SNESTIK

Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika

https://ejurnal.itats.ac.id/snestik dan https://snestik.itats.ac.id

Informasi Pelaksanaan :
SNESTIK I - Surabaya, 26 Juni 2021
Ruang Seminar Gedung A, Kampus Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Informasi Artikel:
DOI : 10.31284/p.snestik.2021.1745

Prosiding ISSN 2775-5126

Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Gedung A-ITATS, Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya 60117 Telp. (031) 5945043
Email : snestik@itats.ac.id

Rancang Bangun Sistem Pembumian Pada Gardu Induk 150 kV Jabon dengan Simulasi CYMGRD

Muhamad Suripto[1], Agus Kiswantono[2]

[1,2]Teknik Elektro Universitas Bhayangkara Surabaya

email: muh_suripto@yahoo.co.id

ABSTRACT

The Substation Grounding System functions to limit the voltage between equipment, between the equipment and the ground and to level out the voltage gradient that arises at the ground surface when there is an overcurrent / disturbance. The earthing system uses electrodes that are implanted into the ground, then connected to the substation equipment / system. In the grounding system there are parameters that must be met so that personnel and equipment are safe in the event of a disturbance. Bad Grounding System can affecting continuity of service and can cause electric shock to someone in the facility. This study will be studied about the design of the grounding system at the Jabon 150 kV Substation using the Grid-Rod system. The combination of the number of Grids and Rods with the depth of planting of the conductors according to the soil resistivity value of the 150 kV Jabon Substation area. In the design of the substation grounding system, the soil type resistance is 30,71 ohm.meter, so that the diameter of the conductor used is 150 mm2. With a grid conductor length (LC) of 1916 meters and a rod conductor length (LR) of 67,1 meters and a gravel thickness of 0.20 meters, a touch voltage (Em) of 735,59 volts is obtained, a step voltage (Es) of 450,78 volts and the resistivity (Rg) of 0,228 ohms.

Keywords: *Substation, Grounding System, Grid, Rod.*

ABSTRAK

Salah satu sistem proteksi dalam sistem kelistrikan adalah Sistem Pembumian. Sistem Pembumian Gardu Induk berfungsi untuk membatasi tegangan antar peralatan, antara peralatan dengan tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul di permukaan tanah saat terjadi gangguan/arus lebih. Sistem pembumian menggunakan elektroda yang ditanam ke tanah/bumi, kemudian dihubungkan dengan peralatan/sistem gardu induk. Dalam sistem pembumian terdapat parameter-parameter yang harus terpenuhi agar personil dan

peralatan aman saat terjadi gangguan. Sistem pembumian yang buruk dapat mengakibatkan masalah pada kesinambungan layanan dan personil dilokasi dapat terkena bahaya sengatan listrik. Jurnal ini berisi tentang perancangan sistem pembumian pada Gardu Induk 150 kV Jabon dengan menggunakan sistem Grid-Rod. Kombinasi antara jumlah Grid dan Rod yang kedalaman penanaman konduktornya sesuai nilai tahanan jenis tanah area Gardu Induk 150 kV Jabon. Pada perancangan sistem pembumian Gardu Induk ini didapat kesimpulan dan hasil, tahanan jenis tanah sebesar 30,71 ohm.meter, sehingga ukuran diameter konduktor yang digunakan sebesar 150 mm2. Dengan panjang konduktor grid (L_C) sebesar 1916 meter dan panjang konduktor rod (L_R) sebesar 67,1 meter dan ketebalan gravel 0.20 meter, maka didapat tegangan sentuh (Em) sebesar 735,59 volt, tegangan langkah (Es) sebesar 450,78 volt dan tahanan pentanahan (Rg) sebesar 0,228 ohm.

Kata kunci: Gardu Induk, Sistem Pembumian, Grid, Rod.

