

**ANALISA PENGARUH KELEMBABAN TANAH TERHADAP TAHANAN  
PENTANAHAN PADA GARDU INDUK PT. PLN (Persero) MEDAN  
DENAI DENGAN METODE *FALL-OF POTENSIAL***

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**LARAS SENDI ANISA**

**1707220050**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Laras Sendi Anisa

NPM : 1707220050

Program Studi: Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Kelembaban Tanah Terhadap Tahanan Pentanahan pada Gardu Induk PT.PLN (Persero) Medan Denai dengan Metode Fall-Of-Potential

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2022

Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



(Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM)

Dosen Pembanding I / Penguji



(Ir. Yusniati, MT)

Dosen Pembanding II / Penguji



(Faisal Irsan P. ST.,MT)

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



(Faisal Irsan P. ST.,MT)

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Laras Sendi Anisa  
Tempat Tanggal Lahir : Medan, 15 Mei 1999  
NPM : 1707220050  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : **“ANALISA PENGARUH KELEMBABAN TANAH TERHADAP TAHANAN PENTANAHAN PADA GARDU INDUK PT.PLN (Persero) MEDAN DENAI DENGAN METODE FALL-OF-POTENTIAL”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademi di Program Studi Teknik Elektro/Mesin/Sipil Fakultas Teknik.

Medan, 22 Juni 2021

Saya yang menyatakan



Laras Sendi Anisa

### **Abstrak**

Sistem pembumian sangat berperan penting untuk menjaga keselamatan manusia yang berada di area Gardu Induk maupun diluar area Gardu Induk dari arus abnormal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kelembaban tanah terhadap tahanan pentanahan pada Gardu Induk dan untuk mengetahui pengaruh Tahanan Pentanahan dengan kondisi dua tanah yang berbeda . pemasangan elektroda harus melakukan pengecekan nilai tahanan terlebih dahulu pada kondisi tanah di Gardu Induk tersebut. Kondisi tanah disetiap Gardu Induk mempunyai nilai Tahanan pengetanahan yang berbeda. Nilai Tahanan yang baik harus mendekati 0 ohm atau di bawah 1ohm . Penelitian ini menggunakan metode tiga titik, dengan menancapkan elektroda batang kedalam tanah. Elektroda batang dapat menghasilkan nilai resistansi yang lebih rendah tergantung pada kedalaman elektroda ditancapkan, dan menggunakan sistem Mesh dan Grid. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada kondisi Tanah Basah dan Tanah Pasir Kerikil Kering. Perhitungan Tahanan Pentanahan ini menggunakan Earth Tester dan Perhitungan manual. Pada kondisi Tanah Basah didapatkan nilai Tahanan Pentanahannya 0,56 ohm. Pada kondisi Tanah Pasir Kerikil Kering dapatkan nilai Tahanan Pentanahannya 1,91 ohm, nilai tahanan pada tanah pasir kerikil kering lebih tinggi dibandingkan kondisi tanah basah. Pada kondisi tanah basah kedalaman yang di uji mulai dari 100-300 cm. Pada kondisi tanah pasir kerikil kering kedalaman diuji dari 100-500 cm.

Kata Kunci: Pengaruh Kelembaban, Tanah Basah, Tanah Pasir Kerikil Kering.

### *Abstract*

The earthing system is very important to maintain the safety of humans in the substation area and outside the substation area from abnormal currents. The purpose of this study was to determine how much influence soil moisture has on grounding resistance at the substation and to determine the effect of ground resistance with two different soil conditions . the installation of electrodes must first check the soil conditions at the substation. Soil conditions at each substation have different grounding resistance values. A good resistance value should be close to 0 ohms or below 1ohm. This research uses the three-point method, by plugging the rod electrode into the ground. The rod electrode can produce a lower resistance value depending on the depth of the electrode being inserted, and uses a Mesh and Grid system. In this study, testing was carried out on the conditions of Wet Soil and Dry Gravel Sand Soil. This Earthing Resistance calculation uses the Earth Tester and manual calculations. In Wet Soil conditions, the Earthing Resistance value is 0.56 ohms. In Dry Gravel Sand Soil conditions, the Earthing Resistance value is 1.91 ohms, the food values in dry gravel sand soil are higher than in wet soil conditions. In wet soil conditions, the depth tested is from 100-300 cm. On dry gravel sand soil conditions the depth was tested from 100-500 cm.

Keywords: Effect of Moisture, Wet Soil, Dry Gravel Sand Soil.

## **KATA PENGANTAR**

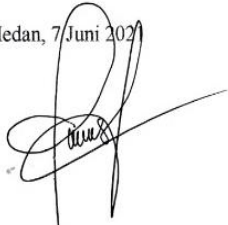
Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa pengaruh kelembaban tanah terhadap tahanan pentanahan pada Gardu Induk PT PLN (Persero) Medan Denai dengan metode fall-of-potensial” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Elvy Sahnur Nasution, ST.MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Terima kasih kepada diri sendiri yang udah bertahan sampai saat ini, tetap kuat ya!!

8. Untuk mama dan ayah yang sangat indi sayangi H.Zamri Edi Pili (Ayah) dan Hj. Dirna Beti (Mama) terima kasih Ma,Yah udah jadi orang tua yang sangat hebat dan kuat buat anak-anaknya, dan membesarkan anak-anak mama dan
9. Kepada dr. Riza Betta Anisa (Kakak), Nadia Betta Anisa. Spd.T (Kakak) terima kasih yang telah memberikan dukungan dalam bentuk nasehat, semangat untuk indi menyelesaikan tugas akhir ini walaupun sering marah-marah (haha) tapi indi yakin itu bentuk kasih sayang dari seorang kakak ke adiknya. Indi berharap semoga indi bisa sukses seperti kakak , jangan bosen-bosen ya nasehatin adik bungsumu ini dan selalu doain yang terbaik buat indi ya hehe.
10. Kepada Ap Arde ,ST. (Abang ipar) terima kasih juga atas nasehat dan semangat yang diberikan untuk indi.
11. Kepada Muhammad Gaishan Raffasya Hafiz (Keponakan) anak pintar yang menjadi penyemangat kalo udah mumet ngerjain skripsi ini, yang buat rindu satu rumah setiap hari dengan tingkahnya.
12. Dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan dari segi moril dan materil. Semoga senantiasa sehat dan diberikan kemudahan rezeki.
13. Dan teman-teman Penulis Muhammad Iqbal, M. Erianto Syahputra serta seperjuangan Teknik Elektro B1 Pagi

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektroan.

Medan, 7 Juni 2021



Laras Sendi Anisa

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
ABSTRACT .....	iv
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup .....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Metodologi Penyusunan Tugas Akhir .....	2
1.7 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Landasan Teori .....	4
2.1.1 Sistem Tenaga Listrik .....	4
2.2 Gardu Induk.....	4
2.2.1 Fall-Of-Potential.....	5
2.3 Sistem Pentanahan .....	7
2.3.1 Tujuan Pentanahan .....	7
2.3.2 Metode Pentanahan.....	8
2.3.2.1 Pentanahan dengan Driven Ground .....	8
2.3.2.2 Pentanahan dengan Counterpoise .....	8
2.3.2.3 Pentanahan dengan Mesh atau Grid.....	9
2.4 Sistem Pentanahan Peralatan .....	9
2.4.1 Rumus-rumus pendekatan untuk menghitung tahanan tanah .....	10
2.4.2 Tujuan Pengetanahan Peralatan.....	11
2.5 Tahanan Pentanahan.....	12



2.5.1 Pengukuran Tahanan Jenis .....	12
2.5.1.1 Metode Empat Elektroda (four elektroda method) .....	12
2.5.1.2 Metode Tiga Titik (Three point method) .....	13
2.5.1.3 Nilai Tahanan.....	14
2.5.1.4 Struktus Pada Tanah.....	14
2.6 Elektroda Pentanahan.....	16
2.6.1 Elektroda Pembumian.....	16
2.6.1.1 Elektroda Pita.....	16
2.6.1.2 Elektroda Batang.....	17
2.6.1.3 Elektroda Pelat .....	18
2.6.1.4 Ukuran Elektroda Pembumian.....	18
2.6.1.5 Ukuran Konduktor Kisi-Kisi .....	19
2.6.1.6 Tata letak (layout).....	22
2.6.1.7 Jumlah batang pengetanahan yang diperlukan.....	22
2.7 Bahaya-Bahaya yang Timbul Pada Gardu Induk Pada Keadaan Gangguan Tanah.....	23
2.7.1 Tegangan .....	23
2.7.2 Macam Tegangan .....	23
2.7.2.1 Tegangan Sentuh.....	24
2.7.2.2 Tegangan Langkah .....	25
2.7.2.3 Tegangan Pindah.....	25
2.8 Arus Melalui Tubuh Manusia.....	25
2.8.1 Arus Presepsi.....	26
2.8.2 Arus Fibrilasi.....	26
2.8.3 Arus Reaksi .....	27
2.9 Tegangan Mesh atau Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya .....	27
2.9.1 Pemilihan Metode Pengetanahan Titik Netral Sebenarnya .....	28
2.9.1.1 Pengetanahan Efektif.....	28
2.9.1.2 Pengetanahan dengan Reaktansi .....	29

2.9.1.3	Pengetanahan dengan Tahanan .....	29
2.10	Petunjuk-Petunjuk untuk Pemilihan Metode Pengetanahan .....	29
2.10.1	Faktor-Faktor yang mempengaruhi pemilihan Metode Pengetanahan.....	29
2.10.2	Proteksi Gangguan Tanah .....	30
2.10.3	Pembatasan Besar Arus Gangguan Tanah .....	30
2.11	Pengaruh Metode Pengetanahan Pada Besarnya Tegangan Dinamis yang Mengenai Alat-Alat Proteksi Surja.....	30
2.11.1	Pembatasan Tegangan Lebih Transien .....	31
2.12	Metode Pengetanahan .....	31
2.12.1	Tahanan.....	31
2.12.2	Reaktor dan Efektif.....	32
2.13	Proteksi Sistem Transmisi Terhadap Gangguan Tanah .....	32
2.13.1	Fungsi Proteksi .....	32
2.13.2	Proteksi Gangguan Tanah Pada Sistem Yang Diketanahkan Langsung .....	33
2.13.3	Proteksi Gangguan Tanah Pada Sistem Yang Tidak Diketanahkan Langsung .....	33
2.13.3	Proteksi untuk Melokalisir Titik Gangguan Tanah.....	33
2.13.4	Proteksi untuk Melokalisir Titik Gangguan Tanah.....	34
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>36</b>
3.1	Tempat dan Waktu .....	36
3.1.1	Waktu.....	36
3.1.2	Tabel Jadwal Penelitian .....	36
3.2	Tempat .....	36
3.3	Bahan dan Alat.....	36
3.4	Metodologi Penelitian .....	37
3.5	Block Diagram.....	37
3.6	Flow Chart .....	38
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1	Hasil Penelitian.....	39

