

ANALISIS SISTEM PEMBUMIHAN GARDU INDUK DENGAN MENGGUNAKAN ETAP DAN MATLAB

Desman Jonto Sinaga^{1*}, Dian Putra Saragi², Michael Fritz Immanuel³, Muhammad Ashari⁴, Selly Annisa Binti Zulkarnain⁵, Saras Pratama⁶

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan; Jalan Willem Iskandar Psr.V - Kotak Pos No.1589 - Medan 20221

⁵Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan; Jalan Willem Iskandar Psr.V - Kotak Pos No.1589 - Medan 20221

⁶Penidikan Teknologi Informatika dan Komputer, Universitas Negeri Medan; Jalan Willem Iskandar Psr.V - Kotak Pos No.1589 - Medan 20221

Keywords:

Disain pentanahan, gardu induk, tegangan langkah, tegangan sentuh.

Correspondent Email:

desmansinaga@unimed.ac.id



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Abstrak. Perancangan sistem pentanahan yang andal bertujuan untuk dua hal utama. Pertama, sebagai jalur penghantar arus listrik ke tanah baik saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan, tanpa melebihi batas toleransi peralatan serta tetap menjaga kontinuitas operasional sistem. Kedua, untuk meminimalkan risiko bahaya sengatan listrik bagi individu yang berada di sekitar instalasi listrik. Pada umumnya, sistem pembumihan gardu induk saat ini menggunakan kombinasi antara grid dan batang pentanahan (rod). Penelitian ini mengevaluasi sistem pentanahan gardu induk dengan melakukan analisis perbandingan antara hasil simulasi dari perangkat lunak ETAP dan MATLAB. Konfigurasi sistem pentanahan yang dianalisis berbentuk persegi panjang. Berdasarkan standar keamanan, nilai maksimum tegangan sentuh yang diperbolehkan untuk seseorang dengan berat 50 kg adalah 1403,45 Volt, dan untuk tegangan langkah adalah 5025,58 Volt. Sementara itu, untuk individu dengan berat 70 kg, batas aman tegangan sentuh adalah 1899,9 Volt dan tegangan langkah mencapai 6801,9 Volt.

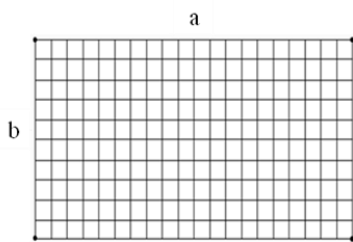
Abstract. The design of a reliable grounding system aims for two main things. First, as a path for conducting electric current to the ground both under normal conditions and during disturbances, without exceeding the equipment tolerance limit and maintaining the continuity of system operations. Second, to minimize the risk of electric shock hazards for individuals around the electrical installation. In general, the current substation grounding system uses a combination of grids and grounding rods. This study evaluates the substation grounding system by conducting a comparative analysis between the simulation results from ETAP and MATLAB software. The grounding system configuration analyzed is rectangular. Based on safety standards, the maximum touch voltage value allowed for a person weighing 50 kg is 1403.45 Volts, and for step voltage is 5025.58 Volts. Meanwhile, for an individual weighing 70 kg, the safe limit for touch voltage is 1899.9 Volts and step voltage reaches 6801.9 Volts.

1. PENDAHULUAN

Pada prinsipnya, desain pentanahan yang aman memiliki dua tujuan Sebagai sarana untuk mengalirkan arus listrik ke bumi di bawah kondisi normal dan gangguan tanpa melebihi

batas operasi dan peralatan atau mempengaruhi kesinambungan layanan. Tujuan berikutnya adalah untuk mengurangi risiko seseorang di sekitar fasilitas yang terkena bahaya kejutan Listrik [7]. Parameter kinerja yang

memiliki dampak besar pada desain pentanahan antara lain: arus grid maksimum (I_g), durasi kesalahan (t_f), durasi guncangan (t_s), tahanan tanah (ρ), tahanan jenis (ρ_s), jarak konduktor, dan kedalaman grid pentanahan memiliki dampak paling besar pada tegangan jala, sedangkan diameter konduktor dan ketebalan permukaan material memiliki dampak yang tidak terlalu signifikan [1]. Istem pentanahan grid merupakan jenis pembumian yang sering diterapkan pada gardu induk karena memiliki sejumlah keunggulan dibanding metode pembumian lainnya [2]. Dalam sistem ini, penghantar-penghantar logam ditanam di dalam tanah pada kedalaman tertentu secara sejajar dengan permukaan tanah dan saling terhubung membentuk jaringan. Untuk menurunkan nilai resistansi tanah dan memastikan tegangan antara peralatan dan tanah tetap berada dalam ambang batas aman, sistem grid ini sering digabungkan dengan penggunaan batang pentanahan (rod) [3] [6].



