

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Pada Penelitian Tugas Akhir ini penulis memiliki referensi yang berhubungan dengan fokus penelitian yaitu:

1. Suwarti (2015), penelitian terhadap nilai tahanan jenis tanah dimana 3 elektroda dipasang secara horizontal dengan kedalaman 100 cm dengan nilai tahanan pembumian sebesar 15,1 Ohm untuk pasir dan 88,3 Ohm untuk nilai tahanan pada jenis tanah liat.
2. Karuna Hangga (2014), penelitian ini membahas keamanan pentanahan pada sistem pentanahan Gardu Induk Jajar 150 KV dimana nilai tahanan pada sistem pentanahan sebesar 0,3 Ohm dimana nilai yang ada cukup baik dengan resiko bila arus hubung singkat yang lebih besar.
3. Abrar Tanjung (2015), penelitian yang membahas perencanaan Gardu Induk Bagan Batu untuk tegangan sentuh sebenarnya diperoleh 186,7 Volt, tegangan langkah sebenarnya sebesar 209,6 Volt, serta jumlah batang pentanahan sebanyak dengan besar penampang konduktornya 3,62 mm<sup>2</sup>.
4. Muhammad Kamal Hamid (2016), penelitian yang membahas pentanahan sistem netral adalah pengaman sistem dan jaringan pada peralatan sistem pentanahan sebagai proteksi terhadap tegangan sentuh. Pengukuran jenis elektroda pentanahan pada transformator distribusi 20 kV Rayon Lhoksukon PT. PLN (PERSERO), yang menggunakan elektroda 4 buah dengan nilai pentahan sebesar 2 Ohm.
5. Abrar Tanjung (2015), penelitian yang membahas sistem pentanahan pada tranformator distribusi di Universitas Lancang Kuning dengan nilai hasil tahanan pentanahan 22,15 Ohm, tegangan sentuh 288,1 Volt, dan tegangan langkah 938 Volt.

6. Mirwan Mukmin (2014), penelitian yang membahas pengukuran dan perbandingan nilai tahanan pada area reklamasi dengan tujuan mempermudah perancangan sistem pentanahan.
7. Ignatius Agung Pratama (2014), penelitian yang membahas perencanaan sistem keamanan peralatan ke tanah dengan tujuan memperkirakan resiko ke manusia dan peralatan.
8. Mustari Lamma (2012), penelitian yang membahas resiko daerah bertegangan tinggi dan jarak kaki manusia terhadap daerah bertegangan untuk mendapatkan nilai tahanan untuk mengurangi resiko terhadap peralatan dan manusia.
9. Ziainal Abidin (2015), penelitian yang membahas nilai tahanan tanah dengan metode penambahan garam dan arang dengan tujuan mengetahui nilai tahanan dengan perubahan struktur tanah.
10. Basuki Tri Nugraha (2014), penelitian yang membahas keamanan sistem pentanahan pada sistem telekomunikasi dengan tujuan mengamankan peralatan pada sistem telekomunikasi.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1 Sistem Pentanahan**

Salah satu standar dalam setiap pembuatan suatu sistem kelistrikan guna memberi pengamanan pada rangkaian adalah pentanahan. Bila suatu pekerjaan pengamanan yang baik akan dilaksanakan, maka wajib ada sistem pentanahan yang dirancang dengan baik dan benar. Prinsip/standar yang menjadi acuan, telah banyak tertulis berbagai organisasi nasional seperti peraturan PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) dan IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*). Agar sistem pentanahan berjalan baik harus memenuhi standar sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian impedansi rendah ke tanah dengan menggunakan rangkaian yang efektif tujuan pengamanan manusia, dan peralatan.
2. Dapat melawan gangguan yang berulang dan arus bocor yang terjadi akibat kesalahan isolasi.

3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap resiko keadaan kondisi tanah, untuk ketahanan yang berumur panjang pada sistem pentanahan dan peralatan yang terlindungi.
4. Menggunakan sistem yang mudah agar dalam perawatan dan perbaikan mudah.