4.2 Pengambilan Data.....	39
4.2.1 Single Line Diagram.....	40
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>49</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Rumus-rumus pendekatan untuk menghitung tahanan tanah.....	5
<b>Tabel 1.2</b> Pengukuran Tahanan Jenis .....	13
<b>Tabel 1.3</b> Ukuran Elektroda Pembumian .....	18
<b>Tabel 1.4</b> Tegangan Sentuh yang Diizinkan.....	24
<b>Tabel 1.5</b> Tabel Jadwal Penelitian .....	36
<b>Tabel 1.6</b> Data Pentanahan Peralatan .....	39
<b>Tabel 1.7</b> Hasil Perhitungan Tahanan Jenis Tanah Pasir dan Kerikil Kering .....	46
<b>Tabel 1.8</b> Hasil Perhitungan Tahanan Jenis Tanah Basah .....	47

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sistem pembumian .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Fall of Potensial .....	5
<b>Gambar 2.3</b> Pentanahan dengan Driven Ground .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Pentanahan dengan Counterpoise .....	8
<b>Gambar 2.5</b> Pentanahan dengan Mesh dan Grid .....	9
<b>Gambar 2.6</b> Metode 3 Titik.....	13
<b>Gambar 2.7</b> Cara pemasangan Elektroda Pita.....	17
<b>Gambar 2.8</b> Cara pemasangan Elektroda Pita.....	17
<b>Gambar 2.9</b> Cara pemasangan Elektroda Pelat.....	17
<b>Gambar 2.10</b> Sistem Pengetanahan Mesh dan Grid.....	20
<b>Gambar 4.1</b> Digital Earth Tester .....	39

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembumian atau disebut juga dengan *grounding system* adalah penanaman elektroda langsung ketanah dengan menyalurkan arus lebih ke bumi atau ground. Elektroda bumi adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi, penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi. (Rudi, 2018)

Tujuan utama dari pembumian adalah untuk melindungi peralatan dari sambaran surja petir . Kecelakaan pada manusia timbul pada saat hubung singkat ke tanah terjadi bila ada arus hubung singkat itu di paksakan untuk mengalir.(Rudi, 2018)

Untuk menjamin keamanan dan keselamatan manusia yang berada di area gardu induk apabila terjadi arus gangguan yang mengalir ketanah, maka nilai tahanan pentanahan perlu diperhatikan. Ketika arus lebih masuk kebumi, maka timbul potensial tanah di area gardu induk. Apabila semakin tinggi munculnya potensial tanah maka semakin besar munculnya tegangan berbahaya bagi orang dan peralatan di area Gardu Induk dan diluar Gardu Induk. (Rahmawati Fajri Latiefa, Irzan Zakir, n.d.)

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan penulis akan membuat penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Kelembaban tanah terhadap tahanan pentanahan pada Gardu Induk PT. PLN (Persero) Medan Denai Dengan Metode Fall-Of-Potensial”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh kelembaban tanah pada Gardu Induk ?
2. Apakah kondisi tanah berpengaruh pada pentanahan Gardu Induk ?

## **1.3 Tujuan**

1. Untuk mengetahui pengaruh kelembabapan tanah pada Gardu Induk
2. Untuk mengetahui pengaruh kondisi tanah pada pentanahan Gardu Induk

## **1.4 Ruang Lingkup**

1. Membahas tentang pengaruh kelembaban tanah pada gardu induk
2. Membahas tentang pengaruh kondisi tanah pada pentanahan gardu induk

## **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh kelembaban tanah terhadap tahanan pentanahan pada Gardu Induk Medan Denai
2. Mengetahui pengaruh tanah pasir dan kerikil kering terhadap Gardu Induk

## **1.6 Metodologi Penyusunan Tugas Akhir**

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini, secara garis besar terdapat beberapa metode pengumpulan data agar memperoleh hasil yang baik dan data yang valid untuk hasil laporan tugas akhir ini

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Isi penulisan sesuai dengan yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- HALAMAN JUDUL
- HALAMAN PENGESAHAN
- KATA PENGANTAR
- ABSTRAK
- DAFTAR ISI
- DAFTAR GAMBAR
- DAFTA TABEL
- DAFTAR LAMPIRAN

### **BAB I PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan roposal tugas akhir.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjadi panduan pada pembuatan Tugas Akhir.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Lokasi, waktu, alat dan bahan, metode penelitian, metode pengambilan data, metode analisa data



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

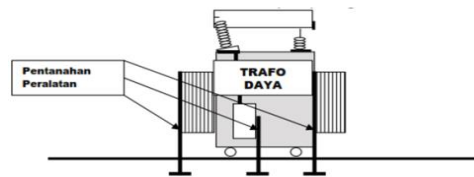
#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Pemakaian tenaga listrik oleh konsumen berkembang seiring dengan kebutuhan masyarakat dalam pemakaian listrik. Untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen, diperlukan berbagai peralatan listrik yang dihubungkan satu sama lain yang secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik harus memenuhi kebutuhan listrik dari waktu ke waktu untuk konsumen. (Hardiyanto Labulu, Ir. Fielman Lisi, MT., Maickel Tuegeh, ST., 2015)

Daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus sama dengan beban sistem, ini dapat diamati melalui frekuensi sistem. Apabila daya yang dibangkitkan sistem lebih kecil dari pada beban maka frekuensi akan lebih rendah dan sebaliknya apabila daya yang dibangkitkan lebih besar maka frekuensi akan lebih besar dari nilai standarisasi. Pengaturan frekuensi dilakukan oleh suatu perangkat yang disebut governor sebagai alat pengendali frekuensi. Pengoperasian sistem tenaga listrik menemui berbagai persoalan di antara lain disebabkan pemakaian tenaga listrik selalu berubah dari waktu ke waktu dengan biaya bahan bakar yang tinggi serta kondisi alam yang sering mengganggu jalannya operasi. (Hardiyanto Labulu, Ir. Fielman Lisi, MT., Maickel Tuegeh, ST., 2015)

#### **2.2 Gardu Induk**

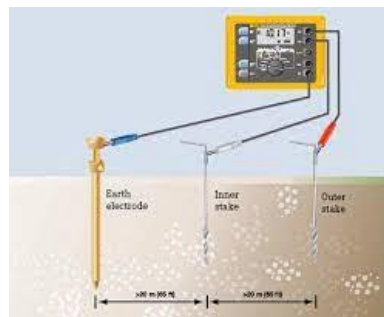
Gardu Induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang dapat mengalami gangguan kapan saja. Gangguan yang sering terjadi disebabkan oleh surja petir, tegangan impuls dan hubung buka dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik. Sehingga surja petir, tegangan impuls, dan hubung buka yang timbul dapat langsung dialirkan ke bumi agar mendapatkan keamanan peralatan listrik dan tubuh manusia disekitar gardu induk..



Gambar 2.1 Sistem Pembumian

### 2.2.1 Fall-Of-Potential (Drop Tegangan)

Metode Fall-Of-Potential merupakan teknik dasar yang secara luas digunakan untuk pengukuran tahanan pembumian (IEEE Std, 81, 1983).



Gambar 2.2 Metode Tiga Titik

Elektroda pentanahan dalam penelitian ini mempergunakan tembaga pejal (copper rod) dengan diameter  $5/8$  inchi = 15,89 mm sepanjang 4 m. copper rod ini ditanam ke dalam tanah mulai kedalaman 1 m dan ditambah 0,5 m pengukuran. Hal ini sama pada titik-titik yang lain. Pada tiap-tiap kedalaman dilakukan pengukuran tahanan pentanahannya dengan mempergunakan alat digital earth resistance tester 4105 A. Pengukuran yang dilakukan dengan tahapan – tahapan diatas, dengan menempatkan posisi elektroda bantu (P) pada posisi antara 0 – 5 m tepatnya pada posisi 5.5 m dari elektroda pentanahan (E), dan menempatkan posisi elektroda bantu (C) pada posisi 5 – 10 m tepatnya pada posisi 9.5 m dari elektroda pentanahan (E) atau 4 m dari posisi elektroda bantu (P), dengan mengubah

kedalaman elektroda pentanahan yang terbuat dari **copper rod** tersebut

Pengukuran ke	Kedalaman elektroda (m)	Hasil perhitungan ( $\Omega$ )	Hasil pengukuran ( $\Omega$ )			Rata-rata	Selisih ( $\Omega$ ) hasil pengukuran tiap kedalaman
			ke 1	ke 2	ke 3		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.00	7.21	4.97	4.95	4.99	4.97	2.24
2	1.50	5.24	3.62	3.52	3.62	3.59	1.65
3	2.00	4.16	2.97	2.94	3.11	3.01	1.15
4	2.50	3.47	1.98	1.96	2.23	2.06	1.41
5	3.00	3.23	1.53	1.51	1.51	1.52	1.71
6	3.50	2.63	0.98	0.96	0.97	0.97	1.66

didapatlah hasil pengukuran

\*(Jamaaluddin\* / Izza Anshory\* / Eko Agus Suprayitno)

Berdasarkan saat kondisi tanah kering nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dibandingkan saat kondisi tanah basah Hasil pengukuran tahanan pentanahan dengan sistem *driven rood* menunjukkan nilai tahanan pentanahan adalah 27,72  $\Omega$  saat kondisi tanah kering dan 18,92  $\Omega$  saat kondisi tanah basah, hasil pengukuran tahanan pentanahan dengan sistem grid menunjukkan nilai tahanan pentanahan adalah 0,076  $\Omega$  saat kondisi tanah kering dan 0,049  $\Omega$  saat kondisi tanah basah, hasil perhitungan manual tahanan grid adalah 0,078  $\Omega$  untuk kondisi tanah kering dan 0,056  $\Omega$ , dan hasil perhitungan ETAP tahanan grid adalah 0,071  $\Omega$  untuk kondisi tanah kering dan 0,051  $\Omega$  untuk kondisi tanah basah.

\*(Rahmawati Fajri Latiefa,<sup>2</sup>Irzan Zakir,<sup>3</sup>Massus Subekti).

Pada Pengukuran tahanan pembumian ini terdapat 3 tempat pengukuran yaitu pada tanah basah, tanah berpasir dan tanah ladang (kering), pada setiap pengukuran dilakukan dengan menggunakan 1 elektroda batang dengan variabel kedalaman penanaman elektroda. Iap-tiap percobaan dilakukan 3 kali pengulangan agar didapatkan hasil yang terbaik. Pengukuran resistansi pembumian jenis elektroda batang untuk berbagai perubahan variabel kedalaman

menggunakan metode 3 titik dengan menggunakan alat ukur resistansi pbumian yaitu "Earth Tester".

Di mana hasil pengukuran untuk kondisi tanah yang berbeda dengan kedalaman yang sama yaitu 100 cm diperoleh harga tahanan pembedaan untuk tanah kering (ladang) sebesar 46 Ohm, tanah berbatu kerikil sebesar 210 Ohm dan di parit berair sebesar 12 Ohm. Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa nilai tahanan pembedaan sangat dipengaruhi oleh kedalaman elektroda batang tunggal yang ditanam dan kondisi tanah dimana elektroda tersebut ditanam, serta diperoleh harga tahanan yang paling kecil di parit berair. \*(Sudaryanto).

### **2.3 Sistem Pentanahan ( Grounding System)**

Sistem Pentanahan adalah sistem hubungan yang menghubungkan sistem peralatan dan instalasi dengan bumi sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen instalasi dari tegangan abnormal. Karena itu sistem pentanahan ini menjadi bagian esensial dari sistem listrik. Fungsi sistem pentanahan ini apabila terjadi muatan tegangan sehingga dapat mengurangi arus lebih sehingga dapat meminimalisir gangguan yang ditimbulkan. Syarat untuk memenuhi nilai pentanahan ini adalah nilai R mendekati nilai 0 atau  $\leq I \Omega$ .