PENDAHULUAN

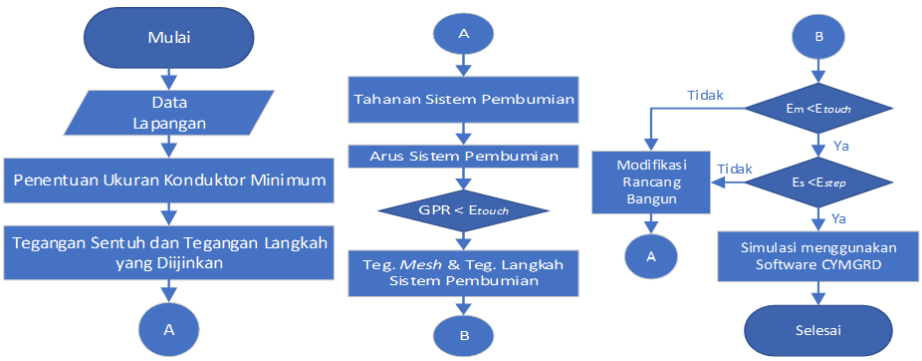
Gardu Induk 150kV adalah suatu sistem perangkat hubung bagi Tegangan Tinggi 150 kV yang berfungsi untuk menyalurkan dan mengendalikan daya listrik. Gardu Induk harus dilengkapi dengan sistem pembumian yang baik. Fungsi dari sistem pembumian Gardu Induk tersebut ialah untuk membatasi tegangan yang timbul antara peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus gangguan yang mengalir dalam tanah. Gardu Induk menimbulkan tegangan di permukaan tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang melampaui batas-batas keselamatan manusia yang diizinkan. Pembumian atau *grounding system* diwujudkan dengan penanaman elektroda bumi untuk menyalurkan arus lebih ke bumi/ground. Sistem pembumian yang buruk dapat menimbulkan pemadaman total yang akan mengganggu kesinambungan layanan, dan personil di lokasi dapat terkena sengatan listrik saat terjadi gangguan [3].

Atas dasar latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini memfokuskan pada rancang bangun sistem pembumian yang efektif pada Gardu Induk 150 kV Jabon. Rancang bangun sistem pembumian yang efektif adalah rancang bangun sistem pembumian dengan bentuk yang ekonomis tetapi tidak mengurangi fungsinya sebagai sistem pembumian ditinjau dari nilai parameter kinerja yaitu dari nilai tahanan pentanahan (Rg), *Ground Potential Rise* (GPR), tegangan langkah (Es), tegangan sentuh (Et) untuk berat badan 50 kg dan untuk berat badan 70 kg [2]. Hasil dari analisa dan perhitungan manual kemudian akan dibandingkan dengan hasil *output* dari *Software* CYMGRD untuk mengetahui efektifitas perhitungan dan mendapat rancang bangun terbaik. Optimasi menggunakan *Software* CYMGRD sangat diperlukan untuk mengetahui jumlah konduktor yang digunakan untuk memperbaiki nilai kinerja rancang bangun.

METODE

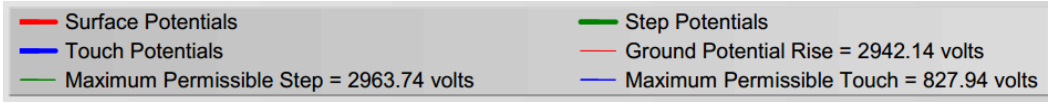
Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian adalah sebagai berikut :

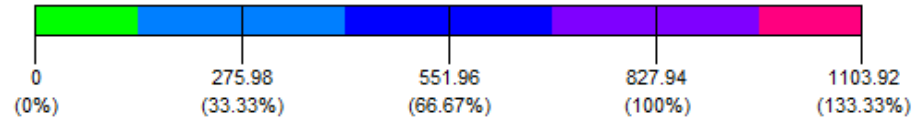


Simulasi Menggunakan Software CYMGRD

Data yang didapat dari lapangan, dan hasil perhitungan disimulasikan menggunakan software CYMGRD untuk mengetahui gambaran daerah aman dari Grid apakah desain perlu dioptimalisasi. Pada "*Potential Profile Plot*", grafik tegangan permukaan (grafik warna merah) harus dibawah batas *Ground Potential Rise (GPR),* grafik tegangan sentuh (grafik warna biru) harus dibawah *Maximum Permissible Touch,* dan grafik tegangan langkah (grafik warna hijau) harus dibawah *Maximum Permissible Step.* Dan pada "*Potential Contour Plot*" semua daerah pada area grid harus berwarna biru muda (0%), biru tua (33%) dan hijau (67%), dan menghindari warna ungu (100%) atau berwarna merah (133%) terhadap tegangan sentuh yang diijinkan.