Dalam sistem pentanahan selalu timbul pertanyaan “seberapa kecil nilai tahanan pada pentanahan?” maka jawaban terbaiknya semakin kecil semakin baik namun faktor yang mempengaruhi nilai tahanan yang baik sangat banyak dari jenis tanah, cuaca, dan sistem pentanahan yang digunakan. Dibeberapa lokasi tahanan 5 Ohm sudah sangat memungkinkan tanpa banyak gangguan, sedangkan dilain lokasi sangat sulit mencapai nilai tahanan dibawah 100 Ohm.

### **2.2.2 Karakteristik Tanah**

Pada dasarnya bagian yang paling penting dalam sistem pentanahan ialah tanah maka perlu diketahui karakteristik yang mempengaruhinya sebagai berikut:

1. Kadar air pada tanah merupakan kandungan yang menyusun tanah dimana kerapatan jenis tanah dapat dilihat dari kadar air yang dikandung bila kandungan airnya sedikit maka tanah itu keras dan bila kadar air tinggi maka jenis tanahnya tanah liat maupun lumpur.
2. Berat Jenis tanah merupakan susunan yang menyusun tanah dimana beratnya jenis tanah dapat diketahui dari kerapatan tanahnya seperti tanah liat yang berat jenisnya besar sedangkan pada pasir berat jenis lebih ringan. Berikut merupakan data tahanan jenis tanah berdasarkan jenis tanahnya :

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Tanah Berdasarkan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ohm)
Sawah, Rawa (Tanah Basah)	0 – 150
Tanah Garapan (Tanah Liat)	10 – 200
Kerikil	100 – 1000
Pegunungan (Tanah)	200 – 2000
Pegunungan ( Batu)	2000 - 5000
Bebatuan	1000 – 5000

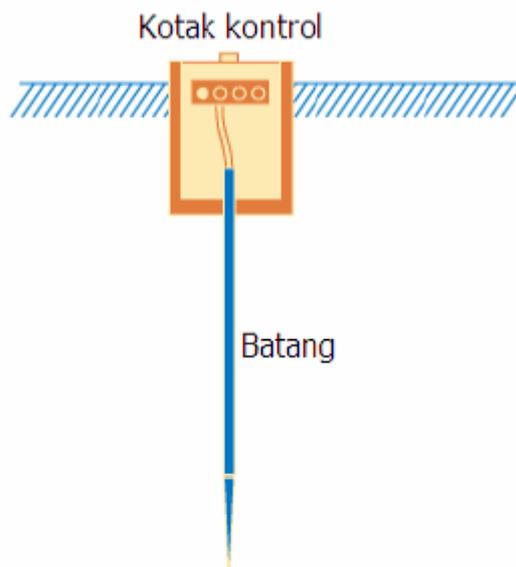
Beberapa faktor sifat tanah yang dapat merugikan dalam sistem pentanahan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung rendah dimana tanah memiliki kohesi yang sangat rendah sehingga kemampuannya untuk mendukung kecil.
2. Kompresibilitas yang tinggi yaitu dimana tanah memiliki ruang pori yang mudah terisi resapan air.
3. Permeabilitas yang tinggi dimana tanah karena faktor kompresi tinggi memiliki resiko membuat tanah amblas/penurunan permukaan tanah.
4. Volume tidak stabil dimana keadaan tanah mudah berubah akibat cuaca yang berubah-ubah.
5. Mudah melapuk dimana tanah yang mudah terjadi pelapukan karena oksigen yang ada dalam tanah tidak tersirkulasi dengan baik akan membuat tanah mudah terjadi pelapukan.
6. Mempunyai berat volume yang ringan dimana bila berat tanah terlalu ringan memiliki nilai jenis tahanan yang sangat besar.

