

KONDUKTOR ALUMINIUM PADA SISTEM GROUNDING

Galuh Renggani Wilis

Dosen Prodi Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal

Abstrak

Grounding adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik, petir, dll. Tujuan utama dari adanya pentanahan adalah menciptakan jalur yang low-impedance (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan transient voltage. Konduktor grounding (ground grid) dan batang grounding (ground rod) adalah bagian dari grounding yang berperan untuk menyalurkan arus dari satu bagian ke bagian lain, harus jenis penghantar yang baik, kuat secara mekanis dan dilindungi untuk menjaga kemungkinan gangguan mekanis yang dapat menyebabkan turunnya daya hantar ataupun terputus. Ground rod adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan sebagai kontak langsung dengan tanah. Penelitian ini diawali dengan studi literature kemudian mengumpulkan data – data untuk menghitung luas material grounding. Perencanaan konduktor grounding meliputi elektroda, jaringan, ground mat, system grounding. Pengukuran tahanan grounding membutuhkan tanah yang mempunyai nilai tahanan berharga nol. Dengan rumus Schwarz, perhitungan arus maksimum, perhitungan ukuran konduktor, tahanan jenis konduktor, didapat bahwa ukuran konduktor aluminium yang digunakan adalah 95 mm^2 . Tahanan thermal $1,951 \text{ Ohm}$, tegangan langkah $69,1 \text{ volt}$ dan tegangan sentuh 243 volt . Kesimpulan yang diambil adalah aluminium dapat digunakan sebagai bahan alternatif konduktor grounding pengganti tembaga.

Kata kunci : *konduktor, grounding, aluminium*

PENDAHULUAN

Grounding adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik, petir, dll. Tujuan utama dari adanya pentanahan adalah menciptakan jalur yang low-impedance (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan transient voltage. Konduktor grounding (ground grid) dan batang grounding (ground rod) adalah bagian dari grounding yang berperan untuk menyalurkan arus dari satu bagian ke bagian lain, harus jenis penghantar yang baik, kuat secara mekanis dan dilindungi untuk menjaga kemungkinan gangguan mekanis yang dapat menyebabkan turunnya daya hantar ataupun terputus. Ground rod adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan sebagai kontak langsung dengan tanah.

Aluminium merupakan konduktor listrik yang baik. Namun dalam banyak hal, kebanyakan digunakan pada kabel bertegangan tinggi.

Konduktor pada grounding yang biasanya banyak dipakai adalah bahan tembaga, namun karena biaya untuk material tembaga cukup tinggi dan banyak terjadinya pencurian tembaga, diambil aluminium sebagai alternative pengganti karena memiliki sifat penghantar listrik yang baik dan harga yang lebih murah.

Rumusan Masalah

Penelitian ini membahas tentang:

1. Berapa tahanan tanah yang dihasilkan aluminium?
2. Berapa tegangan langkah yang dihasilkan aluminium?
3. Berapa tegangan sentuh yang dihasilkan oleh aluminium?

LANDASAN TEORI

Konduktor adalah Semua bahan yang dapat mengalirkan arus dengan mudah, contohnya tembaga, aluminium dll. Bahan konduktor yang digunakan untuk saluran listrik dan kabel harus mempunyai rugi daya yang kecil ketika dialiri arus yang besar (untuk kabel yang mana rugi daya dan temperaturnya harus kecil).

Konduktifitas dan Resistifitas

Ada dua jenis resistifitas pada konduktor, umumnya resistifitas volume bekerja ditentukan oleh arus yang mengalir didalam bahan tersebut.

Resistifitas Bahan

Resistifitas volume, atau sederhananya adalah resistifitas (tahanan), dari suatu bahan adalah tahanan antara dua permukaan yang berbeda paralel permukaan pada bagian bahan konduktor yang mempunyai panjang satu satuan (1m) dan luas permukaan (1m²). Resistifitas bahan dinyatakan dengan ρ , dengan satuan adalah $\Omega \cdot m$. Tahanan konduktor adalah dinyatakan dengan R yaitu :

$$R = \frac{L\rho}{a} \quad (1)$$

Dimana :

R adalah tahanan dari bahan dalam Ohm (Ω)

ρ adalah resistivitas bahan dalam ohm-m

L adalah panjang dari penghantar dalam m

A adalah luas penampang penghantar dalam m²

Konduktifitas Bahan

Konduktivitas dari bahan adalah suatu sifat dari bahan yang dapat menghantarkan arus listrik. Konduktivitas dari bahan adalah konduktansi antar permukaan yang berlawanan dari bahan yang mempunyai satuan panjang (1m) dan luas penampang (1m²). Konduktansi dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = \frac{1}{R} = \frac{a}{L\rho} = \frac{a}{L} Q \quad (2)$$

Dimana Q adalah sebagai konduktivitas dari bahan akan berbanding terbalik dengan resistansi.

