

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

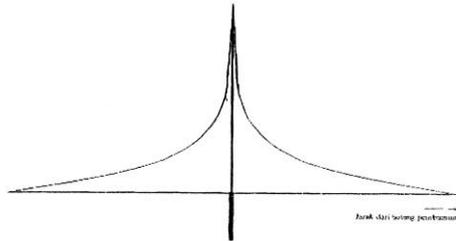
#### **2.1 Pembedian**

Peralatan gardu induk sebaiknya dipasang sistem pembedian *gird* dengan penghantar yang besar berguna untuk memperkecil tahanan pembedian dan batasan tegangan diantara peralatan dan permukaan tanah pada nilai yang diijinkan dan berstandar sesuai dengan standar *ANSI/IEEE Std 80-2000* menyarankan nilainya sekitar  $1 \Omega$ . Untuk menurut standar PUIL 2000 ayat(442) menyarankan dibawah  $5 \Omega$ . Pembedian *gird* merupakan salah satu sistem pembedian yang banyak dipergunakan di gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan sistem pembedian lainnya. Beberapa keuntungan tersebut antara lain gradient tegangan pada sistem pembedian *gird* akan lebih rata serta tahanan pembedian yang lebih kecil. Sitem pembedian sistem pembedian *gird* dilakukan dengan cara menanamkan batang-batang elektroda pada kedalaman tertentu. Batang-batang elektroda tersebut terhubung satu dengan yang lainnya menggunakan konduktor, sehingga membentuk beberapa buah mesh. Distribusi tengangan tergantung pada jarak elektroda parallel, makin besar jarak elektroda maka pendistribusian tegangannya semakin merata.. Secara umum tujuan pembedian adalah :

- a. Membawa arus listrik ke bumi dalam keadaan normal dan terjadi gangguan tanpa melewati batas pengoperasian dan peralatan atau menimbulkan dampak yang terus menerus pada peralatan.
- b. Untuk menjamin bahwa manusia dan hewan disekitar peralatan yang dibumikan terlindung dari bahaya kejutan listrik.

Pembumian peralatan berarti menghubungkan bagian peralatan listrik yang pada kegiatan 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 pada saat terjadi gangguan. Sistem pembumian ini berguna untuk memperoleh potensial yang merata dalam suatu bagian struktur dan peralatan.

Perbedaan tegangan ditanah, khususnya dipermukaan tanah disekitar elektroda elektroda pembumian, yang terjadi akibat mengalirnya arus dari elektroda itu ketanah sekitarnya disebut gradien tegangan (gambar 2.1) **(IEEE-std80)**



**Gambar 2.1 Gradien Tegangan**

## **2.1. Elektroda Pembumian**

Elektroda pembumian adalah bagian konduktif atau kelompok, bagian kelompok konduktif yang membuat kontak langsung dan memberikan hubungan listrik dengan bumi.

Dilihat dari konstruksinya, elektroda pembumian dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

- a.** pElektroda pembumian dengan menggunakan jaringan pipa air, besi trilang beton/konstruksi baja bawah tanah dan lain - lain.
- b.** Elektroda pembumian buatan.

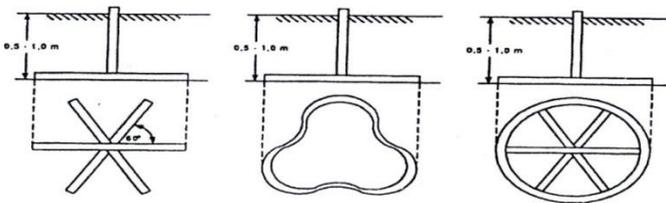
Elektroda pembumian buatan adalah penghantar yang sengaja ditanam didalam tanah dan berfungsi sebagai elektroda. Elektroda pembumian buatan terdiri dari tiga macam, bentuk umum yang digunakan yaitu:

- a.** Elektroda pita.
- b.** Elektroda batang.

## c. Elektroda plat.

**2.1.1. Elektroda Pita.**

Elektroda pita adalah elektroda yang berbentuk pita (lempengan tipis) atau berbentuk bulat seperti kawat pilin. Elektroda ini umumnya ditanam mendatar dalam kedalaman 0,5 – 1 meter dari permukaan tanah. Resistans pembumian elektroda pita sebagian besar tergantung pada panjang elektroda tersebut dan sedikit tergantung pada luas penampangnya.



