

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembumian

Alat yang digunakan untuk mengukur resistans pembumian adalah KYORITSU tipe 3125 dengan metode pengukuran menggunakan metode Wenner. Cara penggunaan alat tersebut dapat dilihat pada lampiran. Data hasil pengukuran seperti terdapat pada lampiran adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data hasil pengukuran resistans jenis tanah.

Jarak Elektroda (a) (m)	Resistans (R) (Ω)	Resistans Jenis Tanah (ρ) (Ω -m)
1	3 2	20,1
2	0,8	10,05
3	0,33	6,22
6	0,1	4,15
9	0,07	3,96
12	0,037	2,79
18	0,025	2,83
24	0,02	3,02
30	0,018	3,39

Perhitungan ini dilakukan untuk mendisain system pembumian dan menetapkan batasan yang aman untuk perbedaan potensial yang mungkin terjadi pada gardu induk yang mengalami kondisi gangguan.

Resistans jenis tanah pada table diatas dihitung dengan menggunakan persamaan (3.2). Dari table tersebut dapat dilihat bahwa semakin jauh penanaman elektroda, maka semakin kecil nilai resistans yang didapat, maka semakin kecil pula reistans jenis tanahnya.

Besarnya arus gangguan ketanah adalah 31, 5 kA dengan lamanya arus gangguan 1 detik. Konduktor yang digunakan adalah Commercial Hard Drawn Copper Wire. Suhu maksimum konduktor yang diijinkan adalah 250°C untuk tipe sambungan dengan baut. Untuk menghitung diameter penghantar yang akan digunakan persamaan (3.3) yaitu :

$$\begin{aligned}
 A_{mm^2} &= I \sqrt{\frac{\left[\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot 10^4}{TCAP}\right]}{1n\left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_o + T_a}\right)\right]}} & (4.1) \\
 &= 31,3 \sqrt{\frac{\left[\frac{1,0x0,00381x1,7774x10^4}{3,422}\right]}{1n\left[1 + \left(\frac{250 - 40}{242 + 40}\right)\right]}} \\
 &= \underline{187,8 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, luas penampang konduktor yang didapat $187,8 \text{ mm}^2$, tetapi konduktor yang digunakan adalah 200 mm^2 dengan ukuran diameter $d = 0,0182 \text{ m}$.

Ukuran diameter konduktor yang akan digunakan haruslah lebih besar dari hasil perhitungan yang didapat untuk mengantisipasi arus gangguan yang lebih besar. Hal ini dilakukan agar konduktor tidak mudah rusak karena bila konduktor rusak maka akan sangat sulit untuk memperbaiki atau menggantinya.

Lapisan permukaan tanah pada daerah yang ditanam elektroda tidak dilindungi dengan lapisan koral, sehingga nilai $CS = 1$. Resistans jenis permukaan tanah berbatu adalah $3000 \text{ } \Omega\text{-m}$. Batas tegangan langkah yang aman bagi manusia dengan berat badan $\leq 50 \text{ kg}$ dan $\leq 70 \text{ kg}$ menurut persamaan (3.9) dan (3.10) adalah :

Batas tegangan R sentuh yang aman bagi manusia dengan berat badan $\leq 50 \text{ kg}$ dan $\leq 70 \text{ kg}$ menurut persamaan (3.12) dan (3.10) adalah :

$$\begin{aligned} E_{\text{sentuh } 50} &= (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \text{ volt} \\ &= (1000 + 1,5 \cdot 1 \cdot 3000) \frac{0,116}{\sqrt{1}} \quad (4.2) \\ &= 636 \text{ volt} \end{aligned}$$

Atau,

$$\begin{aligned}
 E_{sentuh\ 70} &= (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \text{ volt} & (4.3) \\
 &= (1000 + 1,5 \cdot 1 \cdot 3000) \frac{0,157}{\sqrt{1}} \\
 &= 863,5 \text{ volt}
 \end{aligned}$$