Untuk menentukan perencanaan suatu sistem pengetanahan gardu induk harus diperhatikan beberapa faktor, antara lain : (T.S Hutauruk) :

1. Besarnya arus kesalahan yang mungkin terjadi
2. Luasnya tanah yang dapat digunakan untuk pengetanahan
3. Tahanan jenis tanah disekitar gardu induk tersebut
4. Bentuk, ukuran dan jenis konduktor yang dipakai sebagai elektroda pengetanahan.

#### **2.3.1 Tujuan Pentanahan**

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum (sumardjati,2005:159):

1. Menjamin keselamatan manusia dari sengatan listrik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkaha.
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik

4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah

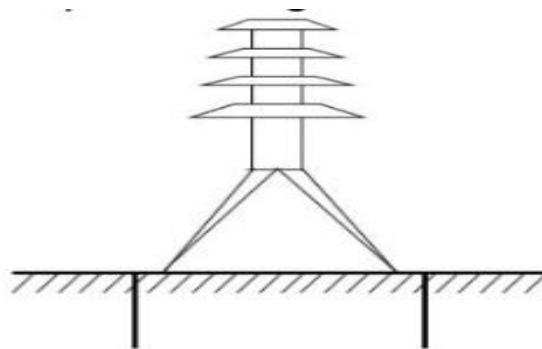
1. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover
2. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti audio, video kontrol dan komputer.

### 2.3.2 Metode Pentanahan

Ada beberapa metode sistem pentanahan yaitu :

#### 2.3.2.1 Pentanahan dengan Driven Ground

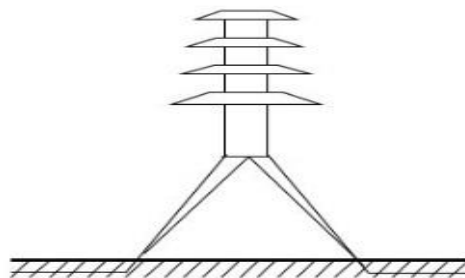
Pentanahan dengan Driven Ground adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah. (Agus Pranoto, Hans Tumaliang, 2018)



Gambar 2.3 Pentanahan dengan *driven ground*

#### 2.3.2.2 Pentanahan dengan Counterpoise

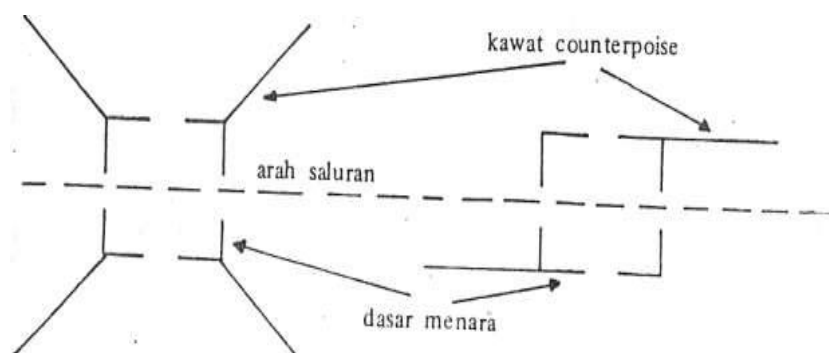
Pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar radial, beberapa cm dibawah tanah (30cm-90cm). (Agus Pranoto, Hans Tumaliang, 2018)



### Gambar 2.4 Pentanahan dengan Counterpoise

#### 2.3.2.3 Pentanahan dengan mesh atau grid

Pentanahan dengan mesh atau grid adalah pentanahan dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (mesh/grid). (Agus Pranoto, Hans Tumaliang, 2018)



Gambar 2.5 Pentanahan dengan mesh atau grid

#### 2.4 Sistem Pentanahan Peralatan (Equipment Grounding System)

Sistem pentanahan peralatan merupakan penghubung rangka peralatan listrik dengan tanah (generator transformator, motor, pemutus daya, dan bagian logam dalam keadaan normal tidak dialiri arus).

Tahanan pentanahan adalah besarnya tahanan pada kontak antara masa dengan tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan pentanahan yaitu :








1. Restivitas Tanah
2. Panjang Elektroda Pentanahan
3. Luas Penampang elektroda pentanahan



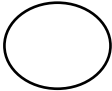
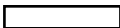
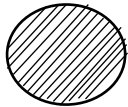


### 2.4.1 Rumus-rumus pendekatan untuk menghitung tahanan tanah

(Menurut T.S Hutauruk) :

Tabel 1.1 Rumus menghitung tahanan tanah

		Rumus
	Satu batang tanah, Panjang L, radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
	Dua batang tanah s > L ; jarak s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
	Dua batang tanah s < L ; jarak s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^2}{512L^4} \dots \right)$
	Kawat horizontal, panjang 2L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^2}{512L^4} \dots \right)$
	Kawat siku-siku, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0,2373 + 0,2146 \frac{s}{L} + 0,1035 \frac{s^2}{L^2} - 0,0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Tiga titik bintang panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0,071 + 0,209 \frac{s}{L} + 0,238 \frac{s^2}{L^2} - 0,504 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Empat titik bintang, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 2,912 + 1,071 \frac{s}{L} + 0,654 \frac{s^2}{L^2} - 0,145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$

	Enam titik bintang, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi l} \left( \ln \frac{2L}{s} + \ln \frac{2L}{s} 6,851 + 3,128 \frac{s}{L} + 1,758 \frac{s^2}{L^2} - 0,490 \frac{s^4}{L^4} \dots \dots \right)$
	Delapan titik bintang R panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi l} \left( \ln \frac{2L}{s} + \ln \frac{2L}{s} 10,98 - 5,51 \frac{s}{L} + 3,26 \frac{s^2}{L^2} - 1,17 \frac{s^4}{L^4} \dots \dots \right)$
	Cincin kawat, diam, cincin D, diam kawat d, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi 2l} \ln \left( \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
	Pelat horizontal, panjang 2L, axb $\frac{a}{8}$	$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left( \ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} + 1 \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{5122L^4} \dots \dots \right)$
	Pelat bundar horizontal, radius a, dalam s/2  Pelat bundar vertical, R radius a, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \dots \right)$  $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \dots \right)$

1. Semua jarak-jarak dalam centimeter dan tahanan dalam ohm
2. P = resistivitas tanah dalam ohm per cm<sup>2</sup>
3. R dalam ohm

#### 2.4.2 Tujuan Pengetanahan Peralatan

Secara singkat Tujuan dari pengetanahan peralatan adalah : (T.S Hutauruk)

1. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu
2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya
3. Untuk memperbaiki penampilan dari sistem

## **2.5 Tahanan Pentanahan**

### **2.5.1 Pengukuran Tahanan Jenis**

Pengukuran Tahanan Jenis Tanah dilakukan dengan tujuan dapat menentukan besar tahanan jenis tanah pada suatu titik. Untuk mencapai nilai resistansi pentanahan yang stabil dilakukan dengan pentanahan yang dipasang pada kedalaman yang optimal mencapai tingkat kandungan air yang tetap.

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara :

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

#### **2.5.1.1 Metode Empat Elektroda (four electrode method)**

Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda menggunakan empat buah elektroda, sebuah batere, sebuah ampermeter dan sebuah voltmeter yang sensitif .(T.S Hutauruk)

Bila  $\rho$  adalah tahanan jenis tanah, maka kuat medan dalam tanah pada arah radial dengan jarak  $r$  adalah  $E (r) = J$

$$E (r) = \frac{I \rho}{2\pi r^2}$$

Potensial pada jarak  $r$  dari elektroda adalah integral dari gaya listrik dari jarak  $r$  ke titik tak terhingga :

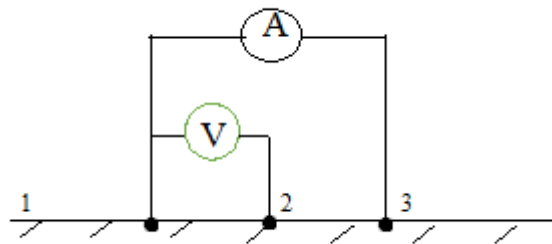
$$V = \int E (r) dr = \frac{I \rho}{2\pi r^2}$$

Perbandingan antara tegangan dan arus atau tahanan menjadi :

$$R = \frac{\rho}{2\pi R}$$

### 2.5.1.2 Metode Tiga Titik (Three Point Method)

Metoda Tiga titik (three point method) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pengetanahan. Misalkan tiga buah batang pengetanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai pengetanahan



pembantu yang juga belum diketahui tahananannya. (T.S Hutauruk)

Gambar 2.6 Metode Tiga Titik

Berdasarkan PUIL 2000, secara umum nilai dari tahanan jenis tanah sebagai berikut:

Tabel 1.2 PUIL 2000

1	2	3	4	5	6	7
Jenis tanah	Tanah rawa	Tanah liat & tanah ladang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan kerikil kering	Tanah berbatu
Resistans jenis ( $\Omega$ -m)	30	100	200	500	1000	3000

(sumber : PUIL 2000)

Pesamaan pengukuran tahanan jenis tanah :

Dimana :

$$\rho = 2\pi aR$$

$\rho$  = Tahanan Jenis rata-rata (ohm-m)

$a$  = Jarak antara batang elektroda yang terdekat (m)

R = Besar tahanan yang terukur (ohm)

### 2.5.1.3 Nilai Tahanan

Untuk mengetahui nilai-nilai hambatan jenis tanah yang akurat harus dilakukan pengukuran langsung pada lokasi untuk sistem pembumian karena struktur tanah yang berbeda-beda, setiap lokasi yang berbeda mempunyai hambatan jenis tanah yang tidak sama. Jenis tanah pada daerah kedalaman tertentu tergantung pada beberapa faktor yaitu: (T.S Hutaauruk)

1. Jenis tanah : liat,berpasir,berbatu dan lain-lain.
2. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau sejenis.
3. Komposisi zat kimia dari larutan garam kandungan air.
4. Kelembaban, temperature dan kepadatan pada tanah.

### 2.5.1.4 Struktur Pada Tanah

Dalam sistem pentanahan struktur tanah juga menentukan kualitas dari pentanahan.Struktur tanah dan tahanan jenis tanah yang tinggi untuk memperoleh tahanan pentanahan yang diinginkan seringkali sulit untuk diperoleh. Ada tiga cara untuk kondisikan tanah agar dilokasi elektroda ditanam tahanan jenis tanah menjadi rendah, yaitu:

1. Membuat lubang penanaman elektroda yang lebar dan dimasukkan mengelilingi elektroda tersebut bahan-bahan seperti tanah liat atau cokus.

2. Mengelilingi elektroda pada satu jarak tertentu diberi zat kimia yang akan memperkecil tahanan jenis tanah disekitarnya.

Zat kimia yang biasa dipakai adalah sodium chlorida, calcium chloride, magnesium sulfat, dan cofer sulfat dengan Bentonite.