Gambar 1. bentuk persegi Panjang

Penggunaan perangkat lunak dalam disain sistem pentanahan adalah membandingkan dan mengevaluasi metodologi yang digunakan dengan tujuan memberikan analisis pentanahan pada gardu. Tujuan spesifiknya adalah sebagai berikut:

- Membandingkan persamaan dan metode yang ditemukan.
- Mengilustrasikan variasi dalam kerumitan grid sederhana dibandingkan yang lebih kompleks dan saling berhubungan sistem pembumian, dan mendemonstrasikan beberapa keterbatasan metode atau perangkat lunak.
- Memberikan dasar untuk memeriksa keakuratan perangkat lunak atau metodologi lain atau yang akan datang.

Seluruh metode, baik rumus sederhana atau pemodelan komputer yang rumit, melibatkan beberapa perkiraan atau asumsi untuk analisis dasar, dengan demikian, tidak ada representasi

yang dibuat bahwa hasil ini tepat. Untuk setiap kategori analisis, beberapa metode dibandingkan dan hasilnya ditabulasikan. Hasil ini juga ditinjau oleh pengembang program komputer [1] [13] [14].

TINJAUAN PUSTAKA

Desain Sistem Pentanahan

Dalam menjaga keamanan operasional gardu induk, salah satu aspek krusial yang harus diperhatikan adalah tegangan langkah dan tegangan sentuh aktual tidak boleh melampaui batas maksimum yang diperkenankan. Proses perancangan sistem pembumian dimulai dengan melakukan survei lokasi, merancang tata letak, serta menentukan area yang akan dipasang sistem pentanahan. Salah satu pendekatan untuk meningkatkan keselamatan sistem pentanahan ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu melalui desain konfigurasi berbentuk bujur sangkar. Berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Thapar dan Gerez, sistem pentanahan dapat dirancang dalam berbagai bentuk seperti bujur sangkar dengan ukuran sisi a dan b antara 20 hingga 150 meter, bentuk L dengan panjang a dan d sekitar 10 sampai 80 meter, serta bentuk T dengan dimensi a dan b antara 5 hingga 100 meter [8][9].

GPR (Ground Potential Rise)

Ground Potential Rise (GPR) atau kenaikan tegangan tanah terjadi akibat mengalirnya arus listrik pada sistem yang terhubung ke tanah. Besarnya nilai GPR ini dapat dihitung menggunakan metode yang telah dijelaskan dalam referensi [1] dan [4].

$$GPR = IG \times R_g \quad (1)$$

dimana:

IG = arus gangguan (A)

R_g = tahanan pentanahan (Ohm).

Tegangan langkah dan Tegangan sentuh

Tegangan langkah merupakan perbedaan potensial yang muncul antara kedua kaki seseorang yang berdiri di atas permukaan tanah saat arus listrik mengalir melaluinya.

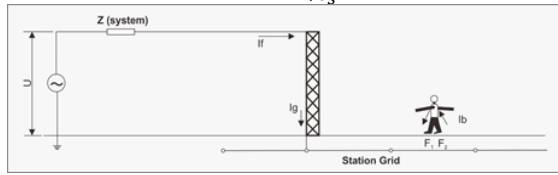
$$E_{step} = (R_B + 2R_f)I_B \quad (2)$$

Batas nilai dari tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 kg dan 70 kg ditunjukkan melalui Persamaan (3) dan (4) [15].

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (3)$$

untuk berat badan 70 kg

$$E_{\text{step}70} = (1000 + 6C_s \times \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (4)$$



Gambar 2. Tegangan langkah

Sedangkan Tegangan sentuh merupakan beda potensial antara suatu benda yang disentuh dengan titik di tanah yang berjarak satu meter dari benda tersebut, dengan asumsi bahwa benda tersebut terhubung ke sistem pembumian berupa kisi-kisi di bawahnya.

