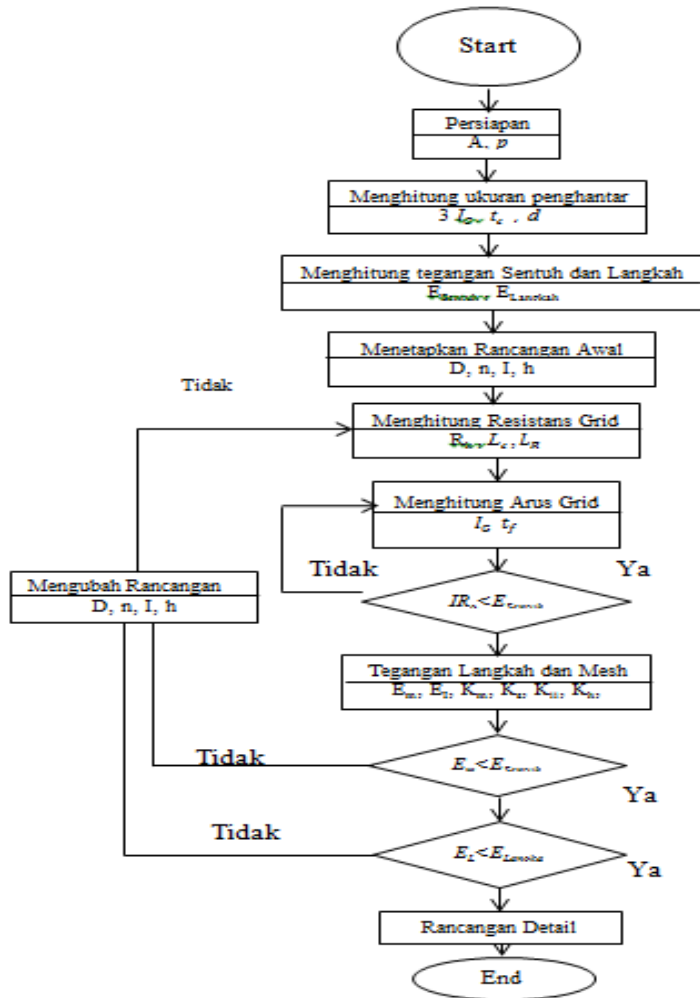


### BAB 3 METODE PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram Alur Perancangan Sistem  
Pembumihan

Pada gambar 3.1 memperlihatkan diagram blok prosedur perancangan sistem pbumian untuk mencapai tujuan dari pbumian yang menitik beratkan pada pencapaian tegangan sentuh dan tegangan langkah yang aman, berikut penjelasannya :

### 3.1. Langkah Langkah Peneletian :

#### 3.1.1. Mencari Data Di Lapangan.

Pada langkah pertama dilakukan penelitian terhadap tanah yang akan ditanam elektroda. Parameter yang diukur adalah jarak elektroda yang akan ditanam  $\alpha$  dan resistans jenis tanah  $\rho$ . Untuk mengukur resistans jenis tanah, metode empat elektroda Wenner sering dipakai. Elektroda tersebut ditanam dalam tanah membentuk suatu garis lurus, pada jarak  $\alpha$  yang sama, dan pada suatu kedalaman  $b$ . Tegangan antara dua elektroda yang berada ditengah diukur dan dibagi dengan arus antara dua elektroda terluar untuk memberikan nilai resistans  $R$ . Persamaan untuk resistans jenis tanah adalah :

$$\rho = \frac{4 \pi \alpha R}{1 + \frac{2\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + 4b^2}} - \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + b^2}}} \quad (3.1)$$

dengan :

$\rho$  = Resistans jenis tanah, dalam (Sam)

$R$  = Resistans yang dihasilkan dari pembagian

tegangan dengan

arus yang mengalir pada elektroda, dalam ( $\Omega$ )

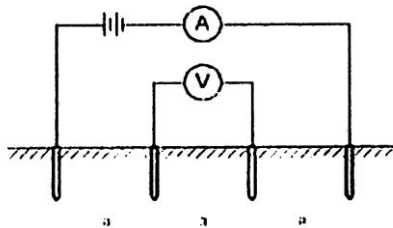
$a$  = Jarak antara elektroda, dalam (m)