### 2.2.3 Jenis Elektroda Pentanahan

Elektroda merupakan suatu penghantar/konduktor dan penghubung yang langsung terhubung dengan tanah dengan tujuan mengalirkan arus dan tegangan yang bocor ke tanah. Berikut merupakan beberapa jenis elektroda yang biasa digunakan dalam sistem pentanahan:

1. Elektroda Batang (ROD) merupakan elektroda dari pipa ataupun besi yang dipasangkan kedalam tanah. Merupakan jenis elektroda yang pertama digunakan yang menjadi awal dalam menggunakan elektroda jenis lain. Elektroda batang mudah dalam pemasangan dan tidak menggunakan lahan yang luas dan merupakan jenis elektroda yang biasa digunakan di gardu induk. Gambar 2.1 Elektroda Batang (ROD) sebagai berikut:



Gambar 2.1 Elektroda Batang (ROD)

Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan tahanan pentanahan untuk elektroda batang (ROD):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{A} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: R = Tahanan Pentanahan (Ohm)

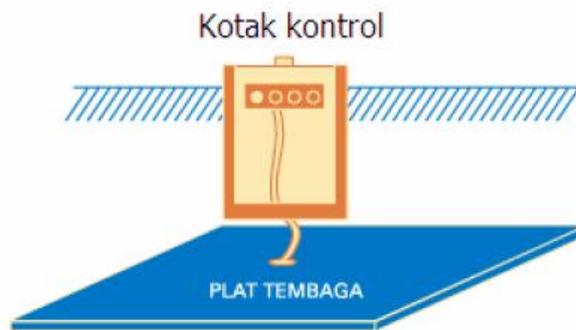
P = Tahanan Jenis Tanah (Ohm-meter)

L = Panjang Elektroda (meter)

A = Diameter Elektroda (meter)

2. Elektroda Plat merupakan elektroda berbahan logam yang utuh atau berlubang maupun terbuat dari kawat. Elektroda ini digunakan bila sangat

susah untuk memperoleh tahanan pentanahan yang diinginkan pada dasarnya penanaman elektroda ini dalam. Gambar 2.2 Elektroda Plat sebagai berikut:



Gambar 2.2 Eletroda Plat

Beikut Rumus untuk menemukan nilai tahanan pentanahan menggunakan elektroda plat:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8W}{0,5W+T} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan: R = Tahanan Pentanahan (Ohm)

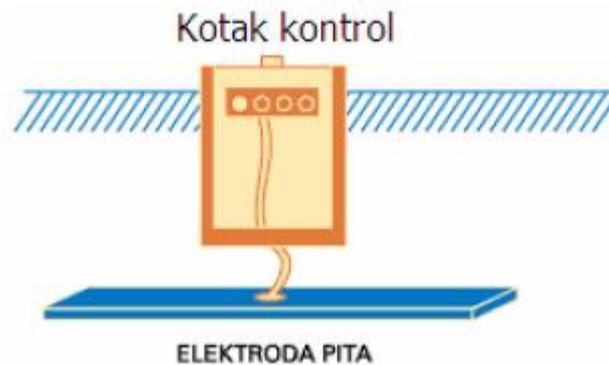
$\rho$  = Tahanan Jenis Tanah (Ohm-meter)

L = Panjang Plat (meter)

W = Lebar Plat (meter)

T = Tebal Plat (meter)

3. Elektroda Pita merupakan elektroda yang terbuat dari penghantar berbentuk plat atau pipih yang ditanah dalam. Pemasangan elektrodan jenis ini sangat sulit apabila jenis tanah yang ada berbatu. Untuk mendapatkan nilai tahanan yang kecil juga sangat sulit maka dapat diatasi dengan pemasangan horizontal kedalam tanah. Gambar 2.3 Eletroda Pita berikut gambarnya:



Gambar 2.3 Elektroda Pita

Berikut merupakan rumus untuk menentukan nilai tahanan pentanahan menggunakan elektroda pita:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2W}{\sqrt{D \cdot Z}} \right) + \frac{1,4L}{\sqrt{A}} - 5,6 \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan R = Tahanan kawat (Ohm)