Faktor yang mempengaruhi resistifitas penghantar adalah temperature.

Tahanan dari konduktor akan berubah sesuai perubahan temperature

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

Jika bahan sama pada temperature berbeda :

$$R_T = R_o (1 + \alpha T)$$

Substitusi :

$$R_T = R_t \{ 1 + \alpha (T-t) \}$$

$$\alpha = \frac{R_T - R_t}{R_t (T - t)}$$

Tahanan pada t^oC adalah jumlah tahanan pada 0^oC dan penambahan dari tahanan =

$$R_t = R_o + \alpha R_o (T - 0)$$

$$= R_o (1 + \alpha T)$$

Tabel 1. Prosentase konduktifitas dari beberapa bahan

Metal	Resistivity ($\mu \Omega \text{ cm. } 20^\circ \text{C}$)	Percentage Conductivity (%, 20°C)
Silver	1.62	106
Copper	1.72	100
Gold	2.40	71.6
Aluminium	2.62	65.6

Sifat Bahan alumunium dan campurannya:

a. Aldrey

Aldrey adalah nama yang paling dikenal pada campuran Al, yang mengandung Si (0.5 – 0.6%), Mg (0.4%), dan Fe (0.3%) yang dipisahkan dari Mg Si. Kekuatan mekanisnya sama dengan kekuatan mekanis tembaga keras, sehingga biasanya digunakan untuk saluran transmisi dengan jarak pendek.

b. Campuran Al tahan panas

Campuran Al tahan panas mempunyai sifat tahan terhadap panas. Campuran

ini dapat digunakan pada temperatur 150°C dengan waktu yang lama. Campuran ini dapat mengalirkan daya 50% lebih baik dibandingkan dengan kawat aluminium keras sehingga campuran ini sangat populer penggunaannya.

Grounding (Pentanahan)

Pentanahan peralatan adalah penghubungan bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh potensial yang merata dalam suatu bagian struktur dan peralatan serta untuk memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan balik arus hubung singkat ke tanah dengan batang- batang pentanahan (rods). Bila arus hubung singkat ke tanah dipaksakan mengalir melalui tanah dengan tahanan yang tinggi akan menimbulkan perbedaan tegangan yang besar dan berbahaya.

Secara prinsip, grounding untuk keselamatan kerja menuju ke dua hal :

1. Mengalirkan arus ke tanah baik dalam keadaan normal maupun dalam kondisi gangguan tanpa melebihi batas operasi dan kapasitas peralatan atau menghindari gangguan terhadap kelangsungan kerja sistem. \
2. Menjamin keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan kejut pada sekitar sistem grounding.

Pendekatan praktis memberikan perhatian khusus dan diutamakan pada dua sistem grounding, yaitu :

1. Grounding yang sengaja dibuat, terdiri dari elektroda-elektroda

yang ditanam pada kedalaman tertentu dalam tanah.

2. Grounding yang tidak disengaja, terjadi akibat seseorang yang berada di sekitar daerah yang mempunyai gradien potensial dari fasilitas yang diground.

Konsep Umum

Sistem pentanahan sebaiknya diinstalasi dengan melihat batas pengaruh gradien potensial pentanahan seperti tingkat tegangan dan arus yang mana tidak membahayakan keselamatan manusia atau peralatan di bawah kondisi normal ataupun gangguan, sebaiknya dapat menjamin keselamatan secara terus menerus

a. Elektroda Pertanahan

Konduktor yang ditanam dalam bumi dan digunakan sebagai jalan arus pentanahan atau arus disipasi pentanahan.

b. Jaringan pentanahan

Sistem yang mana elektroda pentanahan diletakkan secara horizontal yang terdiri dari sejumlah interkoneksi, batang-batang konduktor yang ditanam dalam bumi, secara umum merupakan penyediaan bagi peralatan-peralatan elektronik atas struktur yang terbuat dari metal, biasanya terdapat pada lokasi tertentu.

c. Ground Mat

Merupakan plat yang terbuat dari metal atau sistem tertutup bagi konduktor-konduktor yang dihubungkan dan ditempatkan pada kedalaman yang tidak begitu dalam atau berada di atas jaringan tetapi berada didalam bumi, dengan tujuan untuk mendapatkan perlindungan ekstra untuk meminimasi bahaya timbulnya tegangan sentuh atau langkah yang tinggi pada area operasi atau tempat-tempat yang sering ada manusianya. Jeruji-geruji metal yang

diketanahkan, ditempatkan diatas atau dibawah permukaan tanah atau ditempatkan jaringan mesh secara langsung dibawah lapisan batu, disebut juga secara umum bentuk ground mat.

d. Sistem pentanahan

Semua hal yang berkaitan dengan interkoneksi pentanahan fasilitas pada area tertentu. Pada sistem pentanahan ada beberapa cara yang digunakan, namun yang paling sering digunakan pada system pentanahan gardu induk adalah kombinasi dari jaringan konduktor mendatar dengan penanaman batang-batang pentanahan secara vertikal.

