



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/ arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.

Pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga saja, namun mencakup juga sistem peralatan elektronik, seperti telekomunikasi, komputer, dll. Secara umum, tujuan sistem pentanahan adalah menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah, menjamin kerja peralatan listrik/elektronik, mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik, dan menyalurkan energi serangan petir ke tanah.

Sistem pentanahan yang digunakan baik untuk pentanahan netral dari suatu sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir dan pentanahan untuk suatu peralatan khususnya dibidang peralatan khususnya dibidang telekomunikasi dan elektronik perlu mendapatkan perhatian yang serius, karena pada prinsipnya pentanahan tersebut merupakan dasar yang digunakan untuk suatu sistem proteksi. Tidak jarang orang umum atau awam maupun seorang teknisi masih ada kekurangan dalam memprediksikan nilai dari suatu hambatan pentanahan. Besaran yang sangat dominan untuk diperhatikan dari suatu sistem Pentanahan adalah hambatan sistem suatu sistem pentanahan tersebut.^[8]

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut;



1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
4. Menggunakan system mekanik yang kuat namun mudah pelayanan.^[7]

2.2 Fungsi dan Tujuan Sistem Pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui suatu elektroda pentanahan yang ditanam dalam tanah bila terjadi gangguan. Disamping itu berfungsi juga sebagai pengamanan baik bagi manusia maupun peralatan dari bahaya listrik.

Tujuan system pentanahan :

1. Menjaga keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari sengatan sentuh atau sengatan langkah
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik
4. Menyalurkan energi serangan petir ketanah
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover^[8]

2.3 Jenis-Jenis Pentanahan

Secara garis besar sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi tiga yaitu;

1. Pentanahan sistem
2. Pentanahan peralatan
3. Pentanahan penangkal petir.



2.3.1 Pentanahan Sistem

Sistem dengan titik netral ditanahkan adalah suatu sistem yang titik netral dari sistem tersebut sengaja dihubungkan ke tanah, baik melalui impedansi maupun secara langsung. Adapun tujuan pentanahan titik netral sistem adalah sebagai berikut :

1. Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
2. Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
3. Meningkatkan keandalan (realibility) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
4. Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang (restrike ground fault).
5. Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.^[5]

2.3.2 Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan sistem pentanahan netral pengaman (PNP) adalah tindakan pengamanan dengan cara menghubungkan badan peralatan / instalasi yang diproteksi dengan hantaran netral yang ditanahkan sedemikian rupa sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tidak terjadi tegangan sentuh yang tinggi sampai bekerjanya alat pengaman arus lebih. Yang dimaksud bagian dari peralatan ini adalah bagian-bagian mesin yang secara normal tidak dilalui arus listrik namun dalam kondisi abnormal dimungkinkan dilalui arus listrik.^[7]

Pentanahan Peralatan bertujuan:

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal.



2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.^[4]

2.3.3 Pentanahan Penangkal Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkal petir pada bangunan akibat sambaran petir ini akan mengakibatkan ke langsung objek tersambar. Dengan adanya instalasi penangkal petir, maka diharapkan sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke bumi tanpa merusak benda disekitarnya.

Ada 3 bagian utama pada penangkal petir yaitu :

1. Batang penangkal petir



Gambar 2.1. Batang penangkal petir diatas gedung

Sebuah batang logam atau konduktor yang dipasang di atas gedung yang terhubung ke tanah melalui kawat, untuk melindungi bangunan pada saat terjadi petir. Dibuat runcing karena muatan listrik mempunyai sifat mudah berkumpul dan lepas pada ujung logam yang runcing. Dengan demikian dapat memperlancar proses tarik menarik dengan muatan listrik yang ada di awan.



2. Kabel konduktor



Gambar 2.2. Kabel BC 50 mm sebagai Konduktor

Kabel konduktor terbuat dari jalinan kawat tembaga. Diameter jalinan kabel konduktor sekitar 1 cm hingga 2 cm . Kabel konduktor berfungsi meneruskan aliran muatan listrik dari batang muatan listrik ke tanah. Kabel konduktor tersebut dipasang pada dinding di bagian luar bangunan.