Gambar 1. Grafik pada "Potential Profile Plot"



Gambar 2. Range pada simulasi "Potential Contour Plot"

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Gardu Induk 150 kV Jabon

Gardu induk ini terletak di Desa Jabon, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Gardu Induk 150 kV Jabon terdiri dari 5 Bay, yaitu 1 Bay Line Konsumen Tegangan Tinggi, 2 Bay Line Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV, 1 Bay Coupler, 1 Bay Transformator 60 MVA. Ukuran Switchyard-nya adalah 76 x 58 meter.

Tabel 1. Data Lapangan GI 150 kV Jabon

Uraian	Data	Notasi	Keterangan
Kedalaman penanaman konduktor	0,5 meter	h	SPLN T5.012:2020
Ukuran switchyard (Sumbu Y)	76 meter	L_Y	Ditambah 1,5 meter
Ukuran switchyard (Sumbu X)	58 meter	L_X	disekitar untuk pagar
Jumlah titik ground rod yang diperlukan	22 titik	n_R	
Ukuran jarak grid sumbu Y	5 meter	Dy	SPLN T5.012:2020
Ukuran jarak grid sumbu X	5 meter	Dx	SPLN T5.012:2020
Diameter ground rod	Ø16mm	d	Pek. Konstruksi
Panjang ground rod	3,05 m	L_r	Pek. Konstruksi
Arus gangguan maksimal (3phasa)	50 kA	I_{k3}	SPLN T5.012:2020
Arus gangguan (Phase-ground)	30 kA	I_{k1}	
Durasi arus gangguan	1 detik	T_c	SPLN T5.012:2020
Temperatur/suhu lingkungan	40 °C	Ta	
Tahanan Material diatas permukaan tanah	5000 Ω.m	ρs	Gravel, Batu Pecah 3-5 cm
Tebal lapisan material diatas permukaan tanah	20 cm	h_s	Pek. Konstruksi
Frekuensi	50 Hz		
Faktor pembagi arus hubung singkat	60%	S_f	SPLN T5.012:2020

Analisa Perhitungan Tahanan Tanah (Soil Resistivity)

Hasil pengukuran tahanan tanah pada area pembangunan Gardu Induk 150 kV Jabon ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Ukur Tahanan Tanah (Soil Resistivity)

No	Jarak m	Posisi Ukur				No	Jarak m	Posisi Ukur			
		1 Ω.m	2 Ω.m	3 Ω.m	4 Ω.m			1 Ω.m	2 Ω.m	3 Ω.m	4 Ω.m
1	6,25	43,97	38,95	34,93	69,88	9	26,25	27,48	58,66	56,17	149,86
2	8,75	42,63	22,27	25,26	73,51	10	28,75	37,69	21,84	52,03	94,22
3	11,25	52,72	24,13	22,42	11,43	11	31,25	17,42	22,37	88,06	25,94
4	13,75	51,75	16,72	14,79	22,69	12	33,75	9,72	69,47	71,34	25,34
5	16,25	52,36	26,23	13,87	118,88	13	36,25	14,64	68,47	81,92	31,53
6	18,75	48,98	27,95	110,40	64,865	14	38,75	20,73	103,01	150,18	16,49
7	21,25	22,63	76,65	183,42	161,81	15	41,25	28,13	44,77	102,03	1,32
8	23,75	71,84	61,91	62,94	180,24	16	43,75	54,65	11,95	43,95	10,76