$\rho$  = Tahanan Jenis Tanah (Ohm-meter)

L = Panjang Total Grid Kawat (meter)

D = Diameter Kawat ( Meter)

L = Luasan yang dijangkau Grid (m<sup>2</sup>)

Z = Kedalaman Penanaman (m)

#### 2.2.4 Konduktor Penghantar Listrik

Penghantar ialah suatu zat yang dapat mengalirkan listrik, dapat berupa padat, gas, dan cair karena sifatnya dapat mengantarkan/mengalirkan arus listrik maka disebut konduktor. Konduktor yang baik merupakan konduktor yang tahanan jenisnya kecil. Berikut Tabel 2.2 Jenis Konduktor dan Nilai Tahanan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Jenis Konduktor dan Nilai Tahanan

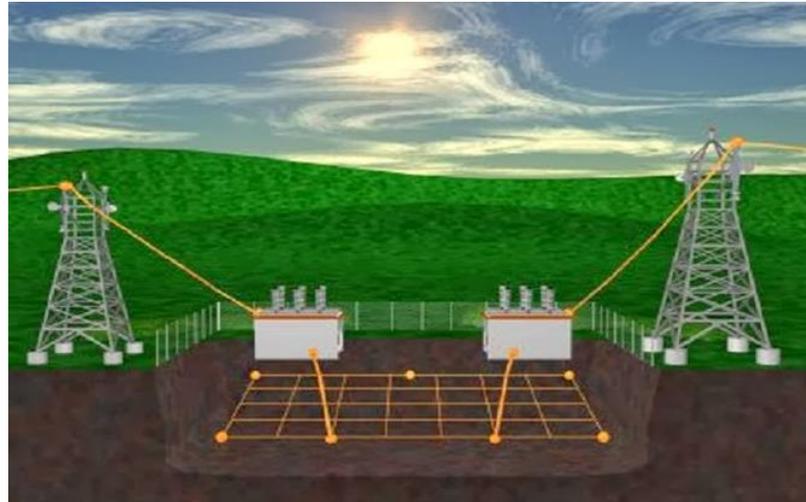
Bahan	Tahanan Jenis (Ohm-meter)
<b>-Konduktor</b>	
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$
Alumunium	$2,65 \times 10^{-8}$
Tungsten	$5,6 \times 10^{-8}$
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Raksa	$98 \times 10^{-8}$
Nikrom	$100 \times 10^{-8}$
<b>-Semikonduktor</b>	
Karbon	$(3 - 60) \times 10^{-5}$
Germanium	$(1 - 500) \times 10^{-5}$
Silikon	0,1 – 60
<b>-Isolator</b>	
Kaca	$10^{-9} - 10^{-12}$
Karet	$10^{-13} - 10^{-15}$

Diatas merupakan bahan konduktor yang biasa digunakan dalam penghantar sistem distribusi listrik maupun sistem pentanahan diman semakin besar kecil nilai tahanannya semakin baik dalam menghantarkan arus listrik.

### 2.2.5 Sistem Pentanahan Gardu Induk

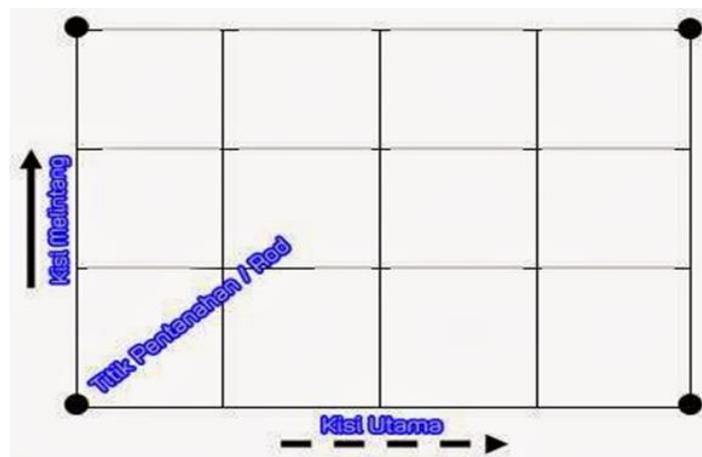
Sistem Pentanahan yang umum digunakan dalam gardu induk ialah grid/kisi-kisi karena susah menemukan nilai tahanan pentanahan yang baik maka digunakan sistem grid. Menggunakan bentuk bujur sangkar dengan anggapan bahwa muatan yang ada pada permukaan penghantar konduktor yang

