

Analisis Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 KV Maninjau Dengan Kontruksi (Grid- Rod)

Mhd. Fadly¹⁾, Suwitno²⁾

Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email : mhd.fadly@student.unri.ac.id; suwitnoannisa@gmail.com

ABSTRACT

The substation is are an important part of the electric power system to distribute electric power to other substations. Substations have the potential to experience disturbances, one of which is lightning strikes and overcurrents. To avoid the possibility of dangerous interference, the substation must have a grounding system that meets safe standards for equipment and people around the substation's area. The grounding system is a part of the electric power system which has the function of grounding in the event of a disturbance. In this study, the construction method (grid-rod) was used to analyze the grounding system at the 150 kV Maninjau substation. From the calculation results, the total fault current is 1732 A, the grounding grid resistance is 0.115 Ω , the mesh voltage value is 42,96 V, the permissible touch voltage is 991.1 V, the step voltage is 103.92 V and the permissible step voltage is 3298.2 V. The total length of conductors for the earthing grid used is 3390,5 m with 11 conductors parallel to the X axis and 23 parallel to the Y axis.

Keyword : substation, fault, grounding, grid-rod

1. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik untuk menyalurkan tenaga listrik daya ke gardu induk lainnya dan gardu-gardu distribusi melalui penyulang tenaga menengah, sehingga tenaga listrik dapat didistribusikan ke konsumen sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu dengan aman.

Gardu induk berpotensi mengalami gangguan salah satunya sambaran petir maupun arus lebih. Adanya gangguan dari petir maupun arus lebih pada gardu induk yang mengalirkan ketanah mempunyai kemungkinan sangat besar mengalami bahaya sehingga dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik dan dapat membahayakan manusia yang berada disekitarnya. Beberapa keadaan yang memungkinkan penyebab terjadinya kecelakaan akibat sengatan listrik yaitu arus gangguan yang relatif tinggi ketanah dimana berkaitan dengan luas sistem pentanahan dana resistansi terhadap tanah, resistivitas tanah dan distribusi arus tanah dengan gradien tinggi, adanya manusia pada jarak, waktu dan posisi tertentu sehingga menimbulkan beda potensial yang tinggi yang dapat membahayakan manusia, tidak adanya tahanan kontak yang cukup untuk membatasi arus aman yang mengalir ke tubuh manusia, durasi gangguan dan kontak tubuh pada aliran arus yang

mengalir ke tubuh manusia yang dapat membahayakan tubuh manusia.

Oleh karena itu untuk mengatasi agar tidak terjadinya kemungkinan gangguan yang membahayakan maka gardu induk harus memiliki sistem pentanahan yang memenuhi standar aman untuk peralatan dan manusia yang berada di sekitar area gardu induk. Sistem pentanahan adalah sistem penghubung penghantar yang menghubungkan sistem, peralatan, dan instalasi dengan tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/ arus abnormal. Sistem pentanahan (grounding system) menjadi bagian dari sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi mengetanahkan apabila terjadi gangguan seperti muatan tegangan atau arus lebih sehingga dapat meminimalisir gangguan tersebut.

Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis melakukan penelitian tentang penganalisaan sistem pentanahan pada gardu induk Maninjau 150 Kv menggunakan standard IEEE Std 80-2000 untuk mencegah timbulnya bahaya pada saat gangguan.

2. DASAR TEORI Gardu Induk (GI)

Gardu Induk merupakan salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting sebagai penghubung pelayanan tenaga listrik ke konsumen (Gunawan Samuel Marco, 2013). Fungsi Gardu Induk adalah:

- Menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu dengan aman dan dapat diandalkan.
- Penyaluran daya ke gardu induk lainnya dan gardu – gardu distribusi melalui penyalang tegangan menengah.