**Gambar 2.2. Cara pemasangan elektroda pita (ISSN : 1858-3709)**

**Rumus perhitungan Pentanahan Elektroda Pelat Tunggal :**

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[ \ln\left(\frac{8W_p}{0,5W_p + r_p}\right) - 1 \right]$$

**Dimana :**

RP = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

P = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

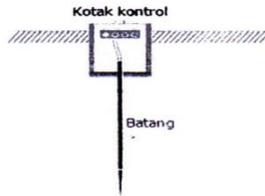
LP = Panjang pelat (m)

WP = Lebar pelat (m)

TP = Tebal pelat (m)

### **2.1.2. Elektroda Batang.**

Elektroda batang dibuat dari bahan pipa atau besi baja yang dipancangkan tegak lurus kedalam tanah. Panjang elektroda yang harus digunakan, disesuaikan dengan nilai resistans pembedaan yang diperlukan / diinginkan. Resistans pembedaannya sebagian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada ukuran penampangannya. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk memperoleh resistans pembedaan yang rendah, maka jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya. Jika elektroda tersebut tidak bekerja efektif pada seluruh panjangnya, maka jarak minimum antara elektroda harus dua kali panjang efektifnya, elektroda ini biasanya ditanam sedalam 1 – 6 meter.



**Gambar 2.3 Elektroda Batang**

**Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda Batang Tunggal :**

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln\left(\frac{4L}{A}\right) - 1 \right]$$

**Di mana:**

R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm – meter)

L = Panjang elektroda (meter)

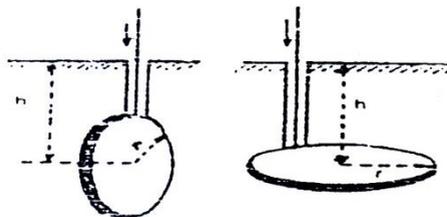
A = Diameter elektroda (meter)

### **2.1.3. Elektroda Plat**

Elektroda plat dibuat dari plat logam, plat logam berlubang atau dari kawat kasa. Plat tersebut ditanam tegak lurus didalam tanah, ukurannya disesuaikan dengan resistans pembumian yang diperlukan (lihat table 2.1) dan pada

umumnya cukup menggunakan plat berukuran 1 m x 0,5 m. Sisi atas plat harus terletak minimum 1 m dibawah permukaan tanah.

Penggunaan dari elektroda plat ini sebenarnya kurang ekonomis, karena, elektroda plat memerlukan lebih banyak bahan dibandingkan dengan elektroda pita atau elektroda batang.



**Gambar 2.4. Cara Pemasangan Elektroda Plat (ISSN :1858-3709)**

**Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda bentuk pelat.**

$$R = \frac{\rho}{4,1L} \left( 1 + 1,84 \frac{b}{t} \right)$$

Di mana:

R = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elekttroda pelat (m)

$b$  = Lebar pelat (m)

$T$  = Kedalaman pelat tertanam dari permukaan tanah (m)

**Tabel 2.1. Resistans pembumian pada resistans,  
(IEEE-std80). Jenis  $\rho_1 = 100 \Omega\text{-meter}$ .**

Jenis Elektroda	Panjang / Ukuran	Resistans Pembumian ( $\Omega$ )
Pita atau penghantar pilin	10 m	20
	25 m	10
	50 m	5
	100 m	3
Batang atau pita	1 m	70
	2m	40
	3m	30
	5m	20
Plat vertical dengan sisi atas $\pm 1\text{m}$ . dibawah permukaan tanah.	$0,5 \times 1 \text{ m}^2$	35
	$1 \times 1 \text{ m}^2$	25

Penghantar yang digunakan untuk pembumian harus memenuhi beberapa persyaratan, diantaranya adalah :

- a. Memiliki daya hantar jenis (conductivity) yang cukup

besar.

- b. Memiliki kekerasan (kekuatan) secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindungi terhadap kerusakan fisik.
- c. Tahan terhadap, korosi.

Bahan yang digunakan sebagai elektroda pembumian umumnya tembaga.

## 2.2. Resistans Jenis Tanah.

Dalam merencanakan suatu elektroda pembumian, maka langkah pertama yang harus diketahui adalah besar resistans jenis tanah dimana elektroda pembumian tersebut akan ditanam. Pada kenyataannya besar resistans jenis tanah dipengaruhi oleh karakteristik tanah itu sendiri dan keadaan cuaca sekitarnya. Nilai resistans jenis lapisan tanah dalam empat klasifikasi nilai seperti terlihat pada tabel 2.2. berikut.