- **Karakteristik Sistem Pbumian yang Efektif**

Karakteristik sistem pbumian yang efektif antara lain :

- a. Terencana dan tersusun dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah tertentu.
- b. Verifikasi secara visual dapat dilakukan
- c. Menghindarkan gangguan apapun yang terjadi pada arus listrik dari perangkat listrik
- d. Semua komponen metal harus diikat oleh sistem pbumian, dengan tujuan untuk meminimalkan arus gangguan listrik yang muncul melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.

- **Metode untuk menurunkan nilai tahanan pbumian**

sebagai berikut :

- a.) Penambahan pada batang elektroda pbumian, metoda ini lebih dikenal dengan paralel elektroda pentanahan. Metoda ini mudah dan lebih baik untuk menurunkan nilai resistans tanah.
- b.) Penambahan panjang pada batang elektroda pbumian, apabila semakin dalam penanaman elektroda batang tunggal pentanahan ke dalam tanah maka akan menurunkan nilai resistans tanah. Panjang elektroda pentanahan normal 2.5 meter hingga 3 meter. Semakin dalam penanaman elektroda batang tunggal pentanahan maka nilai resistivitas tanah semakin turun, hal ini akibat dari semakin dekatnya kandungan embun tanah.

## **2.6 Elektroda Pentanahan**

Sistem pentanahan salah satu sistem pengamanan terhadap gangguan yang sering terjadi pada peralatan listrik atau jaringan terhadap petir yang merupakan gangguan hubung singkat ke tanah. Nilai tahanan pentanahan pada suatu tempat berbeda-beda dikarenakan komposisi tanah, kandungan air dalam tanah, kelembapan pada tanah dan jenis tanah yang berbeda-beda. Jenis tanah yang berbeda-beda mempunyai karakteristik yang unik karena kesulitan pemasangan elektroda pentanahan karena terhalang oleh kerikil, ini berakibat tidak dapatnya kedalaman elektroda yang cukup yang mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang diinginkan. Untuk mendapatkan keamanan pada gangguan hubung singkat ke tanah atau gangguan lainnya diperlukan pentanahan sistem tenaga listrik yang baik dan dengan metoda pentanahan yang efektif sehingga menimalisir gangguan yang sering terjadi.

### **2.6.1 Elektroda Pembumian**

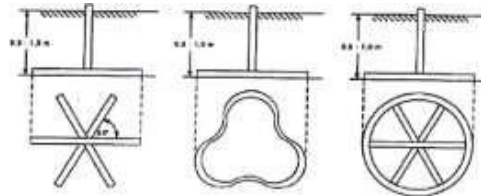
Elektroda berfungsi sebagai penghantar yang sengaja ditanam didalam tanah. Untuk mendapatkan nilai resistans pentanahan yang rendah tergantung pada jenis elektroda, keadaan tanah, dan susunan pada elektroda tersebut. Ada beberapa jenis elektroda pembumian yaitu :

- Elektroda Pita
- Elektroda Batang
- Elektroda Pelat

#### **2.6.1.1 Elektroda Pita**

Elektroda pita terbuat dari bahan metal yang berbentuk pita atau kawat BBC yang ditanam didalam tanah secara horizontal dengan kedalaman  $\pm 2$  feet. Jenis Elektroda pita ini bisa dipasang pada tanah yang memiliki tahanan jenis yang rendah dan dengan daerah yang tidak mengalami kekeringan. dikarenakan dapat

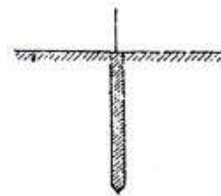
menghasilkan resistansi yang rendah. Panjang dan ukuran elektroda akan mempengaruhi resistansi.



**Gambar 2.7** Cara Pemasangan Elektroda Pita

### 2.6.1.2 Elektroda Batang

Elektroda Batang berupa tembaga yang dilapisi dengan pipa netral ditanam didalam tanah dengan posisi lurus terhadap tanah. Elektroda jenis batang ini sering



**Gambar 2.8** Cara Pemasangan Elektroda Batang

digunakan untuk gardu induk dikarenakan dapat menghasilkan nilai resistansi yang rendah. Nilai resistansi yang rendah tergantung pada panjang dan ukuran pada jarak elektroda tersebut.

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

R = Tahanan Pentanahan ( $\Omega$ )

P = Tahanan Jenis Tanah ( $\Omega\text{m}$ )

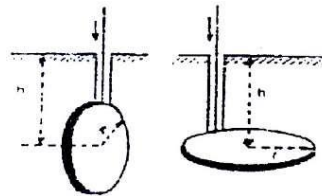
L = Panjang Lintasan arus pada tanah (m)



$A = \text{Luas penampang lintasan arus pada tanah (m}^2\text{)}$

### 2.6.1.3 Elektroda Pelat

Elektroda pelat ini terbuat dari bahan plat logam yang berlubang atau kasa. Pelat tersebut di tanah secara vertikal. Jenis elektroda ini pada umumnya mempunyai ukuran 1 m x 0,5 m. jika dipasang paralel, jarak yang di sarankan untuk elektroda ini minimum 3 meter untuk memperoleh resistansi pentanahan yang baik.



**Gambar 2.9** pemasangan elektroda Pelat

### 2.6.1.4 Ukuran Elektroda Pembedaan

Tabel 1.3 Ukuran elektroda

No	Jenis Elektroda	Digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1.	Elektroda Pita	Pita baja 100 mm setebal 3 mm	50 mm	Pita tembaga 50 mm, tebal minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Pengahantar pilin 35 mm (bukan kawat halus)
2.	Elektroda Batang	-Pipa baja 25 mm -Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7U 6,5 T6 x 50 x 3 -Batang profil lain yang		

		setaraf	
3.	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm Luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m	Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m

### 2.6.1.5 Ukuran Konduktor Kisi-Kisi

Menurut Buku T.S Hutauruk :

Rumus berikut dikembangkan oleh I.M Onderdonk dapat digunakan untuk menentukan ukuran dari konduktor tembaga minimum yang dipakai sebagai kisi-kisi pengetanahan.

$$A = I \sqrt{\frac{33t}{\log_{10} \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}}$$

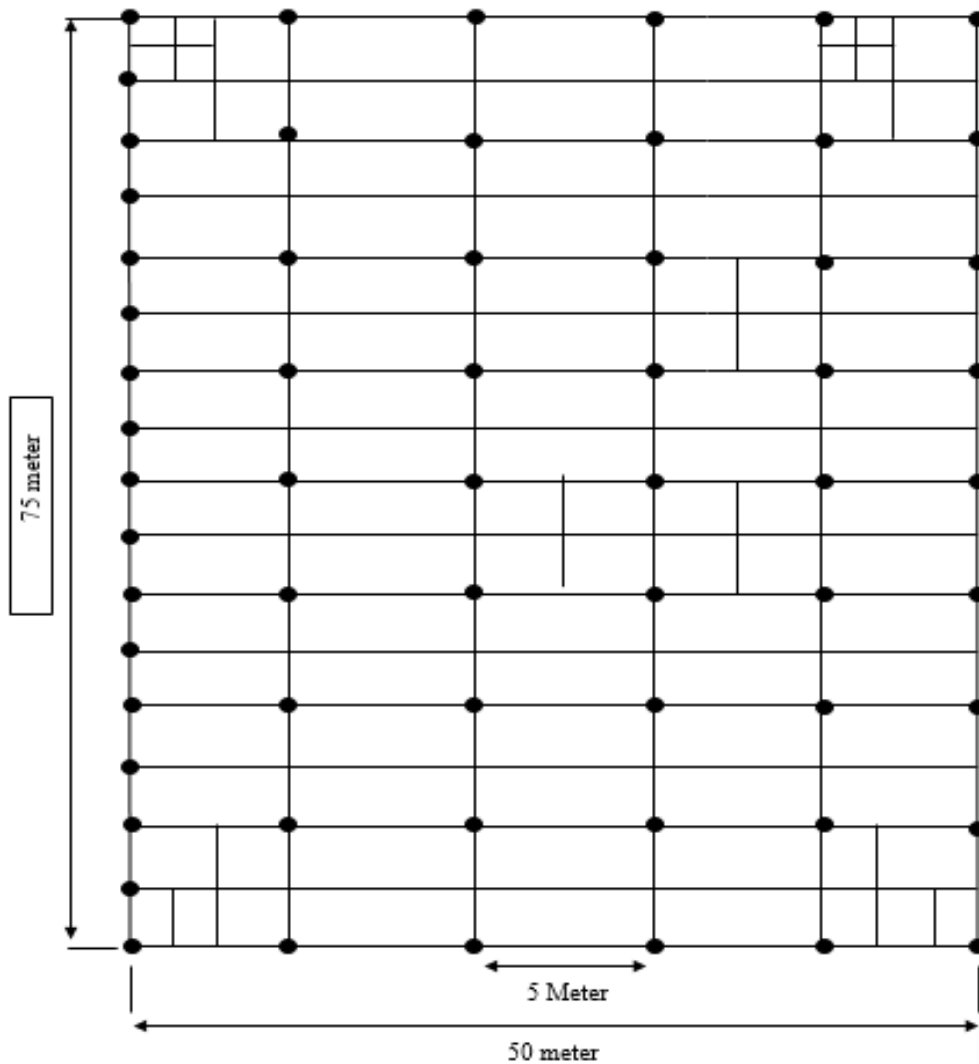
A = penampang konduktor

I = arus gangguan (= 1200 amp)

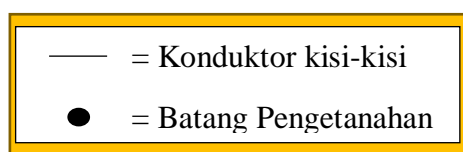
t = lama gangguan (= 0,75 detik)

T<sub>m</sub> = suhu maksimum konduktor yang diizinkan (= 1083 °C)

T<sub>a</sub> = suhu sekeliling tahunan maksimum (= 30 °C)



Gambar 2.10 Sistem Pengetanahan Mesh dan Grid



Pengetanahan dengan sistem Mesh dan Grid ini memiliki panjang 75 Meter dan Lebar 50 meter. Jarak antar elektroda pada sistem pentanahan Mesh dan Grid ini 5 Meter-10 Meter. Elektroda pentanahan di pasang dibawah peralatan di area Gardu Induk. Elektroda pentanahan berdiameter 5/8 inchi dan ditanam kedalam tanah dengan kedalaman 30cm-80 cm. . (T.S Hutauruk)

Konduktor pengetanahan pada Gardu Induk biasanya terbuat dari batang tembaga keras dan memiliki konduktivitas tinggi, terbuat dari kabel tembaga yang dipilin (bare stranded copper) dengan luas penampang  $150 \text{ mm}^2$  dan mempunyai kemampuan arus hubung tanah sebesar  $25 I_a$  selama 1 detik, konduktor ini ditanam sedalam kira-kira 30 cm-80 cm atau bila dibawah kepala pondasi sedalam kira-kira 25 cm. .(T.S Hutaaruk).