Pengukuran Tahanan Grounding (Pentanahan)

Pentanahan yang ideal membutuhkan tanah yang mempunyai nilai tahanan berharaga nol. Besarnya potensial yang muncul sesuai dengan besarnya arus gangguan ke tanah yang terjadi. Jika terjadi arus yang besarmengalir , ini berarti nilai tahanan total sistem kecil. Pada sebagian besar transmisi dan gardu induk yang besar, nilai tahanan pentanahan sebaiknya kurang dari atau sama dengan 1 ohm. Pada gardu induk yang lebih kecil dapat digunakan nilai tahanan dalam range 1-5 ohm , tergantung pada kondisi lokasi setempat.

Nilai Minimum Tahanan Pentanahan

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (3)$$

Dimana :

R = Tahanan tanah dalam

= tahanan jenis tanah(rata-rata) dalam

A = Luas area yang dipasang sistem pentanahan dalam m²

Batas Tahanannya :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \dots \quad (4)$$

dimana L adalah panjang total konduktor yang ditanam kedalam tanah (dalam m). Kedua persamaan diatas sebaiknya digunakan untuk sistem pentanahan yang ditanam pada kedalaman kurang dari 0,25 m. Untuk lebih akuratnya perhitungan dengan menambahkan kedalam penanaman sistem , menggunakan rumus pendekatan yang diberikan oleh Sverak :

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \dots (5)$$

h adalah kedalaman system pentanahan.

Rumus Schwarz

Tahanan total sistem yang terdiri dari jaringan sistem horizontal dan batng konduktor yang ditanam secara vertikal :

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2 R_{12}} \dots (6)$$

Dimana :

R1 = tahanan konduktor jaringan

R2 = tahanan semua batang konduktor

R12 = resistansi mutual antara batang-batang pentanahan dan konduktor jaringan pentanahan

$$R_1 = (\rho_l / \pi l_1) (\ln(2l_1/h) + K_1 (l_1/\sqrt{A}) - K_2) \dots$$

$$R_2 = (\rho_a / 2n\pi l_2) (\ln(8l_2/d_2) - 1 - 2K_1 (l_2/\sqrt{A}) (\sqrt{n-1})^2) \dots (7)$$

$$R_{12} = (\rho_a / \pi l_1) (\ln(2l_1/l_2) + K_1 (l_1/\sqrt{A}) - K_2 + 1) \dots (8)$$

Dimana :

1 = tahanan jenis tanah dimana jaringan pentanahan ditanam pada kedalaman h (- m)

a = tahanan jenis tanah pada batang pentanahan (-m)

H = ketebalan bagian atas tanah (m)

2 = tahanan jenis tanah dibawah kedalaman H (-m)

l₁ = panjang total konduktor jaringan (m)

l₂ = panjang rata-rata batang pentanahan (m)

h = kedalaman penanaman batang (m)

- h' = d₁h untuk konduktor jaringan yang ditanam pada kedalaman h, atau 0,5d₁ untuk konduktor jaringan pada permukaan h=0.
- A = luas area yang dilingkupi oleh jaringan pentanahan, a x b dalam m²
- n = jumlah batang-batang pentanahan yang ada pada area A
- K1, K2 = konstanta yang menghubungkan geometri sistem.
- d1 = diameter konduktor jaringan
- d2 = diameter batang pentanahan
- a = lebar jaringan dalam m
- b = panjang jaringan dalam m

Menentukan Arus maksimum pada grounding

$$I_g = S_f I_f \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

- IG = arus maksimum jaring pentanahan (A)
- Df = decrement factor, untuk semua waktu gangguan tf
- Cp = corrective projection factor, untuk perluasan sistem, jika tidak ada kemungkinan perluasan maka Cp = 1
- Ig = nilai rms arus ke jaring-jaring
- Sebagai pendekatan praktis untuk current division factor dapat digunakan rumus :

$$S_f = \frac{I_g}{3I_0} \dots \dots \dots (10)$$

Prosedur mendesain jaring-jaring atau kisi-kisi sistem pentanahan menurut standar IEEE terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan agar standar yang telah ditentukan dapat dipenuhi. Pada blok diagram yang diberikan dibawah ini merupakan langkah-langkah pendisainan sistem pentanahan. Langkah – langkah tersebut adalah :

1. Mengetahui kondisi tanah dan berapa luas lokasi bangunan gardu induk tersebut, dengan melakukan

pengukuran tahanan jenis tanah seperti yang telah ditentukan.