berbentuk grid sama. Gambaran pentanahan gardu induk dapat dilihat pada Gambar 2.4 Pentanahan Grid Gardu Induk sebagai berikut:



Gambar 2.4 Pentanahan Grid Gardu Induk

Berikut bentuk mesh pentanahan grid pada gardu induk dapat dilihat pada Gambar 2.5 Mesh Pentanahan Gardu Induk:



Gambar 2.5 Mesh Pentanahan Gardu Induk

Faktor yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk adalah sebagai berikut :

- a. Luas daerah yang diamankan.
- b. Tahanan Jenis Tanah disekitar Gardu Induk.
- c. Tahanan Jenis Rata-Rata tanah yang dianggap sama.

- d. Besarnya arus hubung singkat maksimum ke tanah yang kemungkinan terjadi.
- e. Waktu yang disetting dalam memproteksi adanya gangguan ke tanah.
- f. Diameter dan panjang konduktor yang dipakai untuk sistem pentanahan

### 2.2.6 Bahaya yang Ada Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk

Bahaya yang dapat terjadi pada sistem pentanahan gardu induk biasanya ada 2 hal yaitu arus yang bocor maupun tegangan sentuh dan tegangan langkah berikut akan dijelaskan bahaya yang terjadi pada sistem pentanahan gardu induk.

#### 1. Arus Yang Mengalir Pada Tubuh Manusia.

Kemampuan tubuh dalam menerima arus pada manusia beragam-beragam karena setiap individu berbeda ketahanan tubuhnya namun batas terhadap besarnya arus yang mengalir pada setiap manusia sulit ditetapkan. Para ahli banyak melakukan riset dengan manusia langsung maupun hewan untuk mengetahui batas terhadap tubuh manusia dalam menerima arus listrik. Batas arus yang ada dibagi menjadi 4 yaitu :

- a. Arus Persepsi yaitu apabila seseorang memegang penghantar yang memiliki tegangan mulai dari nol dan akan dinaikan secara perlahan, arus yang mengalir pada tubuh manusia akan memberi pengaruh kepada tubuh tetapi pada arus searah akan lebih panas. Pada *Electrical Testing Laboratory New York* tahun 1993 telah dilakukan uji coba 40 orang laki-laki dan perempuan dan didapat arus rata-rata yang mengalir pada tubuh manusia ( *threshold of perception current* ) sebagai berikut:
  - Laki-laki = 1,1 mA.
  - Perempuan = 0,7 mA.
- b. Arus Mempengaruhi Otot yaitu arus yang dinaikan dari arus persepsi maka orang akan merasakan sakit dan bila terus dinaikan akan membuat otot-otot kaku sehingga akan menjadi lemas dan tidak dapat melepaskan konduktor bertegangan yang dipegangnya. Di University of California Medical School telah dilakukan penelitian pada 134 laki-laki dan 28

perempuan dan diperoleh nilai rata-rata dari arus yang mempengaruhi otot sebagai berikut:

- Laki-laki = 16 mA.
- Perempuan = 10,5 mA.

Berdasarkan penelitian ditetapkan batas arus maksimal dimana orang dapat memisahkan konduktor bila terkena arus listrik :

- Laki-laki = 9 mA.
- Perempuan = 6 mA.