Arus Gangguan ke Tanah

Arus gangguan tanah yang mengalir di tempat gangguan pada pengantanan gardu induk menimbulkan perbedaan tegangan permukaan tanah yang dapat menimbulkan terjadinya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang dapat melampaui batas keamanan manusia dan binatang. Persamaan arus gangguan fasa ke tanah:

- Arus urutan nol satu fasa ke tanah

$$I_0 = \frac{E_A}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad (1)$$

- Arus gangguan satu fasa ke tanah

$$3I_0 = \frac{3E_A}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad (2)$$

Keterangan:

- I_0 = arus gangguan tanah (A)
 E_A = tegangan fasa ke fasa (V)
 Z_0 = impedansi urutan nol (Ω)
 Z_1 = impedansi urutan positif (Ω)
 Z_2 = impedansi urutan negative (Ω)

Impedansi urutan positif Z_1 dan impedansi urutan negative Z_2 memiliki nilai yang sama. Hubungan netral dibumikan langsung maka nilai $Z_N = 0$, sehingga impedansi urutan nol Z_0 pada transformator sama dengan impedansi masing-masing belitan sekunder transformator.

Arus Grid Maksimum

Arus grid maksimum merupakan arus terbesar yang mengalir pada rangkaian prntanahan grid saat terjadi gangguan fasa ke tanah dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini (IEEE std80-2000):

$$I_g = S_f \times 3I_0 \quad (3)$$

Keterangan:

I_g = arus grid simetris rms (A)

S_f = faktor pembagi arus gangguan

I_0 = arus gangguan urutan nol (A)

Nilai desain arus grid maksimum

didefinisikan dengan persamaan (Pranoto, et al., 2018):

$$I_G = D_F \times I_g \quad (4)$$

Keterangan:

I_G = arus grid maksimum (A)

D_F = faktor penurunan untuk seluruh durasi gangguan t_f

I_g = arus grid simetris rms (A)

Untuk nilai $D_F = 1,0$ dan faktor pembagi arus $S_f = 0,6$.

Ground Potensial Rise (GPR)

Ground Potensial Rise (GPR) atau kenaikan tegangan tanah terjadi karena adanya arus yang mengalir pada sistem di dikebumikan.

Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah menentukan tahanan pentanahan yang dipengaruhi oleh komposisi tanah, temperature, kandungan air (kelembapan), dan kandungan kimia dalam tanah.

Tabel 1 Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ohm)
Rawa	30
Tanah liat	100
Pasir basah	200
Batu kerikil basah	500
Pasir dan batu kering	1000
Batu	3000

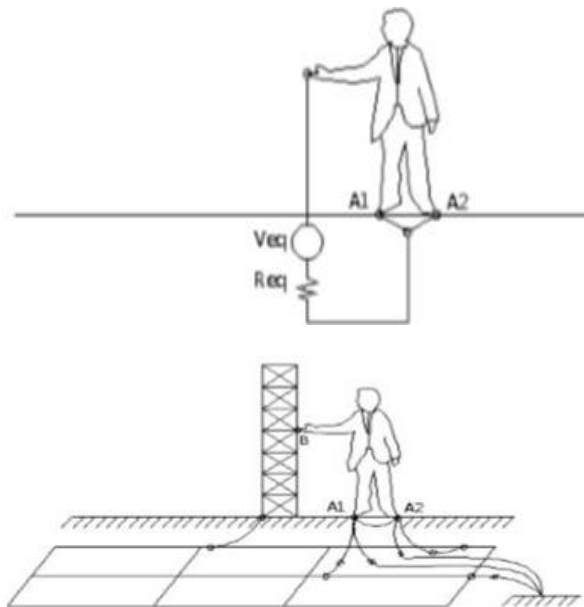
Sumber: PUIL 2000

Ukuran Konduktor

Nilai tahanan dari material elektroda yang digunakan bergantung pada ukuran konduktor yang dipasang.

Kriteria Tegangan Sentuh yang diizinkan

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu objek yang disentuh dan satu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada dibawahnya.