Luas kisi-kisi di daerah switchyard, sesuai dengan peralatan-peralatan yang ada, dibatasi maksimum  $10\text{m} \times 5 \text{ m}$ . kisi-kisi pengetanahan bersambung satu dengan lainnya dan dihubungkan dengan batang pengetanahan yang terdiri dari batang tembaga. Batang tembaga ini berdiameter 15mm, panjang 3,5m. ditanam dengan kedalaman minimal sama dengan panjang batang itu sendiri. Selanjutnya batang pengetanahan ini disebut titik pengetanahan. . (T.S Hutaaruk)

Langkah-langkah perhitungan perencanaan pengetanahan switchyard

1. Pemeriksaan tahanan jenis tanah
2. Perencanaan pendahuluan tata letak layout dan data-data
3. Menghitung arus fibrilasi
4. Menghitung jumlah batang pengetanahan yang diperlukan
5. Menghitung arus gangguan hubung tanah
6. Menghitung tahanan batang
7. Menghitung ukuran konduktor kisi-kisi
8. Menghitung tegangan sentuh
9. Menghitung tegangan kisi-kisi (grid)
10. Menghitung tegangan mesh
11. Menghitung tegangan langkah yang diizinkan
12. Menghitung tegangan langkah yang sebenarnya
13. Pemeriksaan tegangan transfer (transferred potential)

### 2.6.1.6 Tata letak (layout)

Kisi-kisi (grid) pengetanahan menggunakan konduktor tembaga bulat yang ditanam pada seluruh batas gardu induk. Pengaturan tata letak sistem pengetanahan pada suatu gardu induk. . (T.S Hutauruk)

### 2.6.1.7 Jumlah batang pengetanahan yang diperlukan

Pada waktu arus gangguan mengalir antara batang pengetanahan dan tanah, tanah akan menjadi panas akibat arus  $I^2 \rho$ . Suhu tanah harus tetap dibawah  $100^\circ\text{C}$  untuk menjaga jangan sampai terjadi penguapan pada air kandungan dalam tanah dan kenaikan tahanan jenis. (T.S Hutauruk)

Kerapatan arus yang diizinkan pada permukaan batang pengetanahan dapat dihitung dengan persamaan :

$$I = 3,1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \Theta}{\rho t}}$$

Dimana :

$i$  = kerapatan arus yang diizinkan (amp/cm)

$d$  = diameter batang pengetanahan (mm) = 15 mm

$\delta$  = panas spesifik rata-rata tanah (kurang lebih  $1,75 \times 10^6$  watt-detik tiap  $\text{m}^3$  tiap  $^\circ\text{C}$ )

$\Theta$  = kenaikan suhu tanag yang diizinkan ( $^\circ\text{C}$ )

$\rho$  = tahanan jenis tanah (ohm-meter)

$t$  = lama waktu gangguan =0,75 detik.

Kenaikan suhu tanah yang diizinkan adalah antara perbedaan temperatur rata-rata tahanan dan  $100^\circ\text{C}$ .

## **2.7 Bahaya-Bahaya yang Timbul Pada Gardu Induk Pada Keadaan Gangguan Tanah**

Ringan atau berat bahaya yang timbul, tergantung dari faktor-faktor dibawah ini : menurut . (T.S Hutauruk)

1. Tegangan dan kondisi orang terhadap tegangan tersebut
2. Besarnya arus yang melewati tubuh manusia
3. Jenis arus, searah atau bolak-balik

### **2.7.1 Tegangan**

Pada sistem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, dalam hal terjadi kontak langsung atau dalam hal manusia berada dalam suatu daerah yang mempunyai gradien tegangan yang tinggi.

Khususnya pada gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ketanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari metal dan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri. Untuk menganalisis lebih lanjut akan di tinjau beberapa kemungkinan terjadi tegangan dan kondisi orang yang sedang berada di dalam dan disekitar gardu induk tersebut.

(T.S Hutauruk)

### **2.7.2 Macam Tegangan**

Sulit untuk menentukan secara tepat mengenai perhitungan tegangan yang mungkin timbul akibat kesalahan ke tanah terhadap orang yang sedang berada didalam atau di sekitar gardu induk, karena banyaknya faktor yang mempengaruhi dan tidak diketahui. Untuk menganalisis keadaan ini maka diambil beberapa pendekatan sesuai dengan kondisi orang yang sedang berada didalam atau disekitar gardu induk tersebut pada saat terjadi kesalahan ke tanah. Pada

hakekatnya perbedaan tegangan selama mengalir nya arus gangguan tanah. (T.S Hutaauruk)

1. Tegangan sentuh
2. Tegangan langkah
3. Tegangan pindah

### 2.7.2.1 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu objek yang disentuh dan suatu titik dengan jarak 1 meter. Besarnya arus gangguan dibatasi oleh resistensi tubuh manusia dan resistans kontak ketanah. Resistansi tubuh manusia mendekati 1000 ohm. Rumus tegangan sentuh dapat dirumuskan : (T.S Hutaauruk)

$$E_s = (1000 + 3 \rho_s/2) 0,116/\sqrt{t}$$

$E_s$  = Tegangan Sentuh (Volt)

$\rho_s$  = Tahanan jenis tanah di sekitar permukaan tanah (ohm-meter) = 3000 ohm-meter untuk permukaan tanah yang dilapisi koral 10 cm.

$t$  = Waktu kejut (detik) atau lama gangguan tanah.

**Tabel 1.4 waktu tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan**

Lama Gangguan t (detik)	Tegangan sentuh yang diizinkan
0.1	1980
0.2	1400
0.3	1140
0.4	990
0.5	890
1	626
2	443
3	362



### 2.7.2.2 Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara kedua kaki manusia yang berdiri menginjak tanah yang dialiri arus gangguan tanah. ” (T.S Hutaauruk)”

Maka :

$$Et_{50} = (1000 + 6\rho_s C_s) \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

Faktor reduksi dari nilai resistivitas permukaan tanah dapat di formulasikan sebagai berikut :

$$C_s = 1 - \left( \frac{0,09 (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2hs + 0,009} \right)$$

$C_s$ = faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah.

$\rho$ = resistivitas tanah (ohm-meter).

$\rho_s$ = resistivitas permukaan tanah (ohmmeter).

$hs$ = ketebalan lapisan batu koral

### 2.7.2.3 Tegangan Pindah

Tegangan pindah adalah hal khusus dari tegangan sentuh, dimana tegangan ini terjadi bila pada saat terjadi kesalahan orang berdiri didalam gardu induk, dan menyentuh suatu peralatan yang diketanahkan pada titik jauh sedangkan alat tersebut dialiri oleh arus ketanah. (T.S Hutaauruk)

## 2.8 Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terbatas terhadap besarnya arus yang mengalir di dalamnya. Tetapi berapa besar dan lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar ditetapkan.

Batas-batas besarnya arus dan pengaruhnya terhadap manusia yang berbadan sehat. Batas arus tersebut sebagai berikut : ”(T.S Hutaauruk)

1. arus mulai terasa atau presepsi
2. arus mempengaruhi otot
3. arus mengakibatkan pingsan atau mati atau arus fibrilasi

## 4. arus reaksi

**2.8.1 Arus Presepsi**

Pada pengujian 40 orang laki-laki dan perempuan di Electrical Testing Laboratory New York tahun 1933 didapatkan rata-rata arus : (T.S Hutaaruk)

- Laki-laki : 1,1 mA
- Perempuan : 0,7 Ma

**2.82 Arus Fibrasi**

Dari percobaan Dalziel bahwa 99,5% semua orang yang beratnya  $\geq 50\text{kg}$  masih dapat bertahan dari besar arus dan durasi pada waktu yang ditentukan: ” (T.S Hutaaruk)”

$$I_k^2 t = K \text{ atau } I_k = k/\sqrt{t}$$

**Dimana :**

$$K = \sqrt{K}$$

$K = 0,0135$  untuk manusia dengan berat 50kg

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

**Maka :**

$k_{50} = 0,116$  Amper

$k_{70} = 0,157$  Amper

**jadi :**

$I_k^2 \cdot t = 0,0135$  untuk berat badan 50kg

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$I_k =$  besarnya arus lewat tubuh manusia (dalam ampere)

$t =$  waktu arus lewat tubuh manusia atau lama gangguan tanah (dalam detik)

### 2.8.3 Arus Reaksi

Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi sehingga terjadi kecelakaan yang lebih fatal. (T.S Hutaaruk)

### 2.9 Tegangan Mesh atau Tegangan Sentuh maksimum sebenarnya

Tegangan mesh merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh. Tegangan mesh ini didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang diketanahkan terhadap tengah-tengah daerah yang dibentuk konduktor kisi-kisi (center of mesh) selama gangguan tanah. Tengan mesh ini menyatakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yang dapat dijumpai dalam sistem pengetanahan gardu induk, dan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk desain yang aman. (T.S Hutaaruk)

$$E_m = K_m K_i \rho \frac{I}{L}$$

Dimana :

$K_i$  = faktor koreksi untuk ketidakmerataan kerapatan arus, yang di hidung

dengan rumus empiris =  $0,65 + 0,172 n$  (= 3,402)

$\rho$  = tahanan jenis rata-rata tanah (=750 ohm-meter)

$I$  = besar arus gangguan tanah (=1.200 Amp)

$L$  = panjang konduktor pengetanahan yang ditanam termasuk semua batang pengetanahan

### **2.9.1 Pemilihan Metode Pengetanahan Titik Netral Sistem**

Pemilihan dari metode pengetanahan sebagian besar tergantung dari segi praktis, keinginan untuk menjaga kontinuitas kerja, memperkecil gangguan yang lebih pengaruh, dan kompromi antara tekanan arus dan tegangan. (T.S Hutaauruk)

#### **2.9.1.1 Pengetanahan Efektif**

##### **Keuntungan dari pengetanahan efektif :**

Menurut (T.S Hutaauruk) :

- a. Tegangan frekuensi dasar dapat dikontrol dengan baik
- b. Kerja pemutus daya untuk memutuskan arus pada gangguan K-T dipermudah dibandingkan dengan bila sistem itu tidak diketanahkan efektif.
- c. Busur tanah tidak dapat terjadi karena arus hubung singkat menghapuskan arus kapasitif dan menghilangkan pengaruhnya
- d. Proteksi gangguan tanah sederhana
- e. Pengenal tegangan arrester dapat diperbesar dengan 25%

##### **Kerugian dan cara memperbaikinya :**

Menurut : (T.S Hutaauruk)

- a. Tiap-tiap gangguan hubung singkat selalu mengakibatkan terputusnya saluran
- b. Arus gangguan besar dan dapat merusak alat-alat ditempat gangguan
- c. Dapat membahayakan manusia atau benda hidup bila berada dekat gangguan
- d. Dapat merusak isolator-isolator pada kawat transmisi udara disebabkan oleh arus susulan
- e. Tegangan lebih yang besar mungkin timbul pada fasa-fasa yang tidak terganggu karena resonansi dari kapasitansi kabel dengan induktansi generator kutub menonjol (salient pole). Hal ini dapat diperkecil dengan melengkapi generator itu dengan belitan peredam.