Batas nilai dari tegangan sentuh yang diizinkan ditunjukkan melalui persamaan (5) dan (6) [1],[5]:

$$E_{\text{touch}} = \left(R_B + \frac{R_f}{2}\right) I_B \quad (5)$$

untuk berat badan 50 kg

$$E_{\text{touch}50} = (1000 + 1.5C_s \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (6)$$

untuk berat badan 70 kg

$$E_{\text{touch}70} = (1000 + 1.5C_s \times \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (7)$$

dimana,

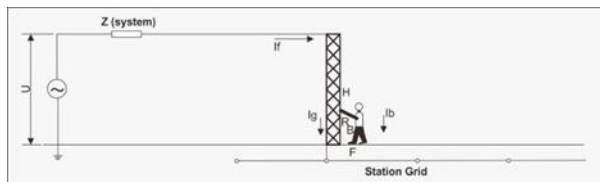
E_{step} = tegangan step (V)

E_{touch} = tegangan sentuh (V)

C_s = faktor reduksi

ρ_s = resistivitas material permukaan ($\Omega\cdot\text{m}$)

t_s = lama waktu gangguan (s)



Gambar 3. Tegangan sentuh

Untuk menentukan jumlah grid yang digunakan dalam sistem pentanahan, dapat diterapkan metode berbasis empat komponen berbentuk persegi yang dikembangkan oleh Thapar, Gerez, Balakrishnan, dan Blank. Dalam pendekatan ini, jumlah konduktor paralel yang efektif dapat direpresentasikan baik dalam konfigurasi persegi panjang maupun bentuk tak beraturan, yang setara dengan jumlah konduktor paralel pada susunan persegi panjang [10]. Total panjang konduktor pada sistem pentanahan yang menggabungkan grid dan batang pentanahan (rod) dapat dihitung menggunakan persamaan (8).

$$L_T = L_g + L_r \quad (8)$$

Panjang konduktor pada sistem pentanahan berbentuk persegi dapat dihitung dengan merujuk pada Persamaan (9) dan Persamaan (10). [11] [12]:

$$L_g = (L_x \cdot n_y) + (L_y \cdot n_x) \quad (9)$$

$$L_T = L_g + L_r \cdot N_r \quad (10)$$

dimana:

L_T = Panjang total konduktor (m)

L_r = Panjang rod (m)

L_g = Panjang konduktor grid (m)

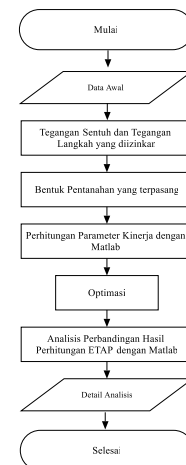
N_r = Banyak rod

n_x = jumlah batang konduktor sejajar sumbu x (m)

n_y = jumlah batang konduktor sejajar sumbu y (m)

METODE PENELITIAN

Dalam proses penelitian ini bentuk pentanahan yang dianalisis adalah persegi panjang, menggunakan kombinasi grid dan rod. Hasil perhitungan parameter kinerja dari bentuk-bentuk pentanahan tersebut dibandingkan menggunakan perangkat lunak ETAP dan perangkat lunak Matlab. Hal-hal yang dihitung antara lain, nilai R_g , GPR , V_{step} , V_{touch} dengan berdasarkan IEEE std. 80-2013. Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk 2 x 250 MVA sistem 275 kV Sarulla, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah Perangkat Lunak ETAP, Perangkat Lunak Matlab dan PC. Data-data yang dibutuhkan adalah data sistem pentanahan yang terpasang pada gardu induk tersebut.



Gambar 4. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaturan grid dan rod pada ETAP

Pengaturan grid dan rod pada ETAP

Total panjang konduktor dari hasil kombinasi grid dan rod adalah hasil penjumlahan panjang

konduktor yang digunakan secara horizontal (LC) dengan panjang konduktor rod (Lr) :

$$L = L_g + L_r$$

$$= [(11 \times 200) + (21 \times 100)] + (4 \times 1.5)$$

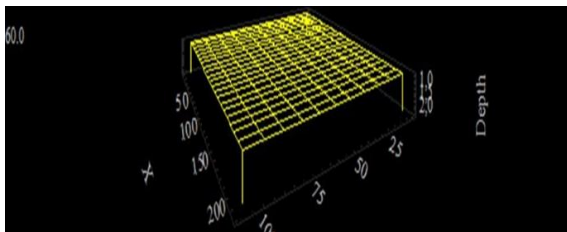
$$= 4306 \text{ m}$$

jumlah batang konduktor yang terpasang pada sumbu x adalah 11 batang, pada sumbu y adalah 21 batang dengan panjang konduktor masing-masing konduktor yang sejajar dengan sumbu x adalah 200 meter dan yang sejajar dengan sumbu y adalah 100 meter. Konduktor ditanam dengan kedalaman 0.8 meter, pemasangan rods sebanyak 4 batang berdiameter 1,733 cm dengan panjang masing-masing rods adalah 1,5 meter.