3. Elektroda pentanahan



Gambar 2.3. Gambar elektroda tipe batang(rod)

Elektroda pentanahan (*grounding*) suatu konduktor yang ditanam dalam tanah berfungsi mengalirkan muatan listrik dari kabel konduktor ke bumi dan memiliki nilai tahanan yang digunakan sebagai acuan terhadap baik buruk suatu pentanahan. Batang pentanahan biasanya terbuat dari bahan tembaga berlapis baja.

Sistem-sistem penangkal petir

1. Sistem Franklin (**sistem Konvensional**)



Gambar 2.4. Penangkal petir Sistem Franklin

Sebuah batang yang runcing dari bahan cooper spit yang dipasang pada paling atas bangunan, dan dihubungkan dengan batang tembaga menuju elektroda tanah (mencapai permukaan air). Daerah yang dilindungi sari sambaran petir berbentuk segitiga kerucut dengan ujung penyalur petir pada puncaknya. Disistem ini hanya menggunakan sebuah spit pengangkal petir yang dipasang pada tempat tertinggi.

2. Sistem Faraday (sangkar faraday) atau Strapping



Gambar 2.5. Penangkal Petir Sistem Faraday / Strapping

Pada prinsipnya seperti franklin tetapi dibuat memanjang atau berbentuk sangkar sehingga jangkauan lebih luas. Sistem ini dipakai pada bangunan yang punya atap yang luas. Dalam satu bangunan menggunakan lebih dari 4 spit sebagai penangkal petir.

3. Sistem Radio Aktif



Gambar 2.6. Batang Finial Sistem Penangkal Petir Radioaktif

Sistem ini cocok untuk bangunan tinggi. Satu bangunan cukup menggunakan sebuah penangkal petir. Alatnya disebut Preventor, yang bekerja berdasarkan reaksi netralisasi ion dengan menggunakan bahan radio aktif. Keseluruhan kebocoran pada alat ini dapat mengakibatkan radiasi. Oleh karena itu, **alat ini dilarang**. Sebagai gantinya ada system penangkal petir model Energi Froide (electrostatic Field) atau yang terkenal dengan EF.

EF Lightning Protection System

EF Lightning Protection System merupakan system penangkal petir modern. Ada 3 prinsip yang sangat penting dimiliki oleh EF :

- Penyaluran arus petir yang sangat kedap atau tertutup terhadap obyek sekitar dengan menggunakan terminal penerima dan kabel penghantar khusus yang memiliki sifat isolasi tegangan tinggi
- Menciptakan electron bebas awal yang besar sebagai streamer emission pada bagian puncak dari system terminal



- Penggabungan EF Terminal dengan EF Carier yang memiliki isolasi tegangan tinggi memberikan jaminan keamanan terhadap obyek yang dilindungi.

Sistem penangkal petir ini terbagi dalam 2 yaitu EF Terminal yang diletakkan dipuncak bangunan sebagai penangkal petir dan EF Carier (kabel Penghantar) yang masuk kedalam tanah.^[3]



Gambar 2.7. EF Lightning Protection System



Gambar 2.8. EF Carier (kabel Penghantar)

2.4 Elektroda Pentanahan Dan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya- bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Nilai standar mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik atau PUIL 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama dengan 5 (lima) ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistan pembumian (grounding) yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada range 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pembumian grounding. Nilai tersebut berlaku untuk seluruh sistem dan instalasi yang terdapat pembumian (grounding) di dalamnya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah :

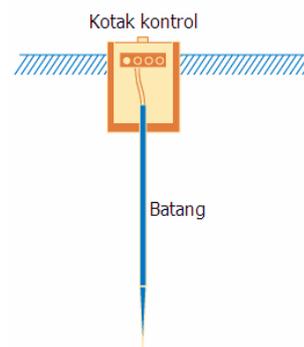
1. Bentuk Elektroda

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung tersebut bertujuan agar diperoleh pelaluan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ketanah.