$b$  = Kedalaman elektroda, dalam (m)

Jika  $b$  lebih kecil dibandingkan dengan  $a$ , maka persamaan

(3.1) menjadi :

$$P=2\pi aR \quad (3.2)$$



**Gambar 3.2 Metode Wenner untuk mengukur resistans jenis tanah (*IEEE-std80*)**

### 3.1.2. Menghitung Ukuran Penghantar

Pada langkah kedua, pemilihan bahan penghantar harus memperhatikan beberapa hal berikut :

- a. Memiliki daya hantar yang tinggi.
- b. Memiliki kekuatan mekanis yang memadai untuk menahan arus yang besar.
- c. Tahan korosi.

Bahan yang digunakan sebagai elektroda pembumian umumnya tembaga. Untuk menghitung arus dari berbagai konduktor adalah :

$$A_{\text{mm}^2} = I \sqrt{\frac{\left[ \frac{t_c \alpha_r 10^4}{TCAP} \right]}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{T_m - T_a}{K_o + T_a} \right) \right]}} \quad (3.3)$$

dengan :

$A_{\text{mm}^2}$  = Luas penampang dari penghantar elektroda, dalam  $\text{mm}^2$

$I$  = Arus rms, dalam kA.

$t_c$  = Lama arus gangguan mengalir, dalam detik.

$\alpha_r$  = Koefisien panas dari tahanan jenis pada temperatur  $T_r$ .

$p_r$  = Tahanan jenis dari penghantar elektroda pada temperatur  $T_a$ , dalam  $\mu\Omega \text{ cm}$ .

$TCAP$  = Faktor kapasitas panas, dalam  $\text{J/cm}^3/^\circ\text{C}$ .

$T_m$  = Temperatur maksimum yang diizinkan, dalam  $^\circ\text{C}$ .

$T_a$  = Temperatur sekitar, dalam  $^\circ\text{C}$ .

$K_o$  = Konstanta material ( $1/\alpha_o$  pada  $0^\circ\text{C}$ ).

Besar waktu  $t_c$  ditentukan berdasarkan waktu kerja pemutus gangguan.

### **3.1.3. Menghitung Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah.**

Langkah ketiga, dari pers (2.6) dan (2.8), tegangan sentuh dan tegangan langkah keduanya dapat dihitung dengan mengasumsi resistans jenis tanah bersifat seragam, padahal permukaan tanahnya sering dilapisi koral yang berfungsi untuk mereduksi resistans tanah, dengan demikian perlu tambahan koreksi pada persamaan diatas.

Faktor refleksi K dihitung dengan persamaan

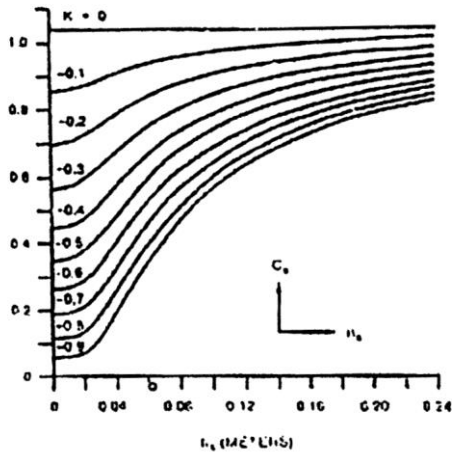
$$K = \frac{\rho - \rho_2}{\rho + \rho_2} \quad (3.4)$$

dengan :

K = Faktor refleksi.

$\rho$  = Resistans jenis tanah [ $\Omega\text{m}$ ].

$\rho_s$  = Resistans jenis lapisan koral pada permukaan tanah [ $\Omega\text{m}$ ].