Gambar 1. Tegangan Sentuh yang Terjadi Apabila Seseorang Menyentuh Peralatan yang Ditanahkan (Sanjaya, 2020)

Keterangan gambar:

A1 = kontak kaki yang pertama dari seseorang pada area pentanahan

A2 = kontak kaki yang kedua dari seseorang pada area pentanahan

B = kontak tangan seseorang dengan peralatan yang ditanahkan

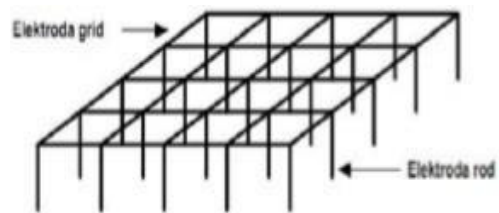
V_{eq} = tegangan ekivalen yang timbul pada tubuh manusia

r_{eq} = tahanan pengganti antar A1 dan A2 dengan ground

Sistem Pentanahan Grid Rod

Pentanahan *grid-rod* merupakan salah satu sistem pentanahan yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem pentanahan lainnya (Hani, 2017).

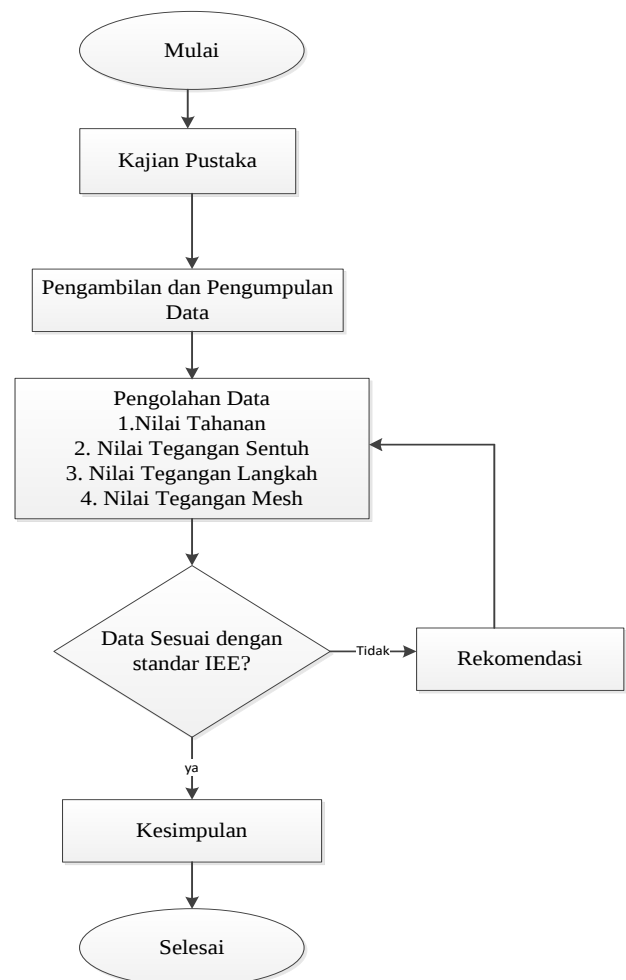
Sistem pentanahan *Grid-Rod* adalah gabungan dari sistem pentanahan *grid* yang dipadukan dengan menambahkan jumlah batang *rod* pada titik tertentu untuk memperoleh nilai tahanan pentanahan yang lebih rendah.



Gambar 2. Pembumian Sistem *Grid-Rod* (Sanjaya, 2020)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Manjinjau Sumatera Barat. Berikut adalah *flowchart* penelitian:



Gambar 3. Flowchat Penelitian

Perhitungan Arus Gangguan Tanah ($3I_0$)

- Daya dasar (S_b) = 20 MVA
- Jumlah trafo = 1 buah
- Tegangan dasar (V_b) = 20 kV
- X/R 31,4
- Impedansi dasar (Z_b) = belum diketahui

f. Arus dasar (I_b) = belum diketahui

Kapasitas dari 1 transformator yang terpasang adalah 1 x 20 MVA yaitu 20 MVA sehingga arus dasarnya adalah