- c. Arus Reaksi yaitu arus kecil yang dapat membuat orang terkejut, hal ini berbahaya karena beresiko terjadi kecelakaan. Penelitian telah dikemukakan oleh Dr. Hanz Prinz dimana batasan-batasan arus yang mempengaruhi manusia dapat dilihat pada Tabel 2.3 Batasan Arus dan Pengaruh Pada Manusia berikut:

Tabel 2.3 Batasan Arus dan Pengaruhnya Pada Manusia

Besar Arus	Pengaruh Pada Manusia
0 – 0,9 A	Tidak berpengaruh dan menimbulkan reaksi.
0,9 – 1,2 A	Terasa ada arus listrik namun tidak menimbulkan kejang, kontraksi, dan kehilangan kontrol.
1,2 – 1,6 A	Mulai terasa ada aliran listrik pada tangan.
1,6 – 6,0 A	Tangan sampai siku mulai kesemutan.
6,0 – 8,0 A	Tangan mulai kaku dan terasa kesemutan.
13 – 15 A	Rasa sakit tak tertahankan.
15 – 20 A	Mulai lemas dan tidak dapat melepaskan penghantar.
20 – 50 A	Merusak organ tubuh manusia.
50 – 100 A	Dapat Mengakibatkan kematian.

- d. Arus Fibrilasi yaitu arus yang mengalir pada tubuh manusia lebih besar dari arus yang keadaan yang mempengaruhi otot dapat membuat manusia menjadi pingsan bahkan kematian. Arus yang mempengaruhi jantung disebut *venricular fibrillation* yang membuat gagal jantung dan peredaran darah yang tidak stabil tanpa penanganan serius maka akan

terjadi kematian. Untuk meneliti hal ini tidak dapat dilakukan kepada manusia maka dari itu dilakukan pendekatan yang telah dilakukan di University of California oleh Dalzil pada tahun 1968 (*berdasarkan buku pengtanahan netral sistem tenaga dan pengtanahan peralatan. Ir. T.S. Hutauruk., M.Sc.*), dengan menggunakan hewan yang memiliki organ tubuh seperti manusia. Dari percobaan Dalziel menarik kesimpulan bahwa 99,5% manusia yang beratnya lebih dari 59 kg masih dapat bertahan dari besar arus dan waktu yang ditentukan oleh persamaan berikut:

$$Ik = \frac{k}{\sqrt{t}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana  $k = \sqrt{k}$

$k = 0,0135$  untuk manusia dengan berat 50 kg.

$= 0,0246$  untuk manusia dengan berat 70 kg.

$Ik =$  Besarnya arus yang melakui tubuh manusia (Ampere)

$t =$  waktu gangguan (detik)

## 2. Tegangan

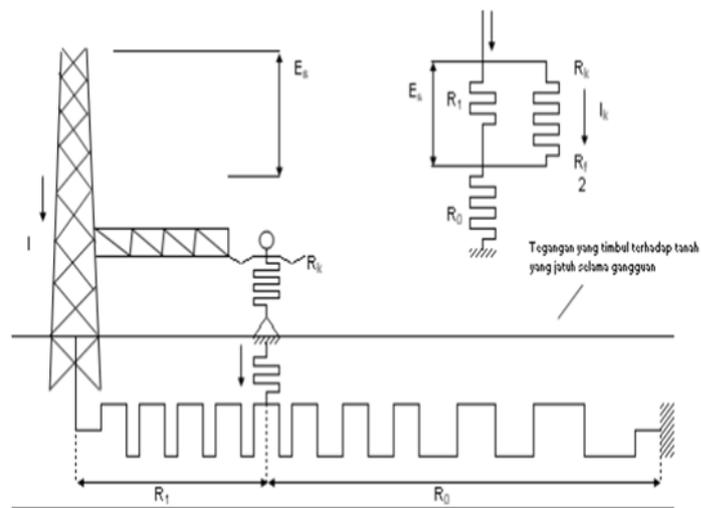
Tegangan adalah perbedaan potensial pada dua titik dalam rangkaian/instalasi listrik, dan dinyatakan dalam satuan Volt. Pada sistem tenaga listrik tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan pada manusia, dalam hal ini terjadi kontak langsung terhadap daerah yang dialiri tegangan tinggi pada dasarnya besarnya arus yang mengalir mengakibatkan resiko berbahaya terhadap manusia.