**Gambar 3.3 Faktor reduksi  $C_s$  sebagai fungsi faktor refleksi  $K$  dan kedalaman  $h_s$ . (IEEE-std80)**

Resistansi dari kedua kaki secara sari dan kedua kaki secara paralel adalah

$$R_{2Fs} = 6(\rho) \quad (3.7)$$

$$R_{2Fp} = 1,5(\rho)$$

dengan :

$R_{2Fs}$  = resistansi kedua kaki sari

$R_{2Fp}$  = resistansi kedua kaki paralel

Pada jenis tanah yang seragam, mengacu pada persamaan (3.5), (3.6) dan faktor reduksi  $C_s$ , resistansi dari

kedua kaki menjadi :

$$R_{2Fs} = 6 C_s (h_s ,K) \rho_s$$

$$R_{2Fp} = 1,5 C_s (h_s ,K) \rho_s$$

Batas untuk tegangan langkah adalah

$$E_{langkah} = (R_B + R_{2Fs}) I_B \quad (3.8)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.3), (2.4), (2.7) dan (3.7) ke dalam persamaan (3.9) maka diperoleh :

$$E_{langkah\ 50} = (1000 + 6C_s (h_s K) \rho_s) 0,116 / \sqrt{t_s} \quad (3.9)$$

atau

$$E_{langkah\ 70} = (1000 + 6C_s (h_s K) \rho_s) 0,157 / \sqrt{t_s} \quad (3.10)$$

Tegangan langkah yang sebenarnya,  $E_L$ , harus kurang dari tegangan langkah maksimum yang diijinkan,  $E_{langkah}$ , untuk menjamin keselamatan.

Dengan cara yang sama, batas tegangan sentuh adalah :

$$E_{sentuh} = (R_B + R_{2Fp}) I_B \quad (3.11)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.3), (2.4), (2.5) dan (3.8) ke dalam persamaan (3.10) maka diperoleh :

$$E_{sentuh50} = (1000 + 6C_s (hK) \rho_s) 0,116 / \sqrt{t_s} \quad (3.12)$$

atau

$$E_{sentuh70} = (1000 + 6C_s (h_s K) \rho_s) 0,157 / \sqrt{t_s} \quad (3.13)$$

dengan :

$C_s = 1$  untuk lapisan permukaan yang tidak dilindungi atau ditentukan dari gambar 3.3 jika menggunakan proteksi lapisan permukaan dari resistans jenis yang tinggi dan tipis

$\rho_s$  = resistans jenis dari permukaan bahan, dalam  $\Omega \cdot m$

$t_s$  = lamanya arus gangguan, dalam detik

#### 3.1.4. Menetapkan Rancangan Awal.

Langkah ke empat, menetapkan rancangan awal besaran-besaran yang dapat diubah-ubah. Persiapan rancangan meliputi :

- a. Tata letak pembumian mendatar dan batang-batang tegak
- b. Jarak antar batang mendatar (D)
- c. Jumlah batang pembumian tegak ( $n_r$ )
- d. Kedalaman pembumian mendatar (h)
- e. Panjang keseluruhan elektrode pembumian (L) termasuk grid dan elektrode batang.



Penghitungan jarak antar konduktor dan letak elektrode batang haruslah berdasarkan arus grid  $I_G$  dan daerah yang akan dibumikan. Besaran-besaran ini dapat diganti pada perhitungan selanjutnya bila hasil akhirnya tidak memenuhi persyaratan.

### 3.1.5. Menghitung Resistans Pembumian.

Langkah kelima, untuk menghitung resistans pembumian, untuk kedalaman grid antara 0,25 - 2,5 m, resistans pembumian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Sverak, yaitu :

$$R_s = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (3.14)$$

Jumlah resistansi yang terdiri dari sebuah kombinasi elektrode mendatar (grid) dan elektrode tegak (batang), lebih rendah dari resistansi masingmasing elektrode, tetapi masih lebih tinggi dari kombinasi paralelnya. Total resistansinya adalah :

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2 R_{12}^2} \quad (3.15)$$

dengan :

$R_1$  = resistans elektrode pembumian mendatar

$R_2$  = resistans elektrode pembumian tegak

$R_{12}$  = resistans bersama antara elektrode mendatar dan tegak.