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{S_b}{V_b} \\ I_b &= \frac{20.000 \text{ kVA}}{20 \text{ kV}} \\ I_b &= 1000 \text{ A} = (1 \text{ pu}) \\ I_b &= 1 \text{ kA} \end{aligned}$$

Sedangkan impedansi dasarnya:

$$\begin{aligned} Z_b &= \frac{V_b^2}{S_b} \\ Z_b &= \frac{(20 \text{ kV})^2}{20.000 \text{ kVA}} \\ Z_b &= \frac{400 \text{ kV}^2}{20.000 \text{ kVA}} \\ Z_b &= 0,2 \text{ k}\Omega = 20 \Omega = (1 \text{ pu}) \\ Z_1 &= 20 \Omega \text{ dimana } Z_1 = Z_2 \\ Z_0 &= Z_b + 3 Z_n \text{ dimana } Z_n = 0 \\ Z_0 &= 20 \Omega + 3(0) \\ Z_0 &= 20 \Omega \end{aligned}$$

Arus gangguan urutan nol satu fasa ke tanah (I_0):

$$I_0 = \frac{E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{\sqrt{3} V_b}{Z_{total}}$$

$$I_0 = \frac{\sqrt{3} (1)}{1+1+1}$$

$$I_0 = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$I_0 = 0,5773 \text{ pu}$$

$$I_0 = 0,5773 \text{ pu} \times 1.000 \text{ A}$$

$$I_0 = 577,3 \text{ A}$$

Arus Gangguan satu fasa ke tanah:

$$I_{fasa} = 3I_0$$

$$3I_0 = \frac{3 E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$3I_0 = 3 (0,5773 \text{ pu})$$

$$= 1,7320 \text{ pu} \times 1.000 \text{ A}$$

$$= 1732 \text{ A}$$

Arus Grid Maksimum

Penentuan arus *grid* maksimum dihitung dengan persamaan (3) yang sebelumnya dihitung arus *grid* simetris dengan persamaan (4) dengan nilai $D_f = 1$ dan nilai $S_f = 0,6$

$$I_g = S_f \times 3I_0$$

$$I_g = 0,6 \times 1732$$

$$I_g = 1039,2 \text{ A}$$

$$I_G = D_F \times I_g$$

$$I_G = 1 \times 1039,2$$

$$I_G = 1039,2 \text{ A}$$

Diamter Ukuran Pengantar

Ukuran penghantar pada Gardu Induk Maninjau menggunakan *bare copper* dengan luas penampang 150 mm^2 sehingga dapat dihitung diameternya dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_{\text{mm}^2} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times \text{mm}^2}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 150}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 150}{\pi}}$$

$$d = 13,81 \text{ mm} = 0,0138 \text{ m}$$

Kriteria Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang diizinkan

Lapisan tanah terdiri dari lapisan tanah bagian atas dengan kedalaman yang terbatas di atas lapisan tanah terbawah yang tidak terhingga. Perubahan resistifitas pada batas setiap lapisan tanah dapat didekripsikan pada sebuah faktor refleksi K . Untuk 0,15 m lapisan permukaan berbatuan memiliki resistifitas $3000 \Omega\text{-m}$, resistifitas untuk tanah $100 \Omega\text{-m}$. faktor refleksi K dihitung menggunakan persamaan:

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

$$K = \frac{100 - 3000}{100 + 3000}$$

$$K = -0,93$$

Faktor reduksi C_s dihitung menggunakan persamaan (8):

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0,09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{100}{3000}\right)}{2(0,15) + 0,09}$$

$$C_s = 0,770$$

Kriteria tegangan sentuh yang diizinkan dihitung dengan persamaan:

Untuk manusia dengan berat 70 kg:

$$E_{touch70} = (1000 + 1,5 C_s P_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1,5 \times 0,770 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_{touch70} = 991,1 V$$

Untuk manusia dengan berat 50 kg:

$$E_{touch50} = (1000 + 1,5 C_s P_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1,5 \times 0,770 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_{touch50} = 732,3 V$$