Tabel 1. Pengaturan grid dan rods

Luas Area		Konduktor Grid		Konduktor Rods				
		Jumlah Konduktor or		Ukuran (sqm m)	D (m)	Jumlah	d (cm)	P (m)
Lx (m)	Ly (m)	X	Y					
200	100	21	11	150	0,8	4	1,733	1,5

Tampilan kombinasi antara *grid* dan *rod* kondisi awal sistem pentanahan garduinduk 2 x 250 MVA sistem 275 kV Sarulla pada ETAP ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5. Kombinasi antara grid dan rod

Studi kasus dan hasil perhitungan pada ETAP

Pengaturan besarnya arus gangguan, lamanya waktu gangguan, berat badan manusia dan hasil perhitungan ETAP terhadap sistem pentanahan yang terpasang pada Gardu Induk 2 x 250 MVA Sistem 275 kV Sarulla ditunjukkan pada Tabel 2.

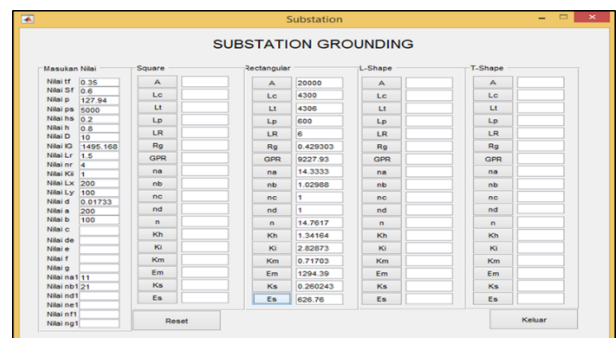
Tabel 2. Studi kasus dan hasil perhitungan ETAP

Studi Kasus				Tegangan Yang diizinkan (V)		Hasil Perhitungan			
Berat Badan	tf (s)	Ifg (kA)	grd (m)	Vtouch (V)	Vstep (V)	Vtouch (V)	Vstep (V)	GP R	Rg (Ohm)

			ro ds						
50 kg	0,35	31,76	Ya	1403,5	5025,5	1253,1	580,4	8680,2	0,436
70 kg	0,35	31,76	Ya	1899,5	6801,9	1253,1	580,4	8680,2	0,436

Hasil perhitungan menggunakan MATLAB

Data yang diinput dan hasil perhitungan sistem pentanahan yang terpasang pada Gardu Induk 2 x 250 MVA Sistem 275 kV Sarulla dengan parameter kinerja menggunakan MATLAB ditunjukkan pada Gambar 5. dan Tabel 3.



Gambar 6. Hasil perhitungan menggunakan Matlab

Tabel 3. Hasil Perhitungan menggunakan MATLAB

Input Data		Hasil	
Waktu Gangguan (tf)	0,35 s	A	20000 m2
Faktor Pembagi Arus (Sf)	0,6	Lc	4300 m
Tahanan Jenis (p)	127,94 Ohm	Lt	4306 m
Ketebalan Baru Korat (ps)	0,2 m	Lp	600 m
Kedalaman grid (h)	0,8 m	LR	6 m
Jarak Antar Konduktor	10 m	Rg	0,43 Ohm
Arus Gangguan (IG)	21495,168 A	GPR	9227,93
Kedalaman Rods (Lr)	1,5 m	na	14,34
Jumlah Rods (Nr)	4	nb	1,03
Kii	1	N	14,77
panjang Area (Lx)	200	Kh	1,34
Lebar Area (Ly)	100	Ki	2,8
Diamater Konduktor (d)	0,01733 m	Km	0,7
Jumlah Konduktor sejajar sumbu y	11	Vtouch	1294,39 V
Jumlah Konduktor sejajar sumbu x	21	Vstep	626,76 V

Perbandingan hasil perhitungan sistem pembumian yang diterapkan pada Gardu Induk Sarulla berkapasitas 2 x 250 MVA dengan sistem 275 kV menggunakan perangkat lunak ETAP dan MATLAB ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak ETAP dan MATLAB