Dari hasil pengukuran di *site* GI 150 kV Jabon, maka didapat hasil sesuai Tabel 3 :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Tahanan Tanah (Soil Resistivity)

Uraian	Notasi	Hasil Perhitungan	Satuan
Tahanan Tanah Lapisan Atas	ρ_1	54,17	Ω.m
Ketebalan Tanah Lapisan Atas	H	0,625	m
Tahanan Tanah Lapisan Bawah	ρ_2	30,15	Ω.m
Tahanan tanah Uniform	ρ	30,71	Ω.m

Analisa Awal Perancangan Sistem Pembumian

Analisa awal untuk perancangan sistem pembumian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisa Awal Perancangan Sistem Pembumian

Uraian	Data	Notasi
Area Grid (L_y x L_x)	4408 m^2	A
Jumlah Konduktor Sumbu Y ((Ly/Dy)+1)	16	n_x
Jumlah Konduktor Sumbu X ((Lx/Dx)+1)	13	n_x
Panjang total konduktor grid ($n_y.l_x + n_x.l_y$)	1916	L_c
Panjang total ground rod (L_r x n_R)	67,1 m	L_R
Panjang total konduktor grid & rod ($L_c + L_R$)	1983,1 m	L_T
Jarak Maksimum 2 titik grid	95,6 m	D_m
Keliling grid [2.(Lx+Ly)]	268 m	L_P
Decrement Factor	1,013	D_f
Arus grid simetris (I_{k1} x S_f)	18000 A	I_g
Arus Maksimum Grid (I_g x Df)	18234 A	I_G

Perhitungan Ukuran Konduktor Grid

Konduktor yang digunakan adalah Kawat Tembaga (Commercial Hard-Drawn), sehingga sesuai standar dari IEEE std 80-2013 [2], didapat data konduktor sebagai berikut :

Tabel 3. Konstanta Material Konduktor Grid

Description	Material Conductivity (%IACS)	α_r Factor at 20°C (1/°C)	K0 at 0°C (0° C)	Fusing Temperature *Tm* (°C)	ρ_r at 20°C (μΩ-cm)	Thermal Capacity TCAP [J/(cm^3.°C)]
Copper, commercial hard-drawn	97,0	0,00381	242	1084	1,78	3,4

Dari data diatas, maka ukuran (luas area) konduktor minimal yang akan digunakan adalah:

$$\boldsymbol{A} = \frac{I}{\sqrt{\frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c\ \alpha_r\ \rho_r} * ln\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}}} = \mathbf{107,26}\ mm^2$$

Dimana : A : Luas area konduktor (mm^2); I : Arus ganguan (kA) ;TCAP : Thermal Capacity konduktor (J/(cm^3.°C); tc : Durasi arus (s); α_r : Koefisien suhu tahanan berdasarkan suhu; ρ_r : Tahanan konduktor (μΩ/cm); K_0 : 1/α_r; Tm : Suhu maksimum yang diizinkan (°C); T_a : Suhu lingkungan (°C).

Dengan hasil perhitungan tersebut diatas, kita sesuaikan dengan ukuran konduktor yang tersedia dipasaran, atau sesuai ukuran minimal pada standar SPLN T5.012-2020 yaitu 150 mm2 [1].

Perhitungan Resistansi Total Sistem Pembumian

Untuk mengetahui resistansi total sistem pembumian (R_g) digunakan rumus Schwarz [2] yaitu :

$$\boldsymbol{R_g} = \frac{R_1\ R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} = \mathbf{0,228}\ \Omega$$

Dimana variable-variabelnya didapat dari perhitungan di bawah ini :

$$\boldsymbol{R_1} = \frac{\rho}{\pi L_c}\left[\ln\left(\frac{2L_c}{a'} + \frac{k_1\ .\ L_c}{\sqrt{A}} - k_2\right]\right. = \mathbf{0,228}\ \Omega$$

$$\boldsymbol{R_2} = \frac{\rho}{2\pi n_R L_r}\left[ln\left(\frac{4L_r}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1\ .\ L_r}{\sqrt{A}}\left(\sqrt{n_R} - 1\right)^2\right] = \mathbf{0,586}\ \Omega$$

$$\boldsymbol{R_m} = \frac{\rho}{\pi L_c}\left[ln\left(\frac{2L_c}{L_r}\right) + \frac{k_1.L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1\right] = \mathbf{0,215}\ \Omega$$