Schwarz mengembangkan rumus untuk  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_{12}$  pada parameter dasar perancangan diasumsikan pada kondisi keadaan tanah yang seragam. Pada prakteknya, diperlukan sekali untuk menanam elektrode sedalamdalamnya hingga mencapai lapisan tanah yang lebih konduktif. Nilai  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_{12}$  dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} R_1 &= \left(\frac{\rho_1}{\pi L_1}\right) \left[1n\left(\frac{2L_1}{h}\right) + K_1\left(\frac{L_1}{\sqrt{A}}\right) - K_2\right] \\ R_2 &= \left(\frac{\rho_2}{2n\pi L_2}\right) \left[1n\left(\frac{8L_2}{d_2}\right) - 1 + K_1\left(\frac{L_2}{\sqrt{A}}\right)(\sqrt{n_r} - 1)^2\right] \quad (3.16) \\ R_{12} &= \left(\frac{\rho_1}{\pi L_1}\right) \left[1n\left(\frac{2L_1}{L_2}\right) + K_1\left(\frac{L_1}{\sqrt{A}}\right) - K_2 + 1\right] \quad (\text{IEEE-std80}) \end{aligned}$$

dengan :

$\rho_1$  = Resistans jenis tanah disekitar elektrode pembumian mendatar pada kedalaman  $h$ , dalam  $\Omega$ -m

$\rho_a$  = Resistans jenis tanah dilihat dari elektrode pembumian tegak, dalam  $\Omega$ -m

$L_1$  = Total panjang elektrode mendatar, dalam meter

$L_2$  = Rata-rata panjang elektrode tegak, dalam meter

$h$  = Kedalaman penanaman elektrode mendatar,

dalam meter

$h' = \sqrt{d_1} h$   $d$ ,  $h$  untuk elektrode mendatar pada kedalaman  $h$ , atau  $0,5 d_1$ , untuk elektrode mendatar pada permukaan bumi ( $h = 0$ )

$n_r$  = Jumlah batang pembumian tegak pada luas  $A$

$A$  = Luas daerah yang dicakup oleh elektrode mendatar dimensi  $a \times b$ , dalam  $m^2$

$a$  = Sisi panjang dari luas daerah elektrode mendatar, dalam meter

$b$  = Sisi lebar dari luas daerah elektrode mendatar, dalam meter

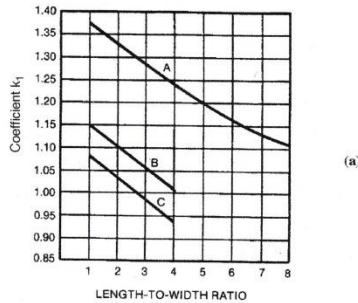
$K_1, K_2$  = Konstanta dari geometri konduktor (lihat gambar 3.4(a) dan (b))

$\rho_2$  = Resistans jenis tanah dari kedalaman  $H$ , dalam  $\Omega\text{-m}$

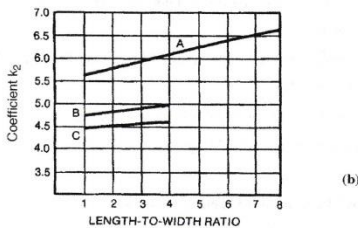
$d_1$  = Diameter elektrode mendatar, dalam meter

$d_2$  = Diameter elektrode tegak, dalam meter

$H$  = Ketebalan lapisan tanah di permukaan bumi, dalam meter



CURVE A — FOR DEPTH  $h = 0$   
 $\gamma_A = -0.04x + 1.41$   
 CURVE B — FOR DEPTH  $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $\gamma_B = -0.05x + 1.20$   
 CURVE C — FOR DEPTH  $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $\gamma_C = -0.05x + 1.13$



CURVE A — FOR DEPTH  $h = 0$   
 $\gamma_A = 0.15x + 5.50$   
 CURVE B — FOR DEPTH  $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $\gamma_B = 0.10x + 4.68$   
 CURVE C — FOR DEPTH  $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $\gamma_C = -0.05x + 4.40$

**Gambar 3.4. Koefisien  $K_1$  (a) dan  $K_2$  (b) dari persamaan Schwarz. (IEEEstd80)**

Pada jenis tanah dengan dua lapisan, untuk  $\rho_1 \geq \rho_2$ , dimana elektrode grid terletak pada lapisan atas  $\rho_1$ , tetapi elektrode batang sebagian pada  $\rho_1$  dan sebagian lagi pada  $\rho_2$ ,  $R_2$  dan  $R_{12}$  dihitung dengan menggunakan resistans jenis

tanah dilihat dari elektrode pembumian tegak. Persamaan untuk  $\rho_a$  jika setiap ujung atas elektrode pembumian tegak sama rata dengan permukaan bumi adalah :

$$\rho_a = \frac{L_2 (\rho_1 \rho_2)}{[\rho_1 H + \rho_1 (L_2 - H)]} \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.17)$$

