

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM GROUNDING PADA

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

Diajukan Sebagai Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana

Program Strata-1 Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :

PANDU WIDODO

1607220002



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : PANDU WIDODO

NPM : 1607220002

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Perancangan Sistem Grounding Pada Pembangkit
Listrik Tenaga Bayu

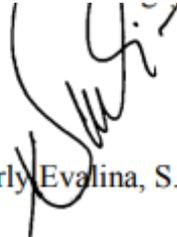
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

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, 06 Januari 2022

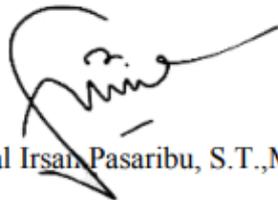
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



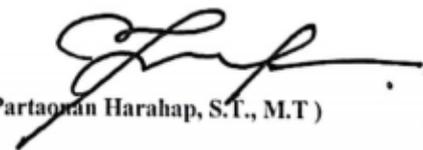
Noorly Evalina, S.T, M.T

Dosen Penguji I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



(Partoatm Harahap, S.T., M.T)



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : PANDU WIDODO

Tempat/Tanggal Lahir : Belawan / 24 Maret 1998

NPM : 1607220002

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Perancangan Sistem Grounding Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ”.

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 karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 Januari 2022

Saya yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular postage stamp. The stamp is orange and pink, featuring the number '1000' and the text 'METERAI TEMPEL' and '5A545AJX017204510'.

PANDU WIDODO

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan listrik, berkembang pula teknologi untuk sistem pengamanan dari listrik tersebut. Salah satu dari proteksi sistem kelistrikan adalah sistem pentanahan. Sistem pentanahan bertujuan untuk memasukkan peralatan dan pengguna peralatan listrik dari kemungkinan kebocoran arus pada saat penggunaan peralatan listrik. penelitian ini adalah untuk merancang sistem pentanahan yang memiliki resistansi yang baik untuk pengamanan sistem kelistrikan, serta mengimplementasikan sistem pentanahan dengan pentanahan vertikal pada proteksi sistem kelistrikan sehingga dapat menjamin baik sistem kelistrikan maupun peralatan listrik yang terhubung. Solusi yang mungkin dilakukan adalah dengan memberikan perlakuan khusus untuk memperbaiki nilai resistansi pentanahan.

Kata Kunci: Sistem Pentanahan, Elektroda, Nilai Resistansi

ABSTRACT

Along with the development of electricity, technology for the safety system of electricity has also developed. One of the electrical system protection is the grounding system. The grounding system aims to protect equipment and users of electrical equipment from possible leakage currents when using electrical equipment. This research is to design a grounding system that has good resistance for securing the electrical system, and to implement a grounding system with vertical grounding on the protection of the electrical system so that it can guarantee both the electrical system and connected electrical equipment. A possible solution is to provide special treatment to improve the value of the grounding resistance.

Keywords: Grounding System, Electrodes, Resistance Values

KATA PENGHANTAR



Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan Syukur Kehadirat ALLAH Subhana Wata'ala yang telah memberikan Rahmat dan Kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "Perancangan Sistem Grounding Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Sistem Pengaman Pada PLTS Pematang Johar" dengan lancar dan hasil yang baik.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, tentunya terdapat dukungan dari berbagai pihak yang mendukung, baik dari segi Moril dan Materil. Untuk itu pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhana Wata'ala yang dengan segala Rahmat dan Karunia-Nya serta kesempatan yang diberikan kepada Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ayahanda Eddy Iswanto dan Ibunda Iswardani yang sangat Penulis cintai dan sayangi, Telah berjuang dengan keras baik Doa dan Tindakan, memeras keringat dan air mata dalam mendukung Penulis menggapai impian dan menyelesaikan Tugas akhir ini,
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,S.Pd.,M.T dan Ibu Elvy Syahnur S.T.,M.T selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Ibunda Noorly Evalina S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan Kepada Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir serta selaku mentor yang memberikan segala solusi terbaik dalam menyelesaikan beberapa masalah.
6. Seluruh Staff Pengajar/Pegawai Program Studi Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh rekan-rekan penulis yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dan serta teman-teman kelas A1 pagi Teknik Elektro 2016.
8. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.Semoga Allah Yang Mahas Esa senantiasa membalas semua Kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat terkhusus bagi Penulis dan kepada pembaca umumnya. Aamiin Ya Rabbal ‘Alamin.