Dimana : R_1 = Tahanan pentanahan grid (Ω); R_2 = Tahanan Pentanahan rods (Ω); R_m = Tahanan mutual (bersama) (Ω); ρ = Tahanan tanah (Ω.m); L_c = Panjang total konduktor grid (m)=; a' = √(a.2h) untuk kedalaman (h) penanaman konduktor grid (m); 2a = diameter konduktor (m); A = luas permukaan konduktor (m2); k_1, k_2 = koefisien rumus Schwarz.

Perhitungan Faktor Reduksi Nilai Resistivitas Permukaan Tanah

Pada area *switchyard* gardu induk, permukaan tanah dilapisi menggunakan lapisan batuan pecah atau biasa disebut gravel. Lapisan ini menambah tahanan kontak antara permukaan tanah dengan kaki dari personil/operator gardu induk. Kenaikan tahanan kontak ini menyebabkan arus yang melalui tubuh akan sangat berkurang. Penurunan tersebut tergantung pada nilai tahanan permukaan tanah, nilai tahanan material diatas permukaan tanah, dan ketebalan material tersebut. Faktor penurunan tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [2] :

$$C_s = 1 - \frac{0.09\left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} = \mathbf{0,817}$$

Dimana : Cs = Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah; ρ = Tahanan material permukaan (Ω.m); ρs = Tahanan tanah (Ω.m).

Perhitungan Kenaikan Tegangan Tanah

Ketika gangguan terjadi, arus gangguan mengalir melalui tanah menghasilkan potensi kenaikan tegangan tanah. *Ground Potential Rise* (GPR) atau kenaikan tegangan tanah terjadi karena adanya arus yang mengalir pada sistem yang dibumikan. Sesuai [1] maka Faktor pembagi arus hubung singkatnya adalah 60 %, sehingga didapat arus maksimum grid (I_g) sebesar 18.234 A, dan nilai *Decrement factor* sesuai [2] sebesar 1,013. Sehingga kenaikan tegangan Tanah (*Ground Potential Rise*) sebesar :

$$GPR = R_g x I_g = 4.150\ V$$

Dimana : I_g = Arus Maksimum Grid (A); R_g = Tahanan Pentanahan (Ω)

Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang Diizinkan

Menurut IEEE 80 – 2013, kriteria tegangan sentuh dan tegangan langkah yang digunakan sebagai dasar desain sistem pembumian adalah untuk berat badan 50 kg dan 70 kg [2]. Rumus untuk perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan adalah :

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s.\rho_s)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = \mathbf{2.960,74}\ \text{V}$$

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s.\rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} = \mathbf{4.007,21}\ \text{V}$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_s.\rho_s)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = \mathbf{827,19}\ \text{V}$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_s.\rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} = \mathbf{1.119,5}\ \text{V}$$

Dimana : Estep = Tegangan langkah yang diizinkan (V); Etouch = Tegangan sentuh yang diizinkan (V); 1000 = Tahanan tubuh yang diasumsikan 1000 (Ω) [1]; Cs = faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah; ρs = Tahanan jenis permukaan material (Ω.m); ts = Durasi/lama gangguan, waktu pemutusan (s).