### 2.9.1.2 Pengetanahan dengan Reaktansi

Dalam kategori ini ialah pengetanahan dengan reaktansi di luar pengetanahan efektif, yaitu bila  $X_0$  lebih besar dari  $3 X_1$  tetapi lebih kecil dari  $10 X_1$ . Tegangan fasa-fasa yang tidak terganggu terhadap tanah tidak melebihi  $1,73 E_{ph}$ , kecuali bila  $X_0$  mempunyai harga negatif. Keuntungan utama dari cara ini ialah arus hubung singkat diperkecil dan juga tegangan fasa yang tidak terganggu terbatas naiknya. Busur tanah tidak membahayakan. (T.S Hutaaruk)

### 2.9.1.3 Pengetanahan dengan tahanan

Yang termasuk dalam kategori ini ialah bila  $R_0$  lebih besar dari  $X_1$ . Bila  $X_0 = X_1 = X_2$ , tegangan maksimum pada fasa-fasa yang tidak terganggu itu dapat mencapai harga  $1,82 E_{ph}$ . hal ini terjadi bila  $R_G = 2,7 X_1$ . Busur tanah dicegah. Dilihat dari segi tegangan dasar dalam keadaan gangguan, cara tahanan ini lebih rendah mutunya dibandingkan dengan cara reaktansi. Keburukan lain ialah banyak panas terbuang. ” (T.S Hutaaruk)”

## 2.10 Petunjuk-Petunjuk Untuk Pemilihan Metode Pengetanahan

Dalam pasal diatas telah dijelaskan untung-rugi dari metode pengetanahan.

### 2.10.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi Pemilihan Metode Pengetanahan

Menurut AIEE faktor-faktor dasar yang harus diperhatikan di dalam pemilihan metode pengetanahan dari suatu sistem tenaga, ialah :

Menurut: (T.S Hutaaruk)

1. Selektivitas dan sensitivitas dari rele gangguan tanah
2. Pembatasan besar arus gangguan tanah
3. Tingkat pengamanan terhadap tegangan surja dengan arrester
4. Pembatasan tegangan lebih transien

Keempat faktor diatas mempunyai pengaruh besar terhadap keekonomian sistem, perencanaan serta tata-letak dari sistem dan kontinuitas pelayanan.

### **2.10.2 Proteksi Gangguan Tanah**

Proteksi gangguan tanah akan berhasil dengan baik tergantung dari besarnya arus gangguan ketanah. Sistem yang diketanahkan dengan reaktansi umumnya arus gangguan tanah besarnya 25% atau lebih dari arus gangguan 2 fasa. Sistem yang diketanahkan dengan tahanan, arus gangguan tanah besarnya 10 sampai 25%. Pada umumnya kesuksesan dari proteksi gangguan tanah diperoleh bila arus gangguan tanah lebih besar dari 10 persen dari arus gangguan 3 fasa. Untuk sistem yang diketanahkan melalui tahanan yang besar atau melalui kumparan Petersen akan mempunyai gangguan ke tanah yang sangat kecil.

Untuk kumparan Petersen biasanya dilengkapi dengan alat untuk menghubungkan langsung titik netral pada waktu terjadi gangguan yang permanen, dengan tujuan untuk memperbesar arus gangguan tanah. Dengan demikian rele tanah yang konvensional dapat bekerja. (T.S Hutaauruk)

### **2.10.3 Pembatasan Besar Arus Gangguan Tanah**

Arus gangguan yang besar dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan pada peralatan, yaitu kerusakan pada penghantar. Disamping itu gangguan tanah pada satu fasa berkembang ke fasa lain atau mengganggu peralatan lain, tergantung pada besarnya arus gangguan dan lama waktu yang diperlukan untuk menghilangkan gangguan tanah tersebut. Ketidak-stabilan dari sistem karena gangguan tanah pada saat ini tidak perlu lagi dipertimbangkan dalam pemilihan metode pengetanahan bila dilengkapi dengan rele dan pemutus daya yang bekerja cepat. ” (T.S Hutaauruk)”

## **2.11 Pengaruh Metode Pengetanahan pada Besarnya Tegangan Dinamis yang Mengenai Alat-Alat Proteksi Surja**

Menurut AIEE Commite Report, lightning arrester dibagi dalam dua kelompok, yakni arrester tipe di ketanahkan dan arrester tipe tidak diketanahkan. Arrester tipe diketanahkan dapat dipergunakan bila arus gangguan satu fasa ketanah tidak kurang 60% dari arus gangguan 3 fasa. Kondisi diatas akan

dipenuhi bilamana sistem diketanahkan secara efektif atau  $X_0/X_1 \leq 3$ . Sedangkan arrester tipe tidak

diketanahkan digunakan bilamana arus gangguan satu fasa kurang dari 60% dari arus gangguan 3 fasa.

Arrester adalah alat yang sensitif terhadap tegangan dan dihubungkan antara kawat dan tanah, maka tegangan dinamis pada arrester tersebut tidak boleh melampaui pengenal tegangan untuk segala keadaan operasi sistem. (T.S Hutaauruk)

### **2.11.1 Pembatasan Tegangan Lebih Transien**

Tegangan ini lebih tinggi dapat ditimbulkan oleh busur tanah. Busur tanah ini umumnya terjadi pada sistem yang tidak diketanahkan. Tegangan transien maksimum yang disebabkan oleh pemutusan tergantung dari sistem pengetanahan. Tegangan transien yang paling tinggi terjadi pada sistem yang netralnya tidak diketanahkan, kemudian menyusul sistem yang diketanahkan dengan kumparan Petersen. (T.S Hutaauruk)

## **2.12 Metode Pengetanahan**

### **2.12.1 Tahanan**

Sistem pengetanahan melalui tahanan pernah diterapkan pada sistem 230KV. Sistem ini mempunyai tegangan lebih transien yang disebabkan oleh pemutusan relatif rendah. Seperti diketahui maksud pengetanahan ini adalah untuk membatasi arus gangguan ke tanah antara 10% sampai 25% dari arus gangguan 3 fasa. Batas yang paling bawah adalah batas minimum untuk dapat bekerjanya rele gangguan tanah, sedangkan batas atas adalah untuk membatasi banyaknya panas yang hilang pada waktu terjadi gangguan. Oleh sebab itu untuk arus yang lebih besar, lebih condong menggunakan reaktor. Sistem pengetanahan melalui tahanan ini sekarang jarang digunakan pada jaringan transmisi. Dan sebagai gantinya lebih disukai penggunaan reaktor. (T.S Hutaauruk)

### **2.12.2 Reaktor dan Efektif**

Reaktor pengetanahan digunakan bilamana trafo daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Reaktor itu digunakan untuk memenuhi persyaratan dari

sistem yang diketanahkan dengan reaktor dimana besar arus gangguan diatas 25% dari arus gangguan 3 fasa ( $X_0/X_1 \leq 10$ ).

Keuntungan ekonomis yang makin meningkat dengan mengetanahkan trafo daya secara langsung untuk menekan tegangan lebih transien, sehingga trafo daya dapat menggunakan isolasi yang dikurangi dan tipe arester yang diketanahkan, semakin mengurangi penggunaan metode pengetanahan dengan reaktor, terutama untuk sistem-sistem diatas 115 KV. Dengan pengetanahan efektif ( $X_0/X_1 \leq 3$  dan  $R_0/X_1 \leq 1$ ). Diperoleh keuntungan ekonomis tadi. (T.S Hutauruk)

### **2.12.3 Kumparan Petersen**

Kumparan petersen dapat digunakan pada sistem dengan tegangan mulai dari 2,3KV sampai 230 KV. Tetapi karena faktor ekonomis, dimana pada tegangan diatas 115 KV dapat menggunakan trafo dengan isolasi dikurangi, maka penggunaan kumparanpetersn biasanya dibatasi sampai tegangan 115 KV, penggunaan paling banyak dilakukan pada sistem-sistem 33 KV, dan pada pengetanahan netral generator terpadu (unit connected generator). (T.S Hutauruk)

## **2.13 .Proteksi Sistem Transmisi Terhadap Gangguan Tanah**

### **2.13.1 Fungsi Proteksi**

Proteksi dibutuhkan untuk melindungi tiap elemen dari sistem serta mengamankannya secepat mungkin dari gangguan yang sedang terjadi, sebab gangguan dapat membahayakan sistem, antara lain menyebabkan jatuhnya generator-generator dalam sistem. Bagi pihak konsumen akibatnya ialah



terganggunya kerja dari alat-alat listrik, terutama didalam industri-industri yang mengakibatkan terganggunya produksi. (T.S Hutaauruk).

Skema proteksi harus cocok dan sesuai dengan semua peralatan proteksi yang terpasang pada sistem itu. Pemutusan dari bagian-bagian yang terganggu harus selektif mungkin, jadi hanya dibatasi pada komponen yang terganggu saja. Jadi proteksi harus sensitif, artinya harus dapat mendeteksi suatu kesalahan secara pasti. Untuk semua keadaan operasi dari sistem, peralatan proteksi harus dapat bekerja cepat dan dapat diandalkan dan dipercaya

Tujuan dari proteksi terutama untuk mencegah terjadinya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi serta melokalisirnya, dan membatasi pengaruh-pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu itu tanpa mengganggu bagian-bagian yang lain. (T.S Hutaauruk).

### **2.13.2 Proteksi Terhadap Gangguan Tanah Pada Sistem Yang Netralnya Diketanahkan**

Pada sistem yang diketanahkan langsung, arus gangguan fasa ke tanah umumnya mempunyai nilai yang sangat besar, karena itu rele pengaman harus membuka (trip) dengan segera. (T.S Hutaauruk)

### **2.13.3 Proteksi Terhadap Gangguan Tanah Pada Sistem Yang Netralnya Tidak Diketanahkan**

Pada sistem yang masih kecil biasanya sisi delta dan sisi bintang dari trafo dayanga tidak diketanahkan. Dalam hal ini gangguan satu fasa ke tanah pada sistem delta yang masih kecil tidak membahayakan, dan biasanya gangguan itu bisa hilang sendiri. Proteksi dalam hal ini diperlukan untuk gangguan tanah menetap, yang mana dapat membahayakan terhadap fasa-fasa sehat dengan naiknya tegangan dari fasa-fasa itu menjadi tegangan fasa-fasa, dan juga untuk menghindarkan terjadinya busur tanah. (T.S Hutaauruk)

#### **2.13.4 Proteksi untuk Melokalisir Titik Gangguan Tanah**

Arus gangguan tanah bisa sangat kecil disebabkan panjangnya saluran seperti pada jala-jala pedesaan atau karena adanya impedansi pengetanahan dan karena keadaan pengetanahan yang sangat jelek. Arus gangguan mungkin bisa lebih kecil

daripada penyetelan minimum yang umum digunakan pada rele gangguan tanah jenis induksi. Oleh karena itu guna mengetahui adanya gangguan diperlukan suatu bentuk proteksi yang lebih sensitif, yang dapat bekerja pada arus gangguan tanah, walaupun hanya sebesar 5-10 Ampere. (T.S Hutaaruk)

**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Tempat dan Waktu**

**1.1.1 Waktu**

Waktu pelaksanaan ini dilakukan dalam waktu 6 bulan terhitung dari tangan 20 April 2021 sampai 30 Agustus 2021.