Menurut PUIL (2000), elektroda adalah pengantar yang ditanamkan ke dalam tanah yang membuat kontak langsung dengan tanah. Untuk bahan elektroda pentanahan biasanya digunakan bahan tembaga, atau baja yang bergalvanis atau dilapisi tembaga. Jenis-jenis elektroda yang digunakan dalam pentanahan adalah sebagai berikut :

a. Elektroda Batang

Elektroda batang yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan pada gardu induk. Secara teknis, elektroda jenis ini mudah pemasangannya dan tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda batang biasanya ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam .^[8]



Gambar 2.9 Elektroda Batang



Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda Batang –Tunggal ^[4] :

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

Dimana :

R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

L = Panjang elektroda (meter)

A = Diameter Elektroda (meter)

Rumus tahanan pentanahan untuk 2 elektroda batang^[4] :

Untuk s < L; jarak antar elektroda s

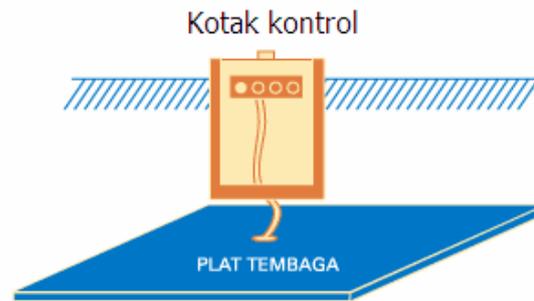
$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln\frac{4L}{a} + \ln\frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk s > L ; jarak s

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln\frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

b. Elektroda Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis - jenis elektroda yang lain.^[8]



Gambar 2.10. Gambar elektroda pelat

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda Pelat –Tunggal ^[8]:

$$R_G = R_p = \frac{\rho}{2\pi L_p} \left[\ln \left(\frac{8 W_p}{0,5 W_p + T_p} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana,

R_p = Tahanan pentanahan pelat (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

L_p = Panjang pelat (m)

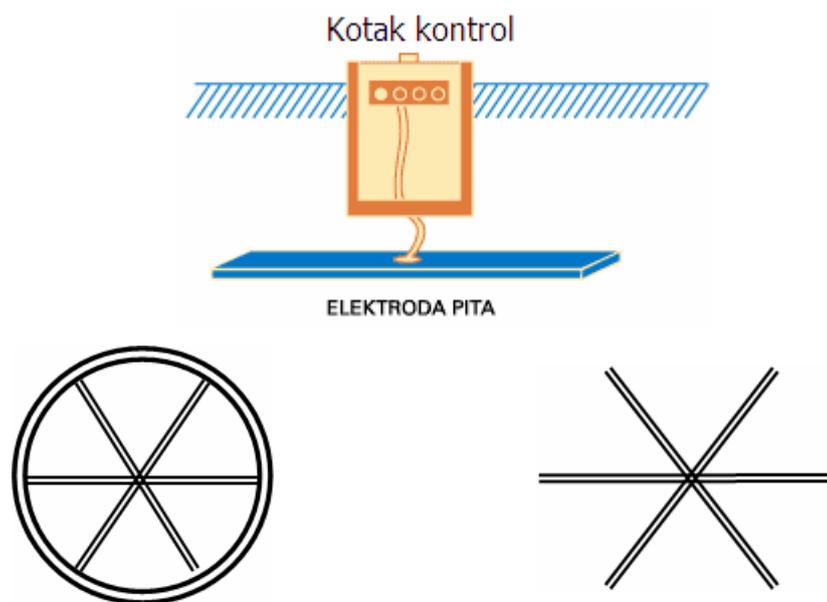
W_p = Lebar Pelat (m)