Khususnya gardu induk resiko terjadinya bahaya diakibatkan oleh gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke bawah tanah. Arus yang mengalir ini akan mengalir disekitar gardu induk yang mana akan mengalir antara peralatan dengan peralatan, peralatan ke tanah, dan daerah pada permukaan tanah. Untuk meneliti lebih lanjut akan dilakukan riset kemungkinan terjadi pada resiko pada manusia dan sekitar gardu induk.

Berikut beberapa pendekatan untuk menyesuaikan kondisi yang ada disekitar gardu induk dan gangguan yang biasa terjadi pada sistem pentanahan berdasarkan jenis tegangannya:

a. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh merupakan tegangan yang berada pada suatu objek yang disentuh dan satu titik berjarak satu meter, dengan objek yang disentuh dihubungkan dengan sistem pentanahan yang ada dibawahnya. Berikut gambaran tegangan sentuh dilihat pada Gambar 2..6 Kondisi Rangkaian Tegangan Sentuh:



Gambar 2.6 Kondisi Rangkaian Tegangan Sentuh

Persamaan yang ada untuk menentukan nilai tegangan sentuh sebagai berikut:

$$E_s = I k (R_k + 1,5 \rho_s) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana  $E_s$  = Tegangan sentuh (Volt)

$I_k$  = Arus Fibrasi (Ampere)

$R_k$  = Tahanan badan manusia (Ohm)

$P_s$  = Tahanan jenis tanah pada permukaan tanah (Ohm)

Tegangan sentuh yang diizinkan mengalir pada tubuh manusia dan lama gangguannya dapat dilihat pada Tabel 2.4 Tegangan Sentuh yang Diizinkan dan Lama Gangguan:

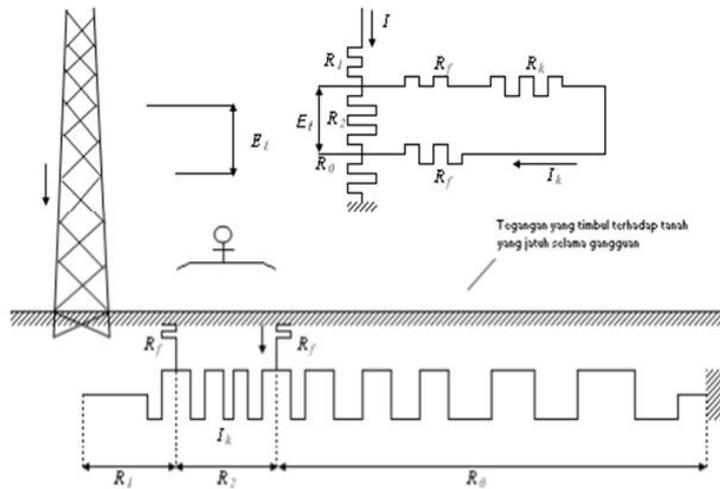
Tabel 2.4 Tegangan Sentuh yang Diizinkan dan Lama Gangguan

Tegangan Sentuh (Volt)	Lama Gangguan (detik)
1.980	0,1
1.400	0,2
1.140	0,3
990	0,4
890	0,5
626	1,0
443	2,0
363	3,0

Tegangan sentuh adalah sumber masalah dimana menyangkut aliran arus gangguan (*fault current*) ke tanah yang diakibatkan adanya beda tegangan antara titik kontak ke tanah dan struktur konduktif yang berdekatan.

b. Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara dua kaki yang sedang berdiri diatas permukaan tanah yang sedang dialiri arus yang tidak mengalir ke dalam tanah. Berikut merupakan gambaran kondisi pada tegangan langkah dilihat pada Gambar 2.7 Kondisi Tegangan Langkah:



Gambar 2.7 Kondisi Tegangan Langkah

Persamaan untuk mencari nilai tegangan langkah sebagai berikut:

$$El = Ik(Rk + 6 \rho s) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:  $E_l$  = Tegangan langkah (Volt)

$I_k$  = Arus Fibrasi (Ampere)

$R_k$  = Tahanan badan manusia (Ohm)

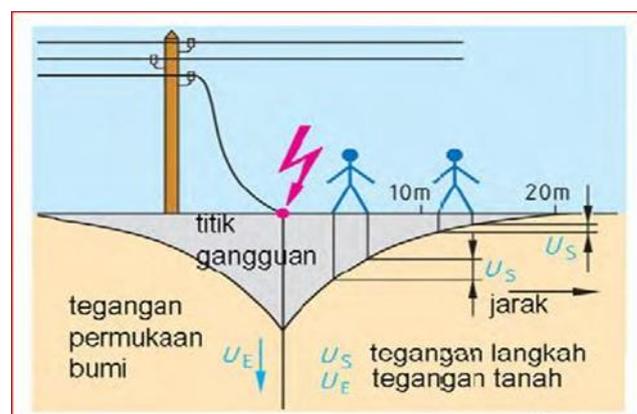
$\rho s$  = Tahanan jenis tanah pada permukaan tanah (Ohm)

Tegangan langkah yang diizinkan dan lama gangguan dapat dilihat pada Tabel 2.5 Tegangan Langkah yang Diizinkan dan Lama gangguan sebagai berikut:

Tabel 2.5 Tegangan Langkah yang Diizinkan dan Lama Gangguan

Tegangan Langkah (Volt)	Lama Gangguan
7.000	0,1
4.950	0,2
4040	0,3
3500	0,4
3140	0,5
2216	1,0
1560	2,0
1280	3,0

Tegangan langkah diakibatkan oleh arus yang mengalir ke tanah. Semakin dekat dengan titik gangguan, semakin besar arus dan semakin besar juga tegangan listriknya. Aliran listrik mengakibatkan tegangan jatuh (*voltage drop*) karena ada arus yang mengalir melalui permukaan tanah dan manusia yang berada pada gangguan ini menjadi bagian dari tegangan jatuh sehingga menciptakan lintasan paralel pada arus listrik. Gambar 2.8 Gambaran Tegangan Langkah:



Gambar 2.8 Gambaran Tegangan Langkah

Hal ini terjadi akibat manusia berdiri didekat titik gangguan bila arus gangguan mengalir ke dalam tanah akan menimbulkan beda potensial besar antara kaki maka semakin jauh dari titik gangguan maka semakin kecil beda potensialnya

### 2.2.7 Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia beragam-ragam dengan kisaran 500 Ohm sampai 3.000 Ohm. Tergantung dari keadaan kulit pada tempat terjadi sentuhan maupun tergantung besar tegangannya. Kulit manusia dapat menahan arus yang mengalir namun apabila arus besar akan langsung terbakar jadi tahanan tubuh manusia yang mempengaruhi keadaan tubuh manusia. Penelitian tahanan tubuh manusia yang dilakukan beberapa ahli dapat dilihat pada Tabel 2.6 Berbagai Tahanan Tubuh manusia:

Tabel 2.6 Berbagai Tahanan Tubuh manusia

Peneliti	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	Tegangan 60 cps
AIEE Committee Report 1958	2.330	Tegangan 21 Volt
	1.130	Tangan ke kaki
	1.680	Tangan ke tangan
	800	Tangan ke kaki 50 cps
Laurent	3000	

Dari hasil penelitian diatas diambil nilai yang menjadi nilai tahanan tubuh manusia sebesar 1.000 Ohm.