Untuk manusia dengan berat 50 kg:

$$E_{step50} = (1000 + 6 C_s P_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{step50} = (1000 + 6 \times 0,770 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_{step50} = 2436,9 V$$

Menentukan Resistansi Grid Pembumian

Menentukan resistansi *Grid* pembumian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

$$R_g = \frac{0,116 \times 2,302 - 0,087^2}{0,116 + 2,302 - 2 \times 0,087}$$

$$R_g = 0,115 \Omega$$

Menentukan nilai GPR

Untuk menentukan nilai GPR dapat digunakan persamaan berikut ini:

$$GPR = I_g \times R_g$$

$$GPR = 1039,2 \times 0,47$$

$$GPR = 488,424 V$$

Tegangan Langkah Sebenarnya

Panjang efektif $L_c + L_R(L_s)$ dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_s = 0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot L_R$$

$$L_s = 0,75 \times 444,8 + 0,85 \times 3390,5$$

$$L_s = 3215,5 m$$

Faktor jarak/spasi pada tegangan langkah (K_s) dengan persamaan:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{16,35-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot 0,8} + \frac{1}{7 + 0,8} + \frac{1}{7} (1 - 0,5^{16,35-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{1,6} + \frac{1}{7,8} + \frac{1}{7} (1 - 0,5^{16,35-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} [0,625 + 0,128 + 0,429]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} [1,182]$$

$$K_s = 0,376$$

Untuk nilai K_i sama dengan nilai K_i pada tegangan mesh

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s}$$

$$E_s = \frac{100 \times 0,376 \times 2,74 \times 1039,2}{3215,5}$$

$$E_s = \frac{107062,5}{3215,5}$$

$$E_s = 33,3$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil yang didapatkan pada penelitian yang dilakukan.

Arus Gangguan Tanah ($3I_0$)

Analisa pentanahan pada Gardu Induk Maninjau pada masing-masing transformator dengan kapasitas 20 MVA memiliki hasil perhitungan $3I_0$ sebesar 1732 A. Arus gangguan yang didapat merupakan total arus gangguan terbesar yang terjadi pada transformator yang akan disalurkan ke sistem pembumian ($3I_0$). Arus $3I_0$ yang didapatkan digunakan untuk menentukan ukuran konduktor yang digunakan pada grid pembumian.

Ukuran Konduktor

Ukuran konduktor yang digunakan adalah ukuran konduktor yang sesuai dengan data lapangan yaitu konduktor jenis bare copper ukuran 150 mm^2 sehingga dapat ditentukan diameter dari konduktor tersebut. Dari hasil perhitungan didapatkan diameter dari *bare copper* 150 mm^2 adalah 13,81 mm atau sama dengan 0,0138 m.

Denah Grid Pentanahan

Denah *grid* pentanahan dengan area yang keseluruhan luas gardu induk. Panjang area 153,4m dan lebar 69 m dengan luas sebesar 10584,6 m². Dari nilai panjang dan lebar area ditentukan total konduktor yang terpasang. Jarak antar konduktor yang digunakan adalah 7 meter, dengan jumlah konduktor terpasang yang sejajar sumbu x adalah 11 buah dan sejajar sumbu y adalah 23 buah. Sehingga panjang total konduktor *grid* yang digunakan (L_C) adalah 3390,5 meter.

Tahanan Pentanahan R_g

Tahanan *grid* pembumian dihitung untuk menentukan nilai tahanan yang optimal yang mampu mengaliri keseluruhan arus gangguan ke sistem pentanahan yang dianalisa. Besar tahanan *grid* pembumian tergantung pada besar tahanan jenis tanah (ρ), luas area *grid* (A), panjang konduktor (L_C) dan kedalaman penanaman *grid* (h). Dengan panjang total konduktor *grid* yang digunakan 3390,5 m dan ditanam pada kedalaman 0,8 m didapatkan tahanan *grid* pembumian sebesar 0,115 Ω .