Medan, 06 Januari 2022

Penulis



PANDU WIDODO

1607220002

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACK	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Sistem Grounding	10
2.2.2 Sistem Pentanahan Pada Peralatan.....	12
2.2.3 Tujuan Pentanahan	13
2.2.4 Karakteristik Pentanahan	14
2.2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pembumian	17
2.2.5.1 Faktor Internal	18
2.2.5.2 Faktor Eksternal	20
2.2.6 Penghantar Tanah.....	25
2.2.7 Hukum Ohm.....	25
2.2.8 Elektroda Pentanahan.....	26
2.2.9 Pengukuran Tahanan Pentanahan	31
2.2.10 Pentanahan Dengan Elektroda Ditanam Vertikal	31
2.2.11 Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah.....	33
2.2.12 Uji Korelasi Dan Regresi	34
2.2.13 Uji Regresi Linier Sederhana	36
2.2.14 Hubungan Koefisien Korelasi Dan Regresi	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.2.1 Alat Penelitian	38
3.2.2 Bahan Penelitian.....	38
3.3 Resistivitas Tanah	39
3.4 Pemilihan Luas Penampang	40
3.5 Penentuan Tahanan Grid	41
3.6 Penentuan Arus Grid Maksimum.....	42
3.7 Bagan Alir Penelitian	42

3.8	Prosedur Penelitian.....	43
3.9	Pengumpulan Data	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Penambahan Garam dengan Variasi Kedalaman	45
4.2	Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Setelah Penambahan Garam dengan Variasi Kedalaman	46
4.3	Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum dan Sesudah Penambahan Garam dengan Variasi Kedalaman	48
4.4	Analisis Pemilihan Luas Penampang	49
4.5	Analisis Penentuan Tahanan Grid	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perubahan Tahanan Jenis Tanah.....	23
Gambar 2.2. Pengaruh Temperatur Terhadap Tahanan Jenis Tanah.....	24
Gambar 2.3. Elektroda Batang	27
Gambar 2.4. Elektroda Pita	29
Gambar 2.5. Elektroda Plat Tembaga.....	30
Gambar 2.6. Penentuan Satu Batang Elektroda Ditanam Vertikal.....	31
Gambar 2.7. Satu Batang yang Ditanam dengan Kedalaman Z dari Ujung Atasnya.....	32
Gambar 2.8. Rangkaian Pengukuran Tahanan Jenis Tanah dengan Metode Tiga Titik	33
Gambar 3.1. Pengukuran Tahanan Tanah Metode 4 Titik	39
Gambar 3.2. Pentanahan Grid Rod.....	40
Gambar 3.3. Bagan Alir.....	42
Gambar 4.1. Metode Tiga Titik.....	45
Gambar 4.2. Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Penambahan Garam	46
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Setelah Penambahan Garam.....	47
Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum dan Sesudah Penambahan Garam	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Luas Penampang Minimum Elektroda Pembumian.....	19
Tabel 2.2. Ukuran Penampang Sistem Pembumian	19
Tabel 2.3. Nilai Tipikal Tahanan Jenis Tanah.....	21
Tabel 2.4. Perbandingan Antara Aluminium dan Tembaga	25
Tabel 3.1. Daftar Alat.....	38
Tabel 3.2. Daftar Bahan.....	38
Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Penambahan Garam	45
Tabel 4.2. Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sesudah Penambahan Garam	46
Tabel 4.3. Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Dan Sesudah Penambahan Garam	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa sekarang ini kebutuhan akan tenaga listrik sangatlah tinggi. Hampir seluruh aktivitas masyarakat memerlukan tenaga listrik. Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem kelistrikan, peralatan, dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Sehingga sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik [1]

Pengoperasian yang aman dari suatu sistem pembangkit sangatlah penting demi keberlangsungan sistem tersebut dan terjaganya keamanan personel yang berada di kawasan pembangkit. Operasi yang aman ini perlu didukung oleh sistem pentanahan yang dirancang dan dipasang untuk menjamin kinerja yang andal dan keberlangsungan dari sistem pembangkit. Sistem pentanahan berfungsi sebagai pengamanan listrik dari terjadinya lonjakan listrik pada sistem dengan menarik arus gangguan ke dalam tanah pada saat terjadinya gangguan arus lebih pada sistem sehingga peralatan-peralatan listrik yang digunakan tidak terganggu dan personel yang berada disekitar kawasan tersebut dapat terjamin keselamatannya[2]

Tahanan pentanahan adalah hambatan yang dialami oleh arus ketika mengalir ke tanah. Arus ini mengalir menuju tanah melalui elektroda pbumian yang ditanam atau ditancapkan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu. Sedangkan menurut PUIL 2000 mendefinisikan bahwa tahanan pbumian

sebagai jumlah tahanan elektroda pembumian dan tahanan penghantar pembumian[3]

Desakan untuk meninggalkan minyak bumi sebagai sumber pengadaan energi nasional saat ini terus digulirkan oleh berbagai pihak, termasuk dari pemerintah sendiri. Langkah tersebut perlu dilakukan agar Indonesia keluar dari krisis energi yang berkelanjutan. Eksploitasi energi angin ini sangat baik mengingat angin tidak akan pernah habis dan berkurang[4]

Pentanahan peralatan adalah penghubungan bagian-bagian peralatan yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

Dalam sistem pentanahan, semakin kecil nilai resistansi pentanahan maka kemampuan mengalirkan arus ke tanah semakin besar sehingga arus gangguan tidak mengalir dan merusak peralatan, ini berarti semakin baik sistem pentanahan tersebut.