Software	GPR (V)	Rg (Ohm)	Tegangan yang diizinkan (V)				Tegangan yang sebenarnya (V)		Ket
			Vtouch 70	Vstep 70	Vtouch 50	Vstep 50	Vmesh	Vstep	
MATLAB	92,27,9	0,429	189,5	68,01,9	140,3,45	50,25,58	12,94,4	6,26,7	Aman
ETAP	86,80,2	0,436					12,53,1	5,80,4	Aman

KESIMPULAN

Sistem pembumian yang diterapkan pada Gardu Induk Sarulla 2 x 250 MVA dengan tegangan 275 kV dikategorikan aman, dengan total panjang konduktor mencapai 4306 meter. Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak ETAP dan MATLAB, nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah aktual berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan. Selain itu, nilai tahanan pentanahan juga tergolong aman karena masih berada di bawah 1 Ohm, sesuai dengan standar IEEE 80-2013.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada seluruh staf di PT. PLN UIP II.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Hassan, E. N. Abdallah and A. N. Abbasy, "Design and simulation of interconnected A.C substation grounding grid in oil & gas industries," IEEE 2012 Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers. 6-9 March 2012.
- [2] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std. 80-2013, 2013
- [3] C. S. Payshetti, H. J. Padhav, S. Kulkarani, "Analysis of Grounding grid of Substation," IEEE *International Conference on circuits Power and Computing Technologies*. 20-21 April 2017
- [4] H. N. Amadi, "Design of Grounding System for A.C. Substations with Critical Consideration of the Mesh, Touch and Step Potentials," *European Journal of Engineering and Technology*. vol. 5, no. 4, pp. 44-57, Nov 2017.
- [5] Omar Abouzeid, Abdul Syakur, Hermawan, "Design of Grounding System at 150 KV Krapyak Substation by Grounding System Software," *International Journal of Engineering Science and Computing*. vol. 8, no. 4, pp. 17178–17185, Apr. 2018.
- [6] Hendra Firnando, Dasrinal Tessel, Abdul Manab, "Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal di Gedung B Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*. vol 12, no. 3, pp. 2295 – 2303, Agustus 2024.
- [7] Agus Pranoto, Hans Tumaliang, Glanny M.Ch. Mangindaan "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi), " *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. vol 7, no. 3, pp 189 – 198, Juli – Oktober 2018.
- [8] Desman Jonto Sinaga, "Desain Sistem Pentanahan yang Efektif pada Gardu Induk 2 X 250 MVA Sistem 275 KV Sarulla," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2019.
- [9] Rizaldy Diamanis, Hans Tumaliang, Fielman Lisi, "Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 dan 6" *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. vol. 7, no. 3, pp. 239 – 250, Juli – Oktober 2018.
- [10] Friska Rizqi Pratiwi, Agus Suryanto, "Analisis Sistem Grounding pada Gardu Induk 150KV Temanggung dengan Simulasi Software ETAP" *Jurnal Teknik Elektro Uniba*. vol. 5, no. 2, pp 1-9, April 2021.
- [11] Anang Tri Wibowo, I Made Wartana, "Pentanahan Grid Standart IEEE 80-2000 pada Gardu Induk Kraksaan Probolinggo untuk Meningkatkan Keamanan Sistem Pentanahan," *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*. vol. 7, no. 2, pp. 79 – 87, 2023.
- [12] H. N. Amadi, "Design of Grounding System for A.C. Substations with Critical Consideration of the Mesh, Touch and Step Potentials," *European Journal of Engineering and Technology*. vol. 5, no. 4, pp. 44-57, Nov 2017.

- [13] Hnin Ei Shwe, Wunna Swe, “Design Optimization Analysis of Ground Grid in Extra High Voltage Substation using ETAP Software,” *The Indonesian Journal of Computer Science*. vol. 14, no. 1, pp. 586 – 598, February 2025.
- [14] Prateep Kapijan, Siriwat Potivejkul and Peerawut Yutthagowith, “Grounding System Design of Substation Using Matlab Program,” *IEEE 5th International Electrical Engineering Congress*. March. 2017.
- [15] Surya Hardi, R Andira, I Nisja, B Octrialdi, M Pinem, “Economic Design of Substation Grounding Grid using ETAP Software: A Case Study of 2 x 500 MVA Galang Substation,” *Journal of Physics: Conference Series*. 2021.