**3.1.2 Tabel Jadwal Penelitian**

Tabel 1.5 Jadwal Penelitian

No	Uraian	Bulan Ke									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Penyusun proposal penelitian										
2	Kajian literatur										
3	Penulisan Bab 3										
4	Pengumpulan data										
5	Survei lokasi										
6	Analisa data										
7	Seminar hasil										
8	Sidang Akhir										

**3.2 Tempat**

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Medan Barat, dengan pengambilan data Gardu Induk langsung dan melakukan penelitian tentang pentanahan pada Gardu Induk

**3.3 Bahan dan Alat**

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan analisa dan pengolahan data adalah sebagai berikut:

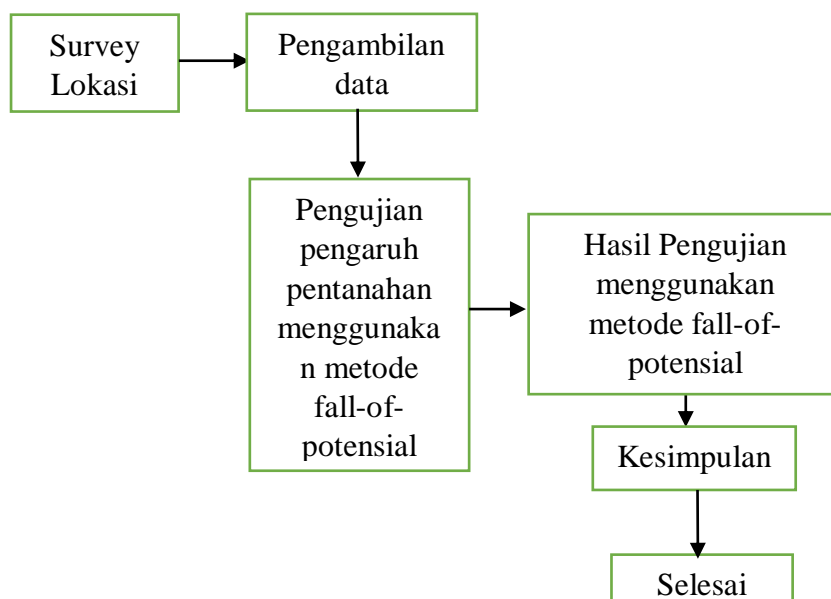
1. Digital Earth Tester
2. Elektroda bantu
3. Kabel penghubung
4. Palu

### 3.4 Metodologi Penelitian

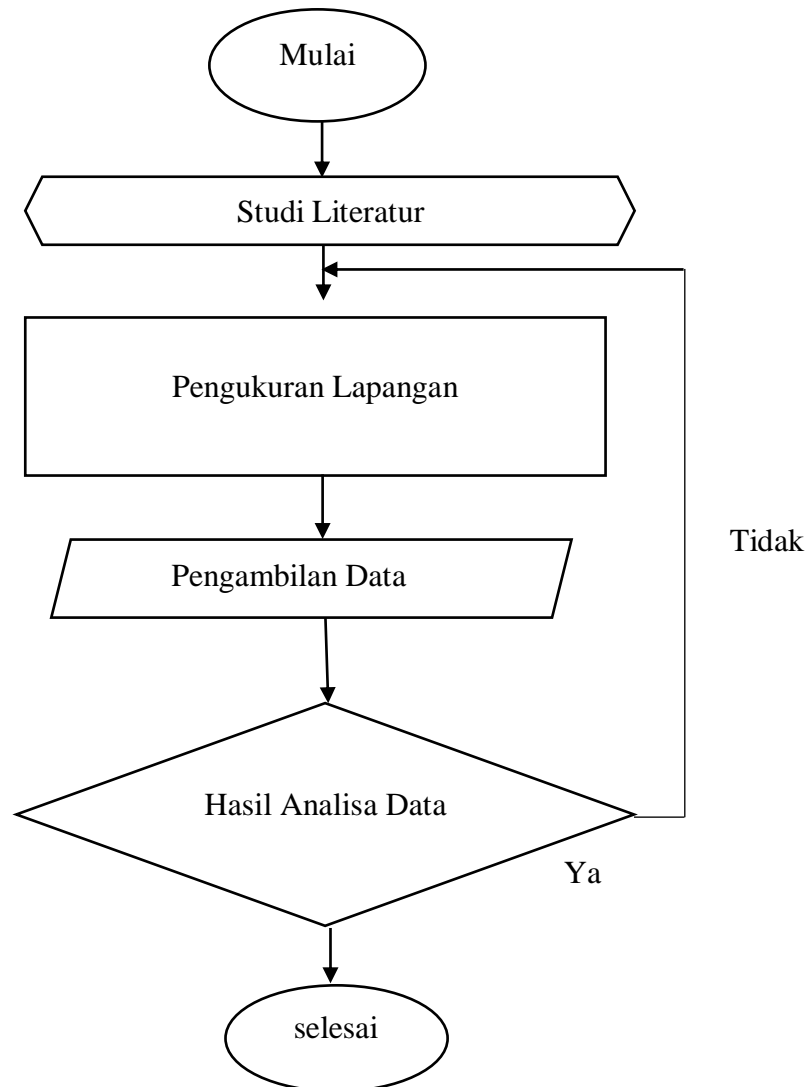
Dalam penelitian ini menggunakan metode pengukuran langsung dilapangan dan selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan Earth Tester dan Perhitungan Manual. Fall-of-Potential adalah merupakan teknik dasar yang secara luas digunakan untuk pengukuran tahanan pembumian. Fall-Of-Potential digunakan untuk mengukur kemampuan pentanahan atau elektroda tanah individual untuk menghamburkan energi dari suatu tempat.

Prinsip pengukuran dengan menggunakan metode tiga titik atau *fall of potential* ditentukan berdasarkan nilai tahanan pentanahan Rx melalui aliran arus AC yang konstan diantara batang elektroda E dan batang elektroda C, sehingga muncul beda potensial antara elektroda E dan elektroda P. kemudian diolah menjadi sebuah data yang menunjukkan bahwa metode ini berpengaruh terhadap tanah pada gardu induk.

### 3.5 Block diagram



### 3.6 Flowchart



## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Umum

Pada bab ini akan membahas tentang perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan pada Gardu induk dengan kondisi tanah kering dan basah. Dan pengaruh kelembapan pada tahanan pentanahan dengan menggunakan Metode Fall-Of-Potensial. Dibawah ini terdapat beberapa data yang tersedia sebagai berikut.

### 4.2 Pengambilan Data

Adapun data yang diambil sesuai kebutuhan yaitu Single Line Diagram, data pentanahan untuk memudahkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

#### Tabel 1.6 Data Pentanahan Peralatan

Tabel data berikut ini terdapat nama peralatan dan nilai pentanahan yang sesuai dengan standar tahanan pentanahan pada Gardu Induk Sei Rotan.

NO	NAMA PERALATAN	MERK	NILAI PENTANAHAN
1	PMT	ALSTOM	0.3 OHM
2	CT	ABB	0.3 OHM
3	PMS LINE	COELME	0.3 OHM
4	CVT	ABB SWEDEN	0.3 OHM
5	LA	ABB	0.3 OHM

Spesifikasi Alat

Merk :KYORITSU

Tipe : 4105A



Gambar 4.1 Digital Earth Tester



Bahan-Bahan Pengukuran :

1. Elektroda batang (1 buah)
2. Elektroda bantu (2 buah)
3. Palu (1 buah)
4. Kabel kuning, hijau, merah

**Langkah-Langkah Pengukuran :**

1. Menancapkan batang elektroda ke dalam tanah dengan kedalaman yang berbeda-beda
2. Menancapkan kedua elektroda bantu di titik yang berbeda dan jarak yang berbeda
3. Kemudian menghubungkan kabel merah ke lubang koneksi dan ujung kabel tersebut terhubung ke elektroda bantu yang telah ditancapkan dengan jarak 5 – 10 m.
4. Lalu menghubungkan kabel kuning ke lubang konektor setelah itu ujung kabel tersebut dihubungkan ke elektroda bantu yang telah ditancapkan.
5. Yang terakhir kabel berwarna hijau di hubungkan ke elektroda yang telah ditancapkan.

Hasil perhitungan Penanaman elektroda satu batang dengan persamaan :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

Berdasarkan hasil Pengukuran dengan menggunakan Metode Fall-Of-Potensial didapatkan nilai tahanan pentanahan dibawah ini dengan kondisi tanah Basah dan Tanah Kerikil dan pasir kering.



$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4.L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.100} X \left( \ln \frac{4.100}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{628} X (5,58 - 1)$$

$$R = 1,59 \times (4,58)$$

$$R = 7,28 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4.L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.150} X \left( \ln \frac{4.150}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{942} X (6 - 1)$$

$$R = 1,06 \times (5)$$

$$R = 5,3 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4.L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.200} X \left( \ln \frac{4.200}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{1256} X (6,27 - 1)$$

$$R = 0,79 \times (5,27)$$

$$R = 4,16 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.250} X \left( \ln \frac{4.250}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{1570} X (6,50 - 1)$$

$$R = 0,63 \times (5,50)$$

$$R = 3,46 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.300} X \left( \ln \frac{4.300}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{1884} X (6,68 - 1)$$

$$R = 0,53 \times (5,58)$$

$$R = 2,95 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.350} X \left( \ln \frac{4.350}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2198} X (6,84 - 1)$$

$$R = 0,45 \times (5,83)$$

$$R = 2,62 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.400} X \left( \ln \frac{4.400}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2512} X (6,97 - 1)$$

$$R = 0,39 \times (5,97)$$

$$R = 2,32 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.450} X \left( \ln \frac{4.450}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2826} X (7,09 - 1)$$

$$R = 0,35 \times (6,09)$$

$$R = 2,13 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{2.3,14.500} X \left( \ln \frac{4.500}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1000}{3140} X (7,19 - 1)$$

$$R = 0,31 \times (6,19)$$

$$R = 1,91 \Omega$$

**Tanah Basah**

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{2.3,14.100} X \left( \ln \frac{4.100}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{628} X (5,58 - 1)$$

$$R = 0,31 \times (4,58)$$

$$R = 1,41 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{2.3,14.150} X \left( \ln \frac{4.150}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{1200}{942} X (5,99 - 1)$$

$$R = 0,21 \times (4,99)$$

$$R = 1,04 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{2.3,14.200} X \left( \ln \frac{4.200}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{1256} X (6,27 - 1)$$

$$R = 0,15 \times (5,27)$$

$$R = 0,79 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4.L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{2.3,14.250} X \left( \ln \frac{4.250}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{1570} X (6,50 - 1)$$

$$R = 0,12 \times (5,50)$$

$$R = 0,66 \Omega$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left( \ln \frac{4.L}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{2.3,14.300} X \left( \ln \frac{4.300}{1,5} - 1 \right)$$

$$R = \frac{200}{1884} X (6,68 - 1)$$

$$R = 0,10 \times (5,68)$$

$$R = 0,56 \Omega$$

**Tabel 1.7 Hasil Perhitungan Tahanan jenis tanah Pasir dan Kerikil kering**

Berdasarkan hasil perhitungan nilai tahanan pentanahan Gardu Induk dengan menggunakan metode fall-of-potensial yang dilakukan pada kondisi tanah pasir dan kerikil kering didapatkan hasil yang tertera pada tabel berikut.