T_p = Tebal Pelat (m)

c. Elektroda Pita

Elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Kalau pada elektroda jenis batang, pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti

pemancangan secara vertikal ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horisontal) dan dangkal. Di samping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya.^[8]



Gambar 2.11. Elektroda Pita dalam beberapa konfigurasi

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan untuk elektroda pita-tunggal^[8] :

$$R_G = R_w = \frac{\rho}{\pi L_w} \left[\ln \left(\frac{2 L_w}{\sqrt{d_w Z_w}} \right) + \frac{1,4 L_w}{\sqrt{A_w}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

- R_w = Tahanan dengan kisi-kisi (grid) kawat (ohm)
- ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)
- L_w = Panjang total grid kawat (m)
- d_w = Diameter kawat (m)
- Z_w = Kedalaman penanaman (m)
- A_w = Luasan yang dicakup oleh grid (m²)



2. Jenis bahan dan ukuran elektroda.

Sebagai konsekuensi peletakkannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.

Tabel berikut ini dapat digunakan sebagai acuan kasar harga tahanan pentanahan pada tanah dengan tahanan jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda.

Tabel 2.1 Menunjukkan nilai rata-rata dari resistans pembumian untuk elektrode bumi. ^[8]

| Jenis elektroda | Pita atau hantaran pilin | | | | Batang atau pipa | | | | Pelat vertikal 1 m di bawah permukaan tanah dlm m ² | |
|--------------------|--------------------------|----|----|-----|------------------|----|----|----|--|-------|
| | Panjang (m) | | | | Panjang (m) | | | | 0,5 x 1 | 1 x 1 |
| | 10 | 25 | 50 | 100 | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Tahanan pentanahan | 20 | 10 | 5 | 3 | 70 | 40 | 30 | 20 | 35 | 25 |

3. Jumlah/konfigurasi elektroda.

Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah. ^[8]

4. Kedalaman pemancangan/penanaman di dalam tanah.

Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal. ^[8]



5. Faktor-faktor alam (tahanan jenis tanah)

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

a. Sifat Geologi Tanah

Ini merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Nilai resistans jenis tanah, r_t sangat berbeda tergantung komposisi tanah seperti dapat dilihat dalam pasal 320-1 dalam PUIL 1987 atau yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Tanah (sumber : PUIL 1987)

| Jenis Tanah | Resistans jenis tanah ρ_t dalam ohm-m |
|-----------------------------|--|
| Tanah rawa | 10.....40 |
| Tanah liat dan tanah ladang | 20.....100 |
| Pasir basah | 50.....200 |
| Kerikil basah | 200....3000 |
| Pasir/kerikil kering | < 10000 |
| Tanah berbatu | 2000....3000 |
| Air laut dan air tawar | 10.....100 |

Komposisi Zat-Zat Kimia di 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.^[1]



b. Kandungan Air Tanah

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik samapai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali.^[1]

c. Temperatur tanah

Temperatur bumi pada kedalaman 5 feet (= 1,5 m) biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan.

Bagi Indonesia daerah tropic perbedaan temperatur selama setahun tidak banyak, sehingga faktor temperatur boleh dikatan tidak ada pengaruhnya.^[1]

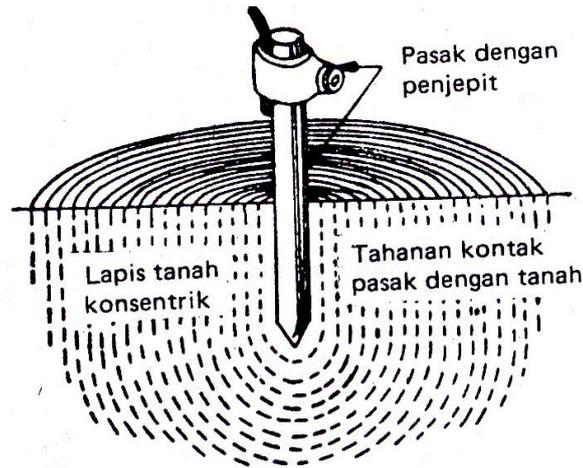
2.5 Sifat-sifat dari sebuah elektroda tanah

Hambatan arus melewati sistem elektroda tanah mempunyai tiga komponen, yaitu :

- a. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungannya.
- b. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar.
- c. Tahanan tanah di sekelilingnya.

Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasa digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampannya sedemikian, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan system pentanahan.

Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah akan menghantarkan arus ke semua jurusan. Marilah kita tinjau suatu elektroda (pasak) yang ditanam di tanah yang terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan kekebalan yang sama (gambar 2.12).



Gambar 2.12. Komponen-komponen tahanan elektroda tanah

Lapisan tanah terdekat dengan pasak dengan sendirinya memiliki permukaan paling sempit, sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya karena lebih luas, memberikan tahanan yang lebih kecil. Dari ke 3 komponen “tahanan” tahanan tanah merupakan besaran yang paling kritis dan saling sulit dihitung ataupun diatasi. ^[6]

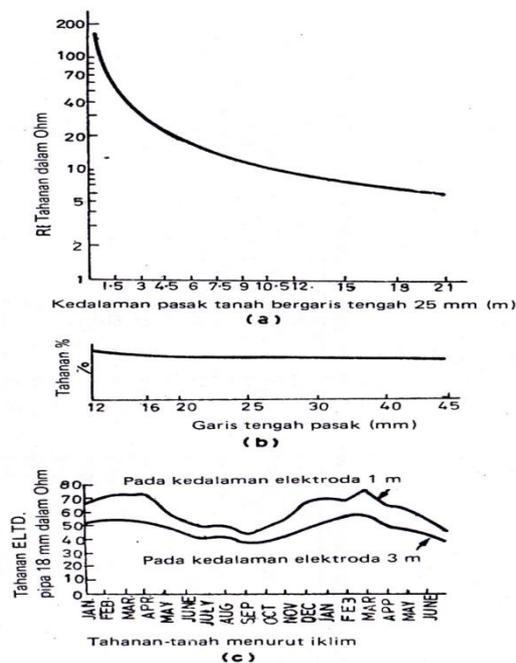
- **Pengaruh ukuran pasak terhadap tahanan**

Apabila pasak ditanam lebih dalam ke tanah maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam tahanan berkurang 40% (gambar 1.4a). Namun, bertambahnya diameter pasak secara material tidak akan mengurangi tahanan. Dua kali lipat diameternya misalnya, hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10%. ^[6]

- **Pengaruh tahanan tanah terhadap tahanan elektroda**

Rumus Dwight menunjukkan, bahwa tahanan elektroda pentanahan ke tanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah.

Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat dan berubah menurut iklim. Tahanan tanah ini terutama ditentukan oleh kandungan elektrolit didalamnya, kandungan air, mineral-mineral dan garam-garam. Tanah tinggi mempunyai tahanan tinggi, tetapi tanah basah memiliki tahanan tinggi apabila tidak mengandung garam yang dapat larut. Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu system akan berubah sesuai perubahan tiap tahunnya. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. [6]



Gambar 2.13. Variasi tahanan-tahanan tanah : (a) terhadap kedalaman; (b) terhadap garis tengah pasak; (c) terhadap iklim.

2.6 Perencanaan Elektroda-elektroda Pentanahan

Ditempat-tempat dengan tahanan tinggi dimana tahanan pentanahan yang diperoleh dengan susunan atau konstruksi melampaui harga batas yang ditentukan maka digunakan elektroda jamak. Dalam hal ini digunakan 2 elektroda, hubungan antara elektroda dibuat dengan plat strip MS dengan



ukuran yang sama dengan penghantar pentahanan, dan jarak antara elektroda tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda.