Luas daerah yang diliputi oleh elektroda pbumian 5850 m². dengan panjang 130 m dan lebar 45 m. Jumlah konduktor memanjang adalah 10 dan melebar sebanyak 27 buah, sehingga panjang keseluruhan konduktor adalah 3026 m. Panjang konduktor L' pada sisi yang lebih pendek adalah 45 m. Jumlah konduktor parallel n dalam kisi - kisi utama adalah 16 buah Sehingga jarak rata - rata antara konduktor - konduktor parallel pada jarring adalah :

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{D}{n} = \frac{45m}{16} \\
 &= \underline{3m}
 \end{aligned}$$

Perancangan pbumian ini hanya menggunakan konduktor mendatar saja, jadi tidak menggunakan konduktor tegak (elektroda batang). Sehingga resistans grid dapat dihitung dengan persamaan (3.14) adalah

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} &= 50 \left[\frac{1}{3025} + \frac{1}{\sqrt{20.5850}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,75\sqrt{20/5850}} \right) \right] \\ &= \underline{0,30\Omega} \end{aligned}$$

Faktor pembagi arus (S_f) besarnya I dan I_f dari persamaan (3.19), sehingga arus grid dapat dihitung dengan persamaan (3.21), yaitu:

$$\begin{aligned} I_g &= S_f \cdot I_f \\ &= 1.0,6.31500 \\ (4.5) \\ &= 18900 \text{ A} \\ &= 18,9 \text{ kA} \end{aligned}$$

Karena pembumian yang ditanam tidak akan berkembang lagi pada masa yang akan datang, maka nilai factor koreksi arus gangguan (C_p) adalah 1. Dan factor pelemahan selama waktu gangguan (D_f) adalah 1. Sehingga besarnya arus grid maksimum sesuai persamaan (3.22), yaitu :

$$\begin{aligned} I_D &= C_f \cdot D_f \cdot I_g & (4.6) \\ &= 1.1.18900 \\ &= 18900 \text{ A} \end{aligned}$$

$$= 18,9 \text{ kA}$$

Kenaikan potensial bumi (GPR) sesuai persamaan (3.23), yaitu :

$$\begin{aligned} GPR &= I_g \cdot R_g & (4.7) \\ &= 18900 \text{ A} \cdot 0,30\Omega \\ &= 5670 \text{ V} \end{aligned}$$

Karena kenaikan potensial bumi lebih tinggi (5670 V) dad tegangan sentuh yang diperbolehkan (638 V), maka sangatlah diperlukan untuk menghitung tegangan mesh dan tegangan langkah. Untuk menghitung tegangan mesh, konstanta K_m dan K_i haruslah dihitung terlebih dahulu.

Konstanta K_m dihitung dengan persamaan (3.25) dan K_i dengan persamaan (3.29), yaitu :

$$\begin{aligned} K_m &= \frac{1}{2\pi} \left[1n \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} 1n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] & (4.8) \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[1n \left(\frac{3^2}{16 \cdot 0,75 \cdot 0,182} + \frac{(3+2 \cdot 0,75)^2}{8 \cdot 3 \cdot 0,0182} - \frac{0,75}{4 \cdot 0,182} \right) + \frac{1}{1,32} 1n \frac{8}{\pi(2 \cdot 16 - 1)} \right] \\ &= \underline{0,39} \end{aligned}$$

Dengan :

$$\begin{aligned} n &= \sqrt{n_1 n_2} \\ &= \sqrt{10 \cdot 27} \\ &\approx \underline{16} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_h &= \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \\ &= \sqrt{1 + \frac{0,75}{1}} \\ &= 1,32 \end{aligned}$$

