n_r)	1681	289
6	Total Panjang Elektrode Batang (L_R)	3362 m	1734 m
7	Total Panjang Elektrode (L_T)	7462 m	3434 m

Tabel di atas menjelaskan bahwa rancangan awal jumlah elektrode *grid* dan elektrode batang yang digunakan berbeda. Jumlah elektrode *grid* danbatang yang diperlukan untuk perancangan sebelum dipasangnya geotekstil lebih banyak daripada sesudahnya. Elektrode batang yang digunakan setelah dipasangnya geotekstil, memiliki ukuran yang lebih panjang daripada sebelumnya.Hal itu menjadi faktor yang berpengaruh terhadap banyaknya jumlah elektrode yang dibutuhkan.

Perbedaan perancangan awal ini jadi mempengaruhi beberapa hasil dari perhitungan faktor-faktor lain seperti tegangan sentuh ($E_{sentuh70}$),

Sinusoida Vol. XX No. 2, April 2018
ISSN 1411 - 4593

tegangan langkah maksimum ($E_{langkah70}$), tahanan pembumian (R_g), arus *grid* maksimum (I_G) dan kenaikan potensial bumi (GPR). Untuk lebih jelas, perbandingan dapat dilihat pada dibawah ini:

NO	Perhitungan Sistem Pembumian	Sebelum Pemasangan Geotekstil	Setelah Pemasangan Geotekstil
1	Tegangan Sentuh ($E_{sentuh70}$)	326,25 V	326,25 V
2	Tegangan Langkah Maksimum ($E_{langkah70}$)	1035 V	1035 V
3	Tahanan Pembumian (R_g)	0,55 Ohm	0,474 Ohm
4	Arus *Grid* Maksimum (I_G)	18180 A	18180 A
5	Kenaikan Potensial Bumi (GPR)	9572,35 V	8617,32 V
6	Tegangan *Mesh* (E_{mesh})	321,35 V	95,22 V
7	Tegangan Langkah (E_s)	681 V	212,992 V

Jika kita analisis secara fisik, pemasangan geotekstil ini menjadi solusi untuk memperkuat kondisi tanah yang akan dijadikan fondasi bangunan. Namun tanah timbunan memiliki nilai resistivitas yang besar karena memiliki sifat lebih padat dan kering, menyebabkan kemungkinan sulitnya mendapatkan nilai tahanan pembumian sesuai dengan standar, yaitu kurang dari 1 Ohm. Hal ini tentu menjadi pertimbangan dalam melakukan perancangan sistem pembumiannya.Pada akhirnya ditetapkan untuk menggunakan tanah asli sebagai media pembumiannya.

8. Kesimpulan

1. Secara fisik, geotekstil dapat memperkuat kondisi tanah supaya memenuhi syarat untuk pembangunan fondasi bangunan.
2. Perhitungan sistem pembumian tetap menggunakan tanah asli karena memiliki resistivitas yang lebih kecil.
3. Elektrode ditanam lebih dalam karena terdapat lapisan geotekstil dan tanah timbunan setinggi 4.5 meter diatas tanah asli.
4. Perhitungan ulang sistem pembumian menghasilkan nilai tahanani yang lebih kecil yakni 0.474 Ohm.

DAFTAR PUSTAKA

IEEE 80. 2000. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.*

Chumaidy, Adib. 2015. *Sistem Pembumian. Materi perkuliahan ISTN*. Jakarta

Departemen Pekerjaan Umum. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta

BNS. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000.* Jakarta.

Musyahar, Ghoni. 2017. *Jurnal : Perbaikan Sistem Pentanahan Peralatan pada Pmebangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jenis Tanah Kerikil Kering*. Pekalongan

Syofian, Andi. 2013. *Jurnal : Sistem Pentanahan Grid pada Gardu Induk PLTU Teluk Sirih*. Padang

Tanjung, Abrar. 1999. *Jurnal : Analisis Sistem Pentanahan Gardu Induk Teluk Lembu dengan Bentuk Konstruksi Grid (Kisi-Kisi)*. Pekanbaru