**Tabel 2.2. Nilai resistans jenis lapisan tanah. (IEEE-std80)**

Jenis Tanah	Tahan Jenis Rata – rata ( $\Omega.m$ )
Tanah Basah	10
Tanah Lembab	100
Tanah Kering	1000
Tanah Berbatu	10000

### **2.3. Bahaya Dari Sengatan Arus Listrik.**

Bahaya yang diakibatkan karena terkena tegangan listrik dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya :

- a. Besarnya frekuensi yang mengenai tubuh.
- b. Besar tegangan atau arus yang melalui tubuh.
- c. Lamanya arus yang mengalir dalam tubuh.
- d. Kondisi keadaan tubuh, seperti: berat badan, resistans tubuh, permukaan kulit dan posisi badan ketika diiri arus listrik.

#### **2.3.1. Pengaruh Frekuensi Dan Lamanya Arus Listrik Yang Mengalir Pada Tubuh.**

Pengaruh arus balik yang melalui tubuh manusia bergantung pada lama, besar dan frekuensi arus listrik. Tubuh manusia peka terhadap arus listrik pada frekuensi 50 - 60 Hz. Tabel 2.3 memberikan gambaran pengaruh arus listrik 60 Hz terhadap tubuh manusia. Secara umum batas arus 1 mA diterima sebagai arus ambang rasa, yaitu batas arus listrik yang mulai dirasakan. Arus sebesar 15 - 20 mA dapat menyebabkan berkurangnya kendali pada otot - otot tubuh manusia.

Pada kebanyakan orang, besar arus 100 mA dapat menyebabkan fibrilasi pada otot jantung. Arus yang lebih besar lagi dapat menyebabkan jantung berhenti berfungsi dan

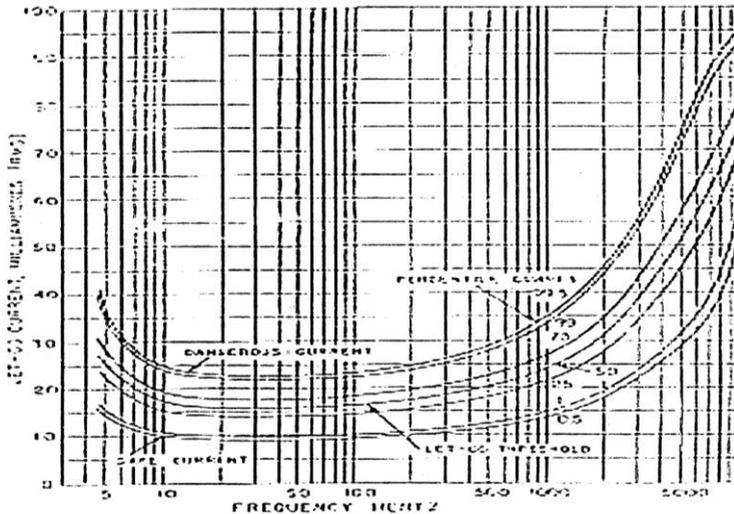
dapat pula membakar tubuh. Otot jantung bekerja berirama, sesuai dengan sinyal dari syaraf. Ketika terjadi sinyal yang keliru dikirim ke otot jantung, karena sengatan arus listrik misalnya, maka irama kerja jantung menjadi terganggu.

**Tabel 2.3. Pengaruh Arus Listrik Pada Tubuh Manusia.**  
*(IEEE-std80)*

<b>Arus (mA)</b>	<b>Pengaruhnya Pada Tubuh Manusia</b>
0,0 – 0,9	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apapun.
0,9 – 1,2	Tubuh mulai merasakan adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan kejang - kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol.
1,2 – 1,6	Mulai terasa seperti ada yang merayap di tangan.
1,6 – 6,0	Tangan sampai ke siku terasa kesemutan.
6,0 – 8,0	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan makin bertambah.
13 – 20	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat dilepaskan dengan gaya yang besar sekali.
20 – 50	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar.
50 – 100	Dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh

manusia.

Besar arus yang dapat menyebabkan kematian.