Untuk menghitung besarnya factor koreksi geometri K_i digunakan persamaan (3.29), yaitu:

$$\begin{aligned} K_i &= 0,656 + 0,172n \\ &= 0,656 + 0,172 \cdot 16 \\ &= 3,41 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Dengan diketahui nilai K_m dan K_i , maka tegangan mesh dapat dihitung dengan persamaan (3.28), yaitu :

$$\begin{aligned} E_m &= \frac{\rho K_m K_i I_G}{L} \\ &= \frac{50,0 \cdot 39,341 \cdot 18900}{3025} \\ &= 415,5 \text{ V} \end{aligned} \tag{4.10}$$

Tegangan mesh E_m 415,5 V < E_{sentuh} 638 V. Dengan tercapainya nilai tersebut, maka dapat dilanjutkan dengan

menghitung tegangan langkah. Faktor ruang untuk tegangan langkah K_s dihitung dengan persamaan (3.32). Untuk kedalaman $0,25 < h < 2,5$ besarnya K_s adalah :

$$\begin{aligned} K_s &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2,0,75} + \frac{1}{3+0,75} + \frac{1}{3} (1 - 0,5^{27-2}) \right] \\ &= 0,40 \end{aligned} \quad (4.11)$$

Besarnya tegangan langkah sesuai dengan persamaan (3.31) adalah :

$$\begin{aligned} E_L &= \frac{\rho K_s K_i I_G}{3025} \quad (4.12) \\ &= \frac{50,0,40,3,41,18900}{3025} \\ &= 426,1 \text{ V} \end{aligned}$$

Sesuai dengan persyaratan bahwa $E_L 426,1 \text{ V} < E$, angka 2204 V, maka tidak perlu merubah parameter-parameter, dan perhitungannya sesuai dengan yang diinginkan. Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat dibuat ringkasan dari beberapa parameter penting sebagai dasar keamanan sebuah gardu induk. Ringkasan perhitungan ditunjukkan pada table 4.2 :

Tabel 4.2 Ringkasan hasil perhitungan

Parameter	Hasil Perhitungan
Resistans jenis tanah (ρ)	50 Ω -m
Ukuran konduktor (Amm ²)	200 mm ²
Resistans grid (R_g)	0,30 Ω
Tegangan langkah	
a. $E_{\text{langkah } 50}$	2204 V
b. $E_{\text{langkah } 70}$	2983 V
c. E_L	426,1 V
Tegangan sentuh	
d. $E_{\text{sentuh } 50}$	638 V
e. $E_{\text{sentuh } 70}$	863,5 V
f. E_m	415,5 V
GPR (Kenaikan Potensial Bumi)	5670 V

4.2. Pemeriksaan Faktor Keselamatan Pada Gardu Induk.

Untuk memeriksa panjang konduktor agar konduktor yang digunakan tidak terlalu pendek sehingga dapat memperbesar nilai resistans grid, maka dapat dilakukan perhitungan panjang konduktor minimal yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan (3.37) dan (3.35).

Untuk $E_m < E_{\text{sentuh } 50}$ adalah :

$$L > \frac{K_m \cdot K_i \cdot \rho \cdot I_G \cdot \sqrt{t_s}}{(116 + 0,174 \cdot C_s(h_s, K) \rho_s)} \quad (4.13)$$

$$L > \frac{0,39 \cdot 3,41 \cdot 50 \cdot 1,8900 \cdot \sqrt{1}}{(116 + 0,174 \cdot 1,3000)}$$

$$L > \underline{1970 \text{ m}}$$

Jadi panjang konduktor yang dibutuhkan haruslah melebihi 1970 m.

Untuk $E_m < E_{\text{sentuh } 70}$ adalah :

$$L > \frac{K_m \cdot K_i \cdot \rho \cdot I_G \cdot \sqrt{t_s}}{(157 + 0,235 \cdot C_s(h_s, K) \rho_s)} \quad (4.14)$$

$$L > \frac{0,39 \cdot 3,41 \cdot 50 \cdot 1,8900 \cdot \sqrt{1}}{(157 + 0,235 \cdot 1,3000)}$$

$$L > \underline{1458 \text{ m}}$$

Jadi panjang konduktor yang dibutuhkan haruslah melebihi 1458 m.