Untuk ujung atas elektrode pembumian tegak sama dengan kedalaman elektrode grid, maka persamaannya :

$$\rho_a = \frac{L_2 (\rho_1 \rho_2)}{[\rho_1 (H-h) + \rho_1 (L_2 + h - H)]} \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.18)$$

Untuk lapisan tanah yang seragam,  $\rho_2 = \rho_1$  sehingga  $\rho_a = \rho_1$

### 3.1.6. Menghitung Arus Grid Maksimum.

Langkah keenam, menghitung arus grid adalah bagian dari arus gangguan simetris ke bumi yang mengalir diantara elektroda grid dengan tanah disekitarnya, dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I_g = S_f I \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.19)$$

dengan :

$I_g$  = arus grid simetris, dalam A

$S_f$  = faktor pembagi arus

$I_f$  = nilai rata-rata dari arus gangguan simetris ke bumi, dalam A

Arus hubung singkat 3 fasa simetris digunakan untuk mengukur ukuran penghantar dari konduktor mesh utama tetapi 60 % dari arus hubung singkat 3 fasa simetris sebagai arus gangguan ketanah digunakan untuk perhitungan tegangan sentuh, tegangan langkah dan kenaikan tegangan jaring maksimum, sebagai berikut :

$$I_g = \frac{3V_{1.N}}{Z_1+Z_2+Z_0} \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.20)$$

Dengan  $Z_1 = Z_2$  .  $Z_0 = 3Z_1$  ( $Z_0$  berasal dari impedansi peralatan dari jaringan pada masing - masing gardu induk. Harga impedansi dari PLN tidak didapat, maka diasumsikan  $Z_0 =$  adalah  $3Z_1$  untuk penggunaan umum pada sistem tegangan tinggi).

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{3V_{1.N}}{Z_1+Z_2+Z_0} \text{ (IEEE-std80)} & (3.21) \\ &= \frac{3V_{1.N}}{5Z_1} \\ &= \frac{3}{5} \cdot I_p \end{aligned}$$

$$I_g = 0,6xI_p \text{ (} I_p = \text{ arus hubungan singkat 3 fasa simetris)}$$

Arus grid maksimum dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I_G = C_P D_f I_G (\text{IEEE-std80}) \quad (3.22)$$

Dengan:

$I_G$  = arus grid maksimum, dalam A

$C_P$  = faktor koreksi arus gangguan pada masa mendatang, jika sistem tidak berkembang lagi, maka  $C_P = 1$

$D_f$  = faktor pelemahan selama waktu gangguan  $t_f$

### 3.1.7. Menghitung Kenaikan Potensial Bumi.

Langkah ketujuh menentukan GPR (Ground Potential Rise) atau kenaikan potensial bumi terjadi karena adanya arus yang mengalir pada sistem yang dibumikan. Besarnya kenaikan tersebut dapat dihitung dengan :

$$GPR = I_G \cdot R_g \quad (3.23)$$

$GPR$  = kenaikan potensial bumi, dalam V

$I_G$  = arus gangguan yang mengalir ke bumi, dalam A

$R_g$  = resistans pembumian total, dalam  $\Omega$ .

Jika kenaikan potensial bumi yang didapat lebih kecil dari

tegangan sentuh yang diperbolehkan, maka tidak perlu untuk melakukan penghitungan tahap selanjutnya. Dan apabila kenaikan potensial bumi lebih besar, maka tegangan mesh dan tegangan langkah haruslah dihitung.

### 3.1.8. Menghitung Tegangan Mesh Dan Tegangan Langkah.

Langkah kedelapan menentukan tegangan mesh adalah tegangan sentuh maksimum yang terjadi antara elektrode pembumian mendatar. Persamaannya adalah:

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L} \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.24)$$

Dengan:

- $E_m$  = tegangan mesh, dalam V
- $\rho$  = resistans jenis tanah (=pi), dalam S2-m
- $K_M$  = faktor ruang untuk menghitung tegangan mesh
- $K_i$  = faktor koreksi geometri elektrode pembumian mendatar
- $I_G$  = arus grid maksimum, dalam A
- $L$  = panjang elektrode pembumian total, dalam meter