Tabel 2. Hasil perhitungan Tahanan Pembumian

Persyaratan Stansard IEEE Std. 80-2000	Hasil perhitungan	Hasil
$R_g < 0,5 \Omega$	$0,115 \Omega < 0,5 \Omega$	Memenuhi

Tegangan langkah sebenarnya

Faktor yang mempengaruhi perhitungan tegangan langkah sebenarnya yaitu faktor jarak untuk tegangan langkah (K_s), faktor geometri *grid* (K_i) dan digunakan panjang efektif dari konduktor pembumian (L_s). Dari hasil perhitungan nilai $K_s = 0,376$ dan panjang $L_s = 2184$ m, sedangkan nilai K_i sama dengan nilai K_i pada tegangan mesh yaitu 2,74.

Hasil perhitungan nilai K_s , K_i , dan L_s digunakan untuk perhitungan tegangan langkah sebenarnya sehingga didapat nilai tegangan langkah sebenarnya sebesar 103,92 V. Dari hasil perhitungan, tegangan langkah sebenarnya lebih kecil daripada tegangan langkah yang diizinkan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Tahanan Pembumian

Persyaratan Stansard IEEE Std. 80-2000	Hasil perhitungan	Hasil

$E_s < \text{Estep}50$	$33,3 \Omega < 2436,9 \text{ V}$	Memenuhi
$E_s < \text{Estep}70$	$33,3 < 3298,2 \text{ V}$	Memenuhi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa arus gangguan yang dihitung yaitu arus gangguan yang terjadi dekat dengan transformator yaitu gangguan satu fasa ke tanah. Dari hasil perhitungan didapatkan total arus gangguan sebesar 1732 A yang digunakan untuk menentukan ukuran konduktor yang akan digunakan, hasil perhitungan dari resistansi *grid* pentanahan yaitu 0,47 Ω dimana memiliki nilai yang kecil dari 0,5 Ω . Maka dari itu sudah memenuhi standard IEEE Std 80-2000, pada analisa perhitungan didapatkan nilai tegangan mesh 163,76 < tegangan sentuh yang diizinkan 991,1 V, begitu juga dengan tegangan langkah 103,92 V < tegangan langkah yang diizinkan 3298,2 V, sehingga pentanahan yang ada bisa dikatakan aman dan 4. Panjang total konduktor untuk *grid* pembumian yang digunakan adalah 2912 m dengan jumlah konduktor sejajar sumbu x sebanyak 11 buah dan sejajar sumbu y sebanyak 22 buah.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional Indonesia, 2001, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), Jakarta: Yayasan PUIL.
- Darsono, M., 2010. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Polarisasi Melingkar Patch Bujur Sangkar untuk Komunikasi Satelit. s.l.:s.n.
- Gunawan Samuel Marco, S. J., 2013. Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan.
- JURNAL DIMENSI TEKNIK ELEKTRO , Volume 1, pp. 37-42.
- Hani, S., 2017. Sistem Pentanahan Switchyard dengan Kisi-Kisi (GRID) pada Gardu Induk 150 KV Bantul. JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA, pp. 48-56.
- IEEE, 2000, IEEE std 80. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- Pranoto, A., Tumaliang, H. & Mangindaan, G. M. C., 2018. Analisa Sistem Pentanahan Gardu

Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi). Jurnal Teknik Elektro dan Komputer , pp. 189-198.

Samuel Marco Gunawan, J. S., 2013. Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan.

JURNAL DIMENSI TEKNIK ELEKTRO, pp. 37-42.

Sanjaya, D. M. R., Partha, C. G. I. & Arjana, I. G. I., 2020. Perencanaan Sistem Pembumian Grid-Rod pada Gardu Induk 150 KV New Sanur. Jurnal SPEKTRUM, Volume 7, pp. 69-75.

Yuniarti, E., Hermanto, D. & Ahmadi, P., 2017. Penggunaan Gypsumdan Magnesium Sulfat sebagai Upaya Menurunkan Nilai Resistansi Pentanahan. Jurnal Surya Energy , pp. 140-148.