**Gambar 2.5. Pengaruh frekuensi terhadap let-go current.**  
(IEEE-std80)

### 2 3.2. Batas Arus Yang Dapat Diterima Oleh Tubuh.

Seperti yang dikemukakan Dalziel, besarnya arus yang aman berada pada 0,03 - 3 detik, tergantung pada arus yang ditarima tubuh, yang dituiis dengan persamaan :

$$(I_B)^2 \cdot t_s = S_B \quad (\text{IEEE-std80}) \quad (2.1)$$

dengan :  $I_B$  = besarnya arus rata rata yang melalui tubuh dalam ampere.

$t_s$  = Lamanya arus yang melalui tubuh dalam detik.

$S_B$  = Konstanta empiris dari gangguan listrik yang dapat diterima oleh beberapa persen populasi yang diberikan.

Besarnya arus dan lamanya arus yang mengalir pada tubuh seseorang pada frekuensi 50 – 60 Hz, harus lebih kecil dari ambang batas, sehingga tidak menimbulkan fibrilasi. Lamanya arus untuk frekuensi 50 - 60 Hz, yang berkenaan dengan besarnya arus dapat diterima oleh kebanyakan orang ditunjukkan oleh persamaan (2.1). Berdasarkan penelitian Dalziel, bahwa terdapat 99,5 % dari populasi dapat selamat tanpa terjadinya fibrilasi, dapat ditunjukkan oleh persamaan.

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad (2.2)$$

dengan :  $k = \sqrt{S_B}$  (**IEEE-std80**)

Dalziel mengemukakan bahwa 99,5 % dari populasi dapat selamat dengan berat badan rata– rata 50 kg, yang menghasilkan nilai  $S_B = 0,0135$  kemudian  $k = 0,116$ . Persamaan untuk arus yang diperbolehkan melewati tubuh menjadi :

$$I_B = \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad \text{untuk berat badan 50 kg} \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk berat badan rata - rata 70 kg menghasilkan nilai  $S_B = 0,0246$ , sehingga nilai  $k = 0,157$ . Nilai tersebut dimasukkan ke persamaan (2.2) menjadi persamaan :

$$I_B = \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad \text{Untuk berat badan 70 kg} \quad (2.4)$$

Arus yang menimbulkan fibrilasi biasanya merupakan sebuah fungsi dari berat tubuh seseorang.

#### **2.4. Resistans Tubuh Manusia.**

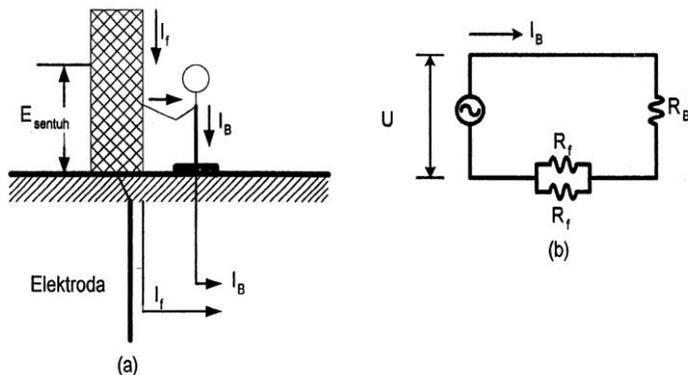
Untuk arus dc dan ac pada frekuensi normal, tubuh manusia dapat diwakilkan oleh resistans noninduktif. Resistans berada antara kaki dan tangan, yaitu dari satu tangan ke kedua kaki atau dari satu kaki ke kaki yang lain. Resistans dari jaringan tubuh bagian dalam, tidak termasuk kulit, kira - kira 300  $\Omega$ , sedangkan resistans tubuh termasuk kulit berkisar antara 500 - 3000  $\Omega$ . Resistans tubuh berkurang karena rusaknya kulit pada titik perhubungan dengan benda. Resistans dari tangan yang basah bisa sangat rendah pada setiap tegangan. Resistans dari kaki tidak menentu, bisa sangat rendah untuk kulit yang basah. Jadi, dapat dikatakan

bahwa :

1. Resistans hubungan tangan dan kaki dianggap sama dengan not.
2. Resistans tubuh manusia diambil sebesar  $1000 \Omega$ , dari tangan kedua kaki dan juga dari tangan ke tangan, atau dari kaki ke kaki lain:  $R_B = 1000 \Omega$

## 2.5. Tegangan Sentuh.

Perbedaan potensial yang terjadi pada permukaan bumi ketika seseorang berdiri dan tangannya menyentuh dengan peralatan yang dibumikan disebut tegangan sentuh.