Konstanta  $K_m$  dan  $K_i$ , dihitung dengan persamaan :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ 1n \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{K_{ii}}{K_h} 1n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (3.25)$$

**(IEEE-std80)**

dengan :

$K_{ii}$  = faktor koreksi berat yang menyesuaikan efek dari inti konduktor pada sudut mata jala  
= 1 untuk elektrode mendatar dengan dilengkapi elektrode tegak disemua titik, atau untuk elektrode mendatar dengan elektrode tegak di setiap sudutnya

$K_{ii}$  =  $\frac{1}{(2n)^{2/n}}$  untuk elektrode mendatar tanpa elektrode tegak atau elektrode mendatar hanya dengan beberapa elektrode tegak dan tidak dipasang pada setiap sudutnya atau disekelilingnya

$K_h$  = faktor koreksi berat yang menegaskan efek dari kedalaman elektrode mendatar

$$= \sqrt{J1 + h/h_0} \quad (3.26)$$

$h_0$  = 1 meter (acuan kedalaman dari elektrode mendatar)

$$K_1 = 0,656 + 0,172n \quad (3.27)$$

dengan :

$n$  = jumlah konduktor paralel di satu sisi (panjang atau lebar)

$n = \sqrt{n_B n_B}$  untuk penghitungan tegangan mesh

Jika  $L_c$ , adalah total panjang konduktor elektrode mendatar dan  $L_r$  adalah total panjang konduktor elektrode tegak, maka untuk menghitung tegangan mesh elektrode mendatar dengan dilengkapi elektrode tegak digunakan persamaan :

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_1}{L_G + 1,15L_r} \quad (\text{IEEE-std80}) \quad (3.28)$$

Faktor pengali 1,15 untuk  $L_r$  pada persamaan diatas menggambarkan bahwa kepadatan arus lebih tinggi pada elektrode tegak di sekeliling elektrode mendatar daripada di elektrode mendatar itu sendiri.

Untuk elektrode mendatar tanpa elektrode tegak, atau hanya beberapa elektrode batang yang dipasang di elektrode mendatar tetapi jauh dari sisinya, persamaannya adalah :

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_1}{L_G + L_r} \quad (\text{IEEE-std80}) \quad (3.29)$$

Sedangkan untuk tegangan langkah dihitung dengan

$$\text{persamaan : } E_l = \frac{\rho K_s K_1 I_G}{L}$$

$$E_l = \frac{\rho K_s K_1 I_G}{L_c + L_r} \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.30)$$

dengan :

$K_s$  = faktor ruang untuk menghitung tegangan langkah  
Persamaan (3.30) untuk elektrode mendatar tanpa elektrode tegak atau hanya beberapa elektrode batang yang dipasang di tengah dan jauh dari sisi-sisinya. Sedangkan persamaan untuk elektrode mendatar dengan dilengkapi elektrode tegak terutama di sekitar sisi-sisinya adalah :

$$E_l = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_G + 1,15 L_r} \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.31)$$

Tegangan langkah maksimum diasumsikan terjadi pada jarak yang sama dengan kedalaman  $h$  elektrode mendatar. Kedalaman elektrode yang di pasang biasanya  $0,25 \text{ m} < h < 2,5 \text{ m}$ .  $K_s$  dihitung dengan persamaan :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \text{ (IEEE-std80)} \quad (3.32)$$

dengan :

$n = \max (n_A, n_B)$ , untuk penghitungan tegangan langkah

Penggunaan  $K_s$  yang berbeda-beda tergantung pada kedalaman elektrode mendatar  $h$ , yang menggambarkan bahwa tegangan langkah menurun dengan cepat disebabkan meningkatnya kedalaman.

### **3.1.9. Perbandingan Tegangan Mesh Dengan Tegangan Sentuh.**

Langkah kesembilan apabila tegangan mesh lebih kecil dari tegangan sentuh, maka perancangan dapat dianggap selesai. Selesaiannya rancangan juga tergantung dari 3.1.10. Namun bila tegangan mesh lebih besar dari tegangan sentuh, maka haruslah menjalankan 3.1.11.