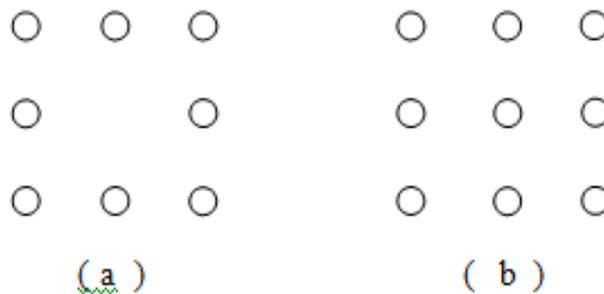
Apabila masih diperlukan elektroda ketiga maka elektroda ketiga harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga tiga buah elektroda membantuk segitiga sama sisi, dengan panjang sisinya tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda. Untuk praktisnya, tahanan dari dua atau tiga elektroda arau pasak dapat dihitung parallel dan tahanan total menjadi setengah atau sepertiga dari tahanan tanah dengan menggunakan elektroda tunggal. Kadang-kadang jarak antar elektroda tidak dapat dibuat besar, untuk itu ada rumus empiris penentuan tahanan total dari berbagai macam susunan paralel seperti dibawah ini ^[7]:

1. Dua elektroda dipasang paralel

$$\frac{\text{Tahanan 2 pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1 + x}{2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana,

$$x = \left(\frac{L}{\ln \frac{48L}{a} - 1} \right) / d, \text{ d merupakan jarak antara 2 pasak parallel}$$



Gambar 2.14. Elektroda tanah : (a) Dalam susunan segi-empat kosong. (b) Dalam susunan segi-empat terisi

2. Tiga pasak parallel berbentuk segitiga sama sisi = d

$$\frac{\text{Tahanan 3 pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1 + 2x}{3} \dots\dots\dots (2.7)$$



- 3 Pasak jamak tersusunan dalam segi-empat kosong atau segi empat terisi seperti gambar diatas. Apabila jumlah pasak adalah N , maka :

$$\frac{\text{Tahanan } N \text{ pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1 + kx}{N} \dots\dots\dots (2.8)$$

Diamana k adalah konstanta yang tergantung jumlah pasak, dapat dilihat pada tabel .

Tabel 2.3. Harga Konstanta Pada Jumlah Pasak.^[7]

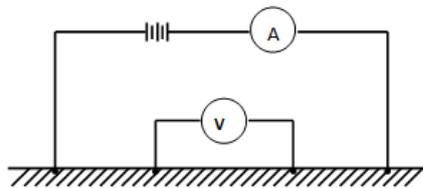
| Jumlah Pasak Sepanjang Sisi Segi-empat | Jumlah Pasak seluruhnya | Harga k |
|--|-------------------------|-----------|
| Segi-empat terisi | | |
| 2 | 4 | 2.7071 |
| 3 | 8 | 4.2583 |
| 4 | 12 | 5.3939 |
| 5 | 16 | 6.0072 |
| 6 | 20 | 6.4633 |
| 7 | 24 | 6.8363 |
| 8 | 28 | 7.1479 |
| 9 | 32 | 7.4195 |
| 10 | 36 | 7.6551 |
| Segi-empat kosong | | |
| 3 | 9 | 5.8917 |
| 4 | 16 | 8.5545 |
| 5 | 25 | 11.4371 |
| 6 | 36 | 14.0650 |
| 7 | 49 | 16.8933 |
| 8 | 64 | 19.5003 |
| 9 | 81 | 22.3069 |
| 10 | 100 | 24.9587 |

2.7 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan 2 (dua) metode, yaitu sebagai berikut :

1. Metode empat elektroda (*four electrode method*) atau
2. Metode tiga titik (*three point method*)

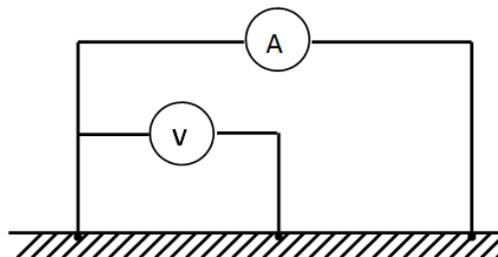
Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda menggunakan empat buah elektroda, sebuah batere, sebuah amperemeter, dan sebuah voltmeter yang sensitife, sebagaimana terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.15. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Empat Elektroda

Bila arus (I) masuk ketanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter dapat diabaikan. Arus yang masuk ketanah mengalir secara radial dari elektroda.