2. Untuk menentukan ukuran konduktor yang akan digunakan pada jaring-jaring menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_{mm}^2 = I \sqrt{\frac{tc \alpha_r \rho_r 10^4}{TCAP} \ln \left[1 + \frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right]} \dots \dots (11)$$

Dimana :

- I = arus gangguan yang terjadi (maksimum, kA)
- A = diameter konduktor (mm)
- T_m = suhu maksimum konduktor (°C)
- T_r = temperatur konstan material (°C)
- = Koefisien temperatur tahanan pada 0 °C
- r = koefisien temperatur tahanan konduktor pada suhu T_r
- r = tahanan jenis konduktor pada temperatur T_r (μ /cm)
- tc = waktu alir arus (lama gangguan) (s)
- TCAP = faktor kapasitans panaskonduktor (J/cm³ /° C)

$$K_0 = 1/\alpha_0 \text{ atau } (1/\alpha_r) - T_r \dots \dots (12)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, antara lain :

1. Studi literature
2. Observasi
3. Pengumpulan data
4. Perhitungan awal untuk menentukan ukuran material grounding
5. Menghitung grounding area gardu listrik
6. Menghitung tahanan jenis, tahanan thermal, tegangan langkah, tegangan sentuh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Grounding Area Gardu Listrik dengan Material Aluminium 95 mm²

Material Constants:

Conductor/Rod	Type	Conductivity %	Cor Factor @ 20°C
Conductor & Rod	Aluminium, 9000 alloy	58.5	0.00255

K ₀ @ 0°C	Fusing Temperature °C	Resistivity of Ground Conductor @ 20°C μΩ.cm	Thermal Capacity Per Unit Volume J/(cm ³ .°C)
263.0	652.0	3.22	2.60

Grid Configuration:

Conductor Size mm ²	Depth m	Grid Length m		Number of Conductors		Separation m	
		L _x	L _y	in X Direction	in Y Direction	in X Direction	in Y Direction
95	0.80	35.00	25.00	3	3	17.5	12.5

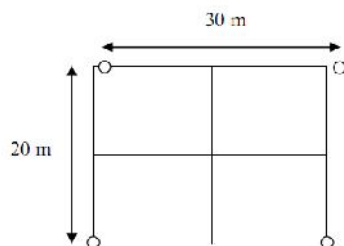
Rod Data:

Diameter cm	Length m	No. of Rods	Arrangement
2.000	3.00	4	Rods Throughout Grid Area

Ground Grid Summary Report

R _g Ground Resistance Ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Touch Potential			Step Potential		
		Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %
1.951	707.7	2192.5	243.0	11.1	8104.4	89.1	95

Layout Konfigurasi Grid Area Gardu Listrik



KESIMPULAN

Dari pembahasan didapatkan, penggunaan aluminium dengan luas 95mm² menghasilkan :

- Tahanan Tanah 1,951 Ohm
- Tegangan Langkah 69,1 Volt
- Tegangan Sentuh 243 Volt

- Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aluminium dapat juga digunakan pada system grounding dengan tahanan tanah, tegangan langkah dan tegangan sentuh yang relative sama pada penggunaan material tembaga pada umumnya. Hanya saja luasan penggunaan aluminium sedikit lebih besar dari tembaga untuk memperoleh hasil yang sama.dengan data tahanan tanah, tegangan langkah dan tegangan sentuh, luasan tembaga lebih kecil yaitu sekitar 75% dari luasan aluminium.

SARAN

Penggunaan aluminium pada system grounding dapat dijadikan material alternative selain tembaga. Perlu dilakukan analisa biaya sebagai syarat

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A., dan Kuwarahara,S., Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Gardu Induk, Pradnya Paramita, Jakarta, 1997.
- Hutauruk, T.S., Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Erlangga, Jakarta, 1987.
- Stevenson, W.D., dan Idris, K., Analisis Sistem Tenaga Listrik, Erlangga, Jakarta, 1996.
- Pabla, A.S., and Hadi, A., Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1996.
- Dawalibi, F., and Mukhedhar, D., Soil Effects on Ground Fault Currents, IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, No. 7, 1981.
- NPFA 70, National Electrical Code 2002 Edition, An International Electrical Code TM Series, 2002