### **3.1.10. Perbandingan Tegangan Langkah Dan Tegangan Langkah Yang Diperbolehkan.**

Langkah kesepuluh, apabila tegangan langkah lebih kecil dari tegangan langkah yang diperbolehkan, maka selesai. Namun bila tegangan langkah lebih besar dari tegangan langkah yang diperbolehkan, maka ke 3.1.11 yaitu merubah rancangan awal.

### **3.1.11. Merubah Rancangan Awal.**

Langkah kesebelas, jika tegangan mesh lebih besar dari tegangan sentuh (3.9) dan tegangan langkah lebih besar dari

tegangan langkah yang diperbolehkan (3.10), maka perlu merubah rancangan awal yaitu dengan mengganti jarak antar batang mendatar  $D$ , jumlah batang pembumian tegak  $n_r$ , panjang keseluruhan elektrode pembumian  $L$ , dan kedalaman pembumian mendatar  $h$ .

### **3.1.12. Rancangan Detil.**

Langkah duabelas, setelah nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang aman telah dicapai, mungkin diperlukan untuk menambah konduktor pada elektrode mendatar dan elektrode tegak. Penambahan ini diperlukan bila rancangan elektrode mendatar tidak termasuk konduktor di dekat peralatan yang dibumikan seperti penangkal petir.

## **3.2. Panjang Konduktor Minimum Yang Diperlukan.**

Panjang konduktor yang diperlukan untuk grid pada suatu gardu induk tergantung beberapa pertimbangan, diantaranya: tegangan sentuh atau tegangan langkah yang dikehendaki, luas daerah yang diamankan dan factor ekonomisnya. Dengan menggunakan konduktor yang lebih panjang dari hasil perhitungan minimal panjang konduktor yang dibutuhkan, maka faktor keselamatan manusia disekitarnya lebih diutamakan. Tetapi ha! ini tidak ekonomis karena konduktor yang dibutuhkan menjadi lebih banyak

sehingga lebih mahal. Dengan menggunakan konduktor yang tidak terlalu panjang, maka biaya akan lebih murah (ekonomis) tetapi faktor keselamatan manusia disekitarnya tidak terjamin. Sangat diharapkan sekali faktor ekonomis menjadi persyaratan dalam perancangan pembumian.

Untuk mendapatkan kondisi yang aman bagi keselamatan manusia, maka tegangan mesh harus dibatasi sampai pada tegangan sentuh yang diizinkan sesuai peramaan (3.13), maka :

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

$$\frac{K_i \rho I_G}{L} < (1000 + 1,5 \cdot C_s(h_s, K) \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad (3.33)$$

Dengan merubah persamaan (3.37) untuk L maka didapat :

$$L > \frac{K_m \cdot K_1 \cdot \rho \cdot I_G \cdot \sqrt{t_s}}{(116+0,174 \cdot C_s(h_s, K) \rho_s)} \quad (3.34)$$

Untuk  $E_m < E_{\text{sentuh } 70}$  dari peramaan (3.27) dan (3.14)

$$\frac{K_m K_i \rho I_G}{L} < (1000 + 6 \cdot C_s(h_s, K) \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (3.35)$$

maka : 
$$> \frac{K_m \cdot K_1 \cdot \rho \cdot I_G \cdot \sqrt{t_s}}{(157+0,235 \cdot C_s(h_s, K) \rho_s)} \quad \textbf{(IEEE-std80)}$$

Elektroda berbentuk jaring (grid) adalah bentuk elektroda yang merupakan modifikasi dari elektroda pita, dimana bentuknya menyerupai jaring atau jala - jala. Bentuk elektroda ini merupakan bentuk dasar pentanahan pada suatu gardu induk (GI) dan bagi faktor keselamatan manusia. Elektroda- ini biasanya ditanam pada kedalaman 0,5 - 1 meter dan bentuknya bisa bujur sangkar, segi empat atau bentuk lainnya. Tergantung tempat yang diamankan, terutama tempat yang terdapat peralatan digardu induk.

Arus gangguan akan mengalir dengan menyebar keseluruh jaring sehingga arus yang ketanah akan menjadi lebih kecil. Hal ini lebih baik bila dibandingkan dengan menggunakan hanya satu elektroda batang saja. Pemasangan elektroda batang pada bentuk bujur sangkar maupun segi empat dapat berupa diagonal maupun disepanjang sisi - sisinya.

( Halaman ini sengaja di kosongkan )