4.3. Menggunakan Lapisan Kerikil

Penggunaan lapisan batu kerikil biasanya setebal 8 – 20 cm, dengan menggunakan lapisan kerikil sebagai lapisan permukaan, maka nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah dapat dikurangi. Dengan menggunakan persamaan (3.4), maka nilai factor refleksi K adalah :

$$\begin{aligned} K &= \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} && (4.15) \\ &= \frac{50 - 3000}{50 + 3000} \\ &= -0,9672 \end{aligned}$$

Sehingga nilai factor reduksi C_s dari gambar 3.3 untuk ketebalan kerikil h_s 10 cm adalah 0,55. Dengan diketahuinya $C_s = 0,55$, maka dapat dihitung batas tegangan langkah dan tegangan sentuh yang aman.

Batas tegangan langkah yang aman ≤ 50 kg dari persamaan (3.10), adalah :

$$\begin{aligned} E_{langkah\ 50} &= (1000 + 6C_s(h_s, K)\rho_s)0,116/\sqrt{t_s} \\ &= (1000 + 6 \cdot 0,55 \cdot 3000)0,116/\sqrt{t_s} \\ &= 1264,4\ V && (4.16) \end{aligned}$$

Batas tegangan langkah yang aman 70 kg dari persamaan (3.11), adalah :

$$\begin{aligned} E_{langkah\ 70} &= (1000 + 6C_s(h_s, K)\rho_s)0,157/\sqrt{t_s} \\ &= (1000 + 6 \cdot 0,55 \cdot 3000)0,157/\sqrt{t_s} \\ &= 1711,3\ V \end{aligned}$$

Batas tegangan sentuh yang aman 5 50 kg dari persamaan (3.13), adalah:

$$\begin{aligned} E_{langkah\ 50} &= (1000 + 1,5C_s(h_s, K)\rho_s)0,116/\sqrt{t_s} \\ &= (1000 + 1,5 \cdot 0,55 \cdot 3000)0,116/\sqrt{t_s} \\ &= 403,1\ V \end{aligned}$$

Batas tegangan langkah yang aman 50 kg dari persamaan (3.10), adalah :

$$\begin{aligned} E_{langkah\ 70} &= (1000 + 1,5C_s(h_s, K)\rho_s)0,157/\sqrt{t_s} \\ &= (1000 + 6,0 \cdot 55 \cdot 3000)0,157/\sqrt{t_s} \\ &= 545,6\ V \end{aligned}$$

Tabel 4.3 dibawah ini merupakan, dari hasil perhitungan tegangan langkah dan tegangan sentuh untuk membandingkan lapisan permukaan tanah tanpa kerikil dan lapisan permukaan tanah menggunakan kerikil.

Tabel 4.3 Perbandingan lapisan tanah tanpa kerikil dengan yang menggunakan kerikil

Permukaan tanpa	Permukaan dengan kerikil
-----------------	--------------------------

$E_{\text{langkah 50}}$	2204 V	$E_{\text{langkah 50}}$	=1264,4 V
$E_{\text{langkah 70}}$	2983 V	$E_{\text{langkah 70}}$	=1711,3 V
$E_{\text{sentuh 50}}$	638 V	$E_{\text{sentuh 50}}$	=403,1 V
$E_{\text{sentuh 70}}$	863,5 V	$E_{\text{sentuh 70}}$	=545,6 V

Dari tabel 4.3 diatas dapat diketahui bahwa permukaan tanah dengan lapisan kerikil mempunyai nilai tegangan langkah dan tegangan sentuh yang lebih kecil dibandingkan permukaan tanah tanpa menggunakan lapisan kerikil. Nilai tersebut dapat menjadi lebih kecil lagi apabila lapisan kerikil dipertebal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)