Metode tiga titik (*three-point method*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada gambar 2.15.^[4]



Gambar 2.16. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Tiga Titik



2.8 Pengujian Tahanan Pentanahan

Seperti yang telah dibahas pada bagian sistem pentanahan, betapa penting sistem pentanahan baik dalam sistem tenaga listrik ac maupun dalam pentanahan peralatan untuk menghindari sengatan listrik bagi manusia, rusaknya peralatan dan terganggunya pelayanan sistem akibat gangguan tanah. Untuk menjamin sistem pentanahan memenuhi persyaratan perlu dilakukan pengujian.

Pengujian ini sebenarnya adalah pengukuran tahanan elektroda pentanahan yang dilakukan setelah dilakukan pemasangan elektroda atau setelah perbaikan atau secara periodik setiap tahun sekali. Hal ini harus dilakukan untuk memastikan tahanan pentanahan yang ada karena bekerjanya sistem pengaman arus lebih akan ditentukan oleh tahanan pentanahan ini.

Pada saat ini telah banyak beredar di pasaran alat ukur tahanan pentanahan yang biasa disebut Earth Tester atau Ground Tester. Dari yang untuk beberapa fungsi sampai dengan yang banyak fungsi dan kompleks. Penunjukkan alat ukur ini ada yang analog ada pula yang digital dan dengan cara pengoperasian yang mudah serta aman. Untuk lingkungan kerja yang cukup luas, sangat disarankan untuk memiliki alat semacam ini.

2.7.1. Pengukuran Tahanan Pentanahan (Earth Tester)

Ada berbagai macam instrument pengukur tahanan pentanahan, salah satu contohnya adalah Earth Hi Tester.

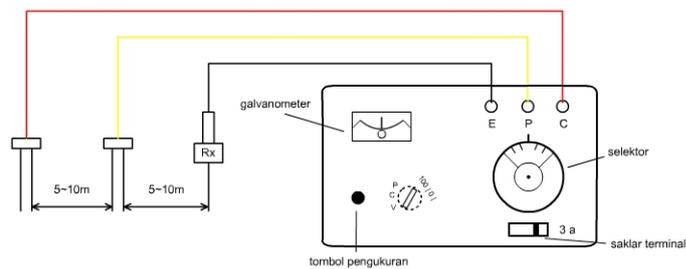
- Pengukuran normal (metoda 3 kutub)

Langkah awal adalah memosisikan saklar terminal pada 3a, selanjutnya :

1. Cek tegangan baterai ! (Range saklar : BATT, aktifkan saklar / ON). Jarum harus dalam range BATT.
2. Cek tegangan pentanahan (Range saklar : ~ V, matikan saklar

/ OFF)

3. Cek tanahan pentanahan bantu (Range saklar : C & P, matikan saklar / OFF). jarum harus dalam range P/C (lebih baik posisi jarum berada saklar 0).
4. Ukurlah tahanan pentanahan (Range saklar : $\times 1\Omega$ ke $\times 100\Omega$) dengan menekan tombol pengukuran dan memutar selektor, hingga diperoleh jarum pada galvanometer seimbang / menunjuk angka nol. hasil pengukuran adalah angka yang ditunjukkan pada selektor dikalikan dengan posisi range saklar ($\times 1\Omega$) atau ($\times 100\Omega$).^[8]



Gambar 2.17. Pengukuran Metoda 3 Kutub