Perhitungan Tegangan Mesh (Tegangan Sentuh Sebenarnya)

Tegangan *Mesh* (E_m) dapat dihitung dengan rumus [2] :

$$E_m = \frac{\rho.K_m.K_i.I_G}{L_M} = \mathbf{735,59}\ V$$

Dimana, variable-variabel tersebut didapat dengan rumus [2] :

$$K_m = \frac{1}{2.\pi}.\left[ln\frac{D^2}{16.h.D} + \frac{(D+2.h)^2}{8.D.d} - \frac{h}{4.d}\right] + \frac{K_{ii}}{K_h}.ln\left[\frac{8}{\pi(2.n-1)}\right] = \mathbf{0,97}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2.n)^{\frac{2}{n}}} = \mathbf{1} \qquad K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = \mathbf{1,225} \qquad K_i = 0.644 + 0.148n = \mathbf{2,77}$$

$$n = n_a.n_b.n_c = \mathbf{14,36} \qquad n_a = \frac{2.L_c}{L_p} = \mathbf{14,3}$$

$n_b = 1{,}00$ (untuk grid persegi); $n_c = 1{,}00$ (untuk grid persegi, dan persegi panjang); $n_d = 1{,}00$ (untuk grid persegi, persegi panjang, dan bentuk "L").

$$\boldsymbol{L_M} = L_C + \left[1{,}55 + 1{,}22\left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}\right)\right] L_R = \mathbf{2022{,}62}\ m$$

Dimana : Kii = Faktor koreksi pembobotan efek konduktor di ujung mesh; Kh = Faktor koreksi pembobotan efek kedalaman grid; Ki = Faktor koreksi geometri grid; Km = Faktor jarak untuk Tegangan mesh; ρ = Tahanan tanah (Ω.m); h = Kedalaman pemasangan konduktor (m); hs = Ketebalan lapisan diatas permukaan (m); I_G = Arus maksimum Grid (A); D = Jarak antar konduktor yang diparalel (m); d = Diameter konduktor Grid (m); n = jumlah konduktor grid efektif yang diparallel; L_M = Panjang konduktor efektif yang tertanam (m); L_C = Panjang total konduktor horizontal (m); Lr = Panjang ground rod (m); Lx = Panjang grid sumbu x (m); Ly = Panjang grid sumbu y (m); LR = Panjang total ground rod (m).

Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan Langkah (E_s) dapat dihitung dengan rumus [2] :

$$E_m = \frac{\rho . K_m . K_i . I_G}{L_M} = 450{,}78\ V$$

Dimana, variable-variabel tersebut didapat dengan rumus [2] :

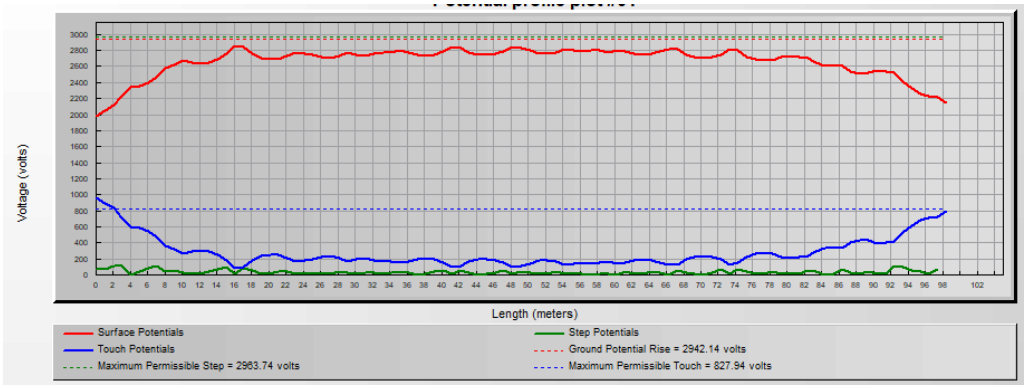
$$L_s = 0{,}75\ .\ L_C + 0{,}85\ .\ L_R = 1495{,}035\ V$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} . \left[\frac{1}{2.h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}(1 - 0.5^{n-2})\right] = 0{,}440$$