**Gambar 2.6. a. Arus yang mengalir pada tegangan sentuh  
(IEE std 80-2000)**

**c. Rangkaian ekuivalen dari tegangan sentuh  
(IEE Std 80-2000)**

Dari rangkaian ekivalen pada gambar 2.6.b, dapat diketahui besarnya tegangan sentuh ( $E_{\text{sentuh}}$ ) adalah :

$$E_{\text{sentuh}} = I_B \left( R_B + \frac{R_f}{2} \right) \quad (\text{IEEE-std80}) \quad (2.5)$$

dengan :

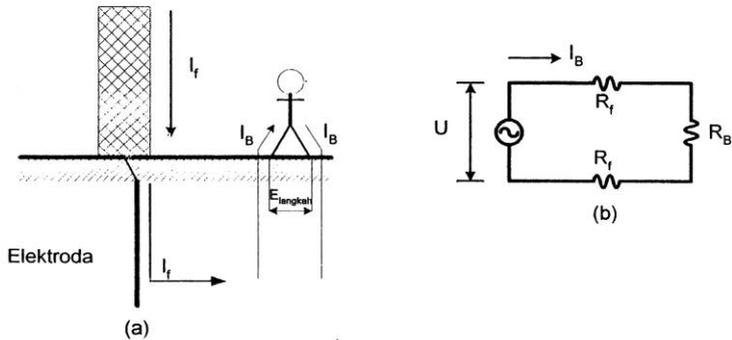
- $E_{\text{sentuh}}$  :Tegangan sentuh (V)
- $I_B$  : arus yang melewati tubuh (A).
- $R_B$  : Resistans tubuh ( $\Omega$ ).
- $R_f$  : Resistans kontak kebumi ( $\Omega$ ).

Resistans tubuh manusia  $R_B$  diambil 1000  $\Omega$  dan tahanan kontak antara kaki dan permukaan bumi didekati dengan nilai  $R_f = 3 \rho_s$ , dimana  $\rho_s$  adalah resistans jenis permukaan bumi, sehingga persamaan (2.5) dapat ditulis menjadi :

$$E_{\text{sentuh}} = I_B (1000 + 1,5\rho_s) \quad (2.6)$$

## 2.6. Tegangan Langkah.

Tegangan langkah adalah bagian tegangan elektroda pembumian antara dua titik dipermukaan bumi, yang jaraknya sama dengan satu langkah biasa.



**Gambar 2.7. a. Arus yang mengalir pada tegangan langkah.**

**b. Rangkaian ekivalen tegangan langkah.(IEEE-std80)**

Dengan melihat rangkaian ekivalen pada gambar 2.7.b, dapat diketahui besarnya tegangan langkah ( $E_{\text{langkah}}$ ) adalah :

$$E_{\text{langkah}}=I_B(R_B+2R_f) \quad (2.7)$$

dengan :  $E_{\text{langkah}}$  : Tegangan langkah (V).

$I_B$  : Arus yang melewati tubuh (A).

$R_B$  : Resistans tubuh ( $\Omega$ ).

$R_f$  : Resistans kontak kaki ( $\Omega$ ).

Nilai resistans tubuh  $R_B$  dan resistans kontak kaki  $R_f$  adalah sama dengan yang digunakan pada tegangan sentuh,

sehingga persamaan (2.7) dapat ditulis menjadi :

$$E_{\text{langkah}} = IB (1000 + 6 \rho_s) \quad (2.8)$$

## **2.7. Tahanan Jenis Tanah ( $\rho$ )**

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari satu elektroda yang hemispherical  $R = \rho / 2\pi$  terlihat bahwa tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya  $\rho$ . Untuk Berbagai tempat harga  $\rho$  ini tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor:

1. Sifat geologi tanah
2. Komposisi zat kimia dalam tanah
3. Kandungan air dalam tanah

### **1. Sifat Geologi Tanah**

Ini merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah liat mempunyai tahanan jenis terendah, sedang batu-batuan dan quartz bersifat sebagai insulator.

### **2. Komposisi Zat Kimia dalam Tanah**

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk

diperhatikan pula. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.

### **3. Kandungan Air dalam Tanah**

Kandungan air dalam tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20 %. Dalam salah satu tes laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 10 % ke 10 % meyebabkan tahanan jenis tanah naik sampai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20 % pengaruhnya sedikit sekali.

( Halaman ini sengaja di kosongkan )