No	Kedalaman Elektroda Batang (cm)	Hasil Penghitungan ( $\Omega$ )
1	100	7,28
2	150	5,3
3	200	4,16
4	250	3,45
5	300	2,95
6	350	2,62
7	400	2,32
8	450	2,13
9	500	1,91

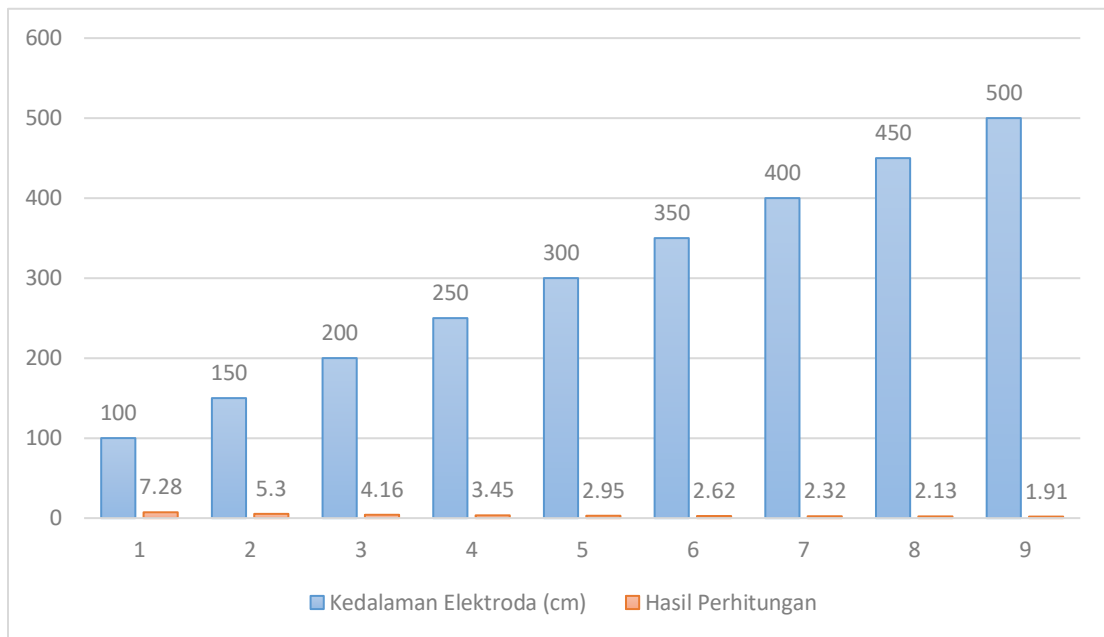
**Tabel 1.8 Hasil Perhitungan**

**Tahanan jenis tanah basah**

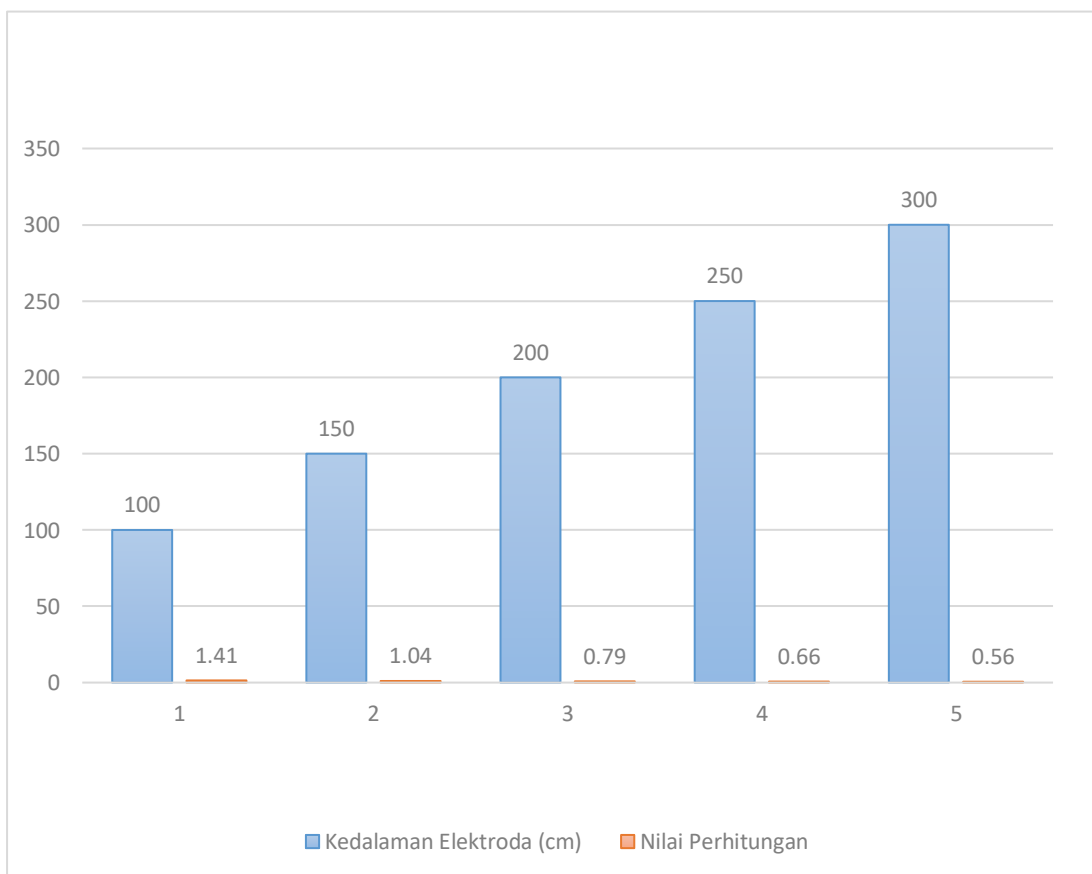
Berdasarkan hasil perhitungan nilai tahanan pentanahan Gardu Induk dengan menggunakan metode fall-of-potensial yang dilakukan pada kondisi tanah basah didapatkan hasil yang tertera pada tabel berikut.

No	Kedalaman Elektroda batang (cm)	Nilai perhitungan ( $\Omega$ )
1	100	1,41
2	150	1,04
3	200	0,79
4	250	0,66
5	300	0,56

- **Grafik hasil pengukuran Tahanan Pentanahan Kondisi tanah basah**



- **Grafik hasil pengukuran Tahanan Pentanahan Kondisi tanah pasir dan kerikil kering**



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan nilai perhitungan kondisi tanah :

1. Pengaruh kelembaban terhadap nilai pentanahan mempengaruhi nilai tahanan pentanahan pada Gardu Induk. Pada kondisi tanah kering nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanah basah.
2. Dari segi perhitungan Nilai tahanan pentanahan pada kondisi tanah yang kering dengan nilai tahanan tanah  $1,91 \Omega$ .
3. Dari segi perhitungan Nilai tahanan pentanahan pada kondisi tanah yang basah dengan nilai tahanan pentanahan  $0,56 \Omega$
4. Total selisih nilai tahanan tanah dengan kondisi basah dan pasir dan kerikil kering sebesar  $1,35\% = 0,0135 \Omega$

#### **5.2 Saran**

1. Pada penelitian ini di sarankan, untuk mendapatkan nilai tahanan yang baik harus mencapai nilai tahanan tahanan dibawah 1 ohm atau mendekati 0, untuk menghindari hal-hal yang membahayakan bagi seseorang yang berada di area Gardu Induk.
2. Untuk mengetahui nilai tahanan jenis tanah harus melakukan pengukuran secara langsung di lapangan. Setiap Gardu Induk memiliki kondisi tanah yang berbeda-beda.



## DAFTAR PUSTAKA

- Saleh, M., & Pratiwi, A. I. (2019). Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Pada Tanah Berair, *3*(01), 1–5.
- Jamaaluddin, Anshory, I., & Agus, E. suprayitno. (2015). Penentuan Kedalaman Elektroda pada Tanah Pasir dan Kerikil Kering Untuk Memperoleh Nilai Tahanan Pentanahan yang Baik ( Depth Determination of Electrode at Sand and Gravel Dry for Get The Good Of Earth Resistance ). *Jurnal JTE-U*, *1*(1), 1–9.
- Pranoto, A., Tumaliang, H., & Mangindaan, G. M. C. (2018). Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-Kisi). *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, *7*(3), 189–198.
- Labulu, H., Lisi, F., & Tuegeh, M. (2015). Analisa Sistem Tenaga Listrik Di Minahasa Dalam Menghindari Padam Total (Electrical System Analysis in Minahasa in Avoiding Total Off). *Teknik Elektro Dan Komputer*, 26–32.
- Made, D., Sanjaya, R., Gede, C., Partha, I., & Arjana, I. G. D. (2020). Perencanaan Sistem Pembumian Grid-Rod, *7*(1), 69–75.
- Yuliadi, H., & Hardi, S. (2021). Analisis Perbandingan Tahanan Pentanahan Pada Elektroda Batang Dan Plat Untuk Perbaikan Nilai Resistansi Pembumian, *4*(1), 68–74.
- Sudiarta, I. W., Ta, I. K., & Sangka, I. G. N. (2016). Analisis Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Besarnya Nilai Tahanan Pentanahan. *Logic*, *16*(1), 35–39.
- Nasional, B. S. (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). *DirJen Ketenagalistrikan*, *2000*(Puil), 1–133.
- IEEE Substations Committee. (2000). *Standard 80-2000 Guide for Safety in AC substation gorunding. The institute of electrical and electonics engineers* (Vol. 56).
- Harahap, R., Nasution, R., & Ramadhani, S. (2021). Gedung Dan Di Gardu Induk Pada Rumah Sakit Grand Mitra Medika Medan, *6*(3).
- Studi, P., Elektro, T., & Induk, G. (2018). ANALISIS SISTEM PEMBUMIAN BERBENTUK JARING ( GIRD ) PADA GARDU INDUK 150 kV , DI JALAN SUNAN DERAJAT KECAMATAN LAMONGAN , KABUPATEN LAMONGAN, 1–19.
- Putra, R., Teknik, F., & Kuala, U. S. (2017). Dengan Metoda Wenner, (September), 13–14.
- Sudaryanto. (2016). Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pembumian Pada Tanah Basah, Tanah Berpasir dan Tanah Ladang. *Journal of Electrical Technology*, *1*(1), 1.
- Jovie Trias Agung N, Drs. Ir. Moch.Dhofir, MT. , Ir. Soemarwanto, M. T. (n.d.). PERANCANGAN SISTEM PENGETANAHAN PERALATAN DI GARDU INDUK PLTU IPP (INDEPENDENT POWER PRODUCER) KALTIM 3, 1–6.

Sunarhati, M. (2017). Perhitungan Tahanan Pentanahan Gardu di Griya Kaswari Palembang. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 30–42.

Saputra, A. R., Haddin, M., & Adhi, A. (2018). Pengaruh Konfigurasi Dan Kedalaman Penanaman Konduktor Terhadap Resistans Pentanahan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (Gitet) 500 Kv Ungaran, 11(1), 1–13.

Latiefa, R. F., Zakir, I., & Subekti, M. (n.d.). PENGARUH KELEMBABAN TANAH TERHADAP TAHANAN PENTANAHAN.

Hardiyanto Labulu, Ir. Fielman Lisi, MT., Maickel Tuegeh, ST., M. (2015). Analisa Sistem Tenaga Listrik Di Minahasa Dalam Menghindari Padam Total (Electrical System Analysis in Minahasa in Avoiding Total Off). *Teknik Elektro Dan Komputer*, 26–32.