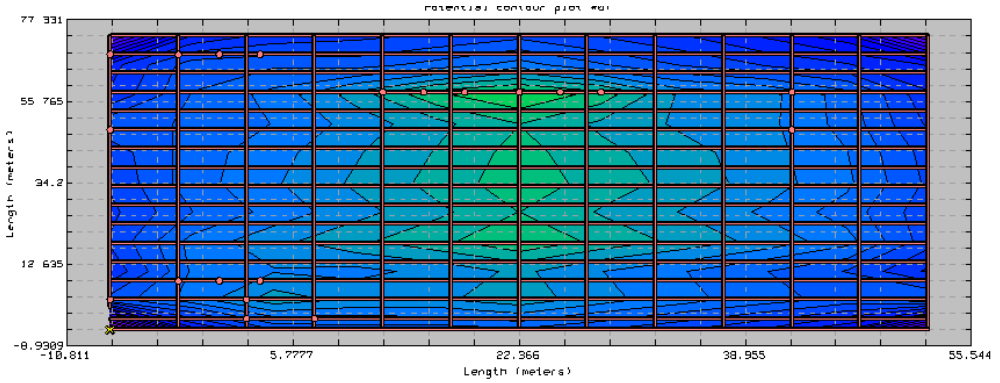
Dimana : Ls = Panjang konduktor efektif yang tertanam (m); Ks = Faktor jarak untuk tegangan langkah; Ki = Faktor koreksi geometri grid; ρ = Tahanan tanah (Ω.m); h = Kedalaman pemasangan konduktor (m); hs = Ketebalan lapisan diatas permukaan (m); I_G = Arus maksimum Grid (A); D = Jarak antar konduktor yang diparalel (m); d = Diameter konduktor Grid (m); n = jumlah konduktor grid efektif yang diparallel.

Simulasi Menggunakan Software CYMGRD

Hasil simulasinya adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Potential Profile Plot



Gambar 2. Potential Contour Plot

Dapat dilihat pada Gambar 1. Bahwa grafik tegangan permukaan (grafik warna merah) masih dibawah *GPR*, tegangan sentuh sebenarnya (grafik warna biru) masih dibawah tegangan sentuh yang diizinkan (927,94 V) dan tegangan langkah sebenarnya (grafik warna hijau) masih dibawah dari tegangan langkah yang diizinkan (2963,74 V). Serta pada Gambar 2. Ditunjukkan bahwa area grid berada pada range hijau (0%), biru muda (33%) dan biru tua (67%) dan tidak terdapat area yang berwarna ungu (100%) dan merah (133%), sehingga semua daerah dalam keadaan aman untuk personil dan peralatan apabila terjadi gangguan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain dan perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa bentuk sistem pembumian yang digunakan adalah berbentuk persegi panjang dimana jarak masing-masing grid yang terpasang adalah 5 meter, sehingga total panjang konduktor (Grid & Rod) yang digunakan adalah 1983,1 meter; Tahanan pembumian grid sebesar 0,228 Ω dengan hasil memenuhi standar sesuai [1] sebesar $\leq$ 0,5 Ω; Tegangan mesh/tegangan sentuh sebenarnya (735,59 V) lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan (827,19 V dan 1119,55 V); Tegangan Langkah sebenarnya (450,78 V) lebih kecil daripada tegangan langkah yang diizinkan (2960,74 V dan 40007,21 V). Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain sistem pembumian ini memenuhi kriteria / standar yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] SPLN T5-012:2020, "PEMBUMIAN PADA GARDU INDUK DAN JARINGAN TRANSMISI." PT. PLN, 2020.
[2] IEEE std 80-2013, *IEEE guide for Safety in AC Substation Grounding*, 2013.
[3] D. J. Sinaga, "Desain Sistem Pentanahan yang Efektif pada Gardu Induk 2 X 250 MVA Sistem 275 KV Sarulla," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2019.
[4] I. G. A. Widya W.S., "PEMODELAN DAN ANALISA PERLINDUNGAN GARDU INDUK DARI SAMBARAN PETIR LANGSUNG DI PT.PLN(PERSERO) GARDU INDUK 150kV SUKOLILO-SURABAYA MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK EMTP-RV," Institut Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016
[5] A. Nasution, "PERANCANGAN APLIKASI SISTEM PENTANAHAN GRID GARDU INDUK UNTUK AREAL TANAH LAPIS DUA," Universitas Sumatera Utara, 2020.