Dalam sistem grounding, kondisi tanah merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi nilai resistansi. Semakin rendah nilai resistansi grounding pada suatu instalasi listrik, maka semakin handal kemampuan instalasi tersebut[5]

Kualitas sistem grounding dilihat dari resistansi yang terukur. Nilai resistansi yang bagus adalah 0 s/d 5 ohm. Dengan kata lain apabila hasil ukur menunjukkan >5 ohm maka resistansi pentanahan tersebut tidak sesuai dengan standarisasi instalasi listrik yang berlaku. Nilai 5 ohm merupakan batas tertinggi resistansi pembumian yang masih bisa ditoleransi. Hal tersebut diatur dalam

Peraturan Instalasi Listrik (PUIL) 2000[5]

Pada saat ini pemasangan pentanahan pada titik netral dari sistem tenaga merupakan suatu keharusan, karena sistem ini sudah besar dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pentanahan titik netral ini dilakukan pada alternator pembangkit listrik dan transformator daya gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas permasalahan yang akan di bahas adalah:

1. Memahami sistem grounding pada PLTB.
2. Bagaimana merancang kebutuhan sistem grounding pada PLTB.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memahami sistem grounding pada PLTB.
2. Untuk mengetahui perancangan kebutuhan sistem grounding pada PLTB.

1.4 Ruang Lingkup

Karena luasnya pembahasan ini maka penulis akan membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Mengetahui sistem grounding yang tepat untuk digunakan pada PLTB
2. Membandingkan sistem pbumian sebelum menambahkan garam pada daerah kering dengan elektroda batang

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Memahami tentang pbumian dengan media penambahan garam
2. Untuk menambah wawasan dan pengalaman langsung tentang sistem

pembumian menggunakan penambahan garam

3. Sebagai pijakan dan referensi pada penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan sistem perancangan grounding

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan beberapa sub-bab yang terdapat dalam tiap bab yaitu sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang yang mendasari penulisan tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah yang di bahas pada tugas akhir, manfaat penulisan, metode penulian dan sistematika penulisan.

BAB 2 . TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas tentang dasar-dasar teori mengenai penggunaan kapasitas daya serta teori lainnya yang mendukung dari pembahasan masalah yang terdapat pada bab selanjutnya.

BAB 3. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang metode yang digunakan untuk tugas akhir, mulai dari persiapan hingga mendapat data-data yang digunakan.

BAB 4 . ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai besar tahanan tanah, serta penambahan garam pada tanah kering

BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran yang dapat digunakan sebagai tindak lanjut dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Dalam penelitian (Maharani Putri, 2020) untuk memenuhi kebutuhan energy listrik yang terus meningkat diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada dan dapat diperbaharui sebagai solusi dari habisnya bahan bakar (Energi Terbarukan). Salah satunya pembuatan turbin angin, yang nantinya akan bisa membantu menghasilkan tenaga listrik dan bisa mencukupi kebutuhan listrik masyarakat. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu(PLTB) merupakan suatu pembangkit energi terbarukan yang dapat mengurangi dampak lingkungan dan sosial yang ditimbulkan oleh pembangkit listrik tenaga fosil. PLTB membutuhkan sistem proteksi pentanahan yang merupakan suatu proteksi terhadap keselamatan personel dan perangkat yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga dari lonjakan listrik. Tujuan studi ini untuk mengetahui besaran energi yang dihasilkan oleh pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan sistem pentanahan turbin angin *horizontal dan vertical*[4].

Kemudian (Muhammad Adam, 2019) secara nasional kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, akan tetapi laju kebutuhan energi yang sangat cepat tersebut tidak di imbangi dengan produksi riil sector energi. Saat ini energi nasional masih terfokus kepada energi fosil yaitu batubara, minyak bumi, dan gas bumi. Dengan meningkatnya penggunaan energi tersebut, terutama minyak bumi, maka di masa yang akan datang jumlahnya pun semakin terbatas, cadangan energi fosil akan berkurang dan tidak akan dapat di andalkan untuk mencukupi kebutuhan energi, karena sifatnya

tidak terbarukan menuntut untuk segera mengeksplorasi sumber energi terbarukan. Dari hasil penelitian yang dilakukan selama mulai pukul 09.00 – 19.00 Wib di dapat hasil pada tegangan rata-rata sebesar 2,56 Volt. Dan daya angin sebesar = 27,6 Watt sedangkan pada daya generator sebesar = 136,3 Watt.[6]

Adapun penelitian dari (Suyamto, 2015) penangkal petir yang dihubungkan dengan tahanan pentanah merupakan peralatan perlindungan gedung terhadap bahaya sambaran petir. Sambaran petir pada gedung dapat mengakibatkan kerusakan gedung tersebut dan merusakkan semua peralatan di dalamnya. Kebutuhan terhadap penangkal petir suatu bangunan diatur dalam PUIPP (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). Yang dinyatakan dengan faktor resiko (FR). Besarnya FR merupakan jumlahan dari nilai indeks 5 (lima) komponen dari gedung yaitu fungsi bangunan, knstruksi, tinggi dan situasi bangunan serta hari guruh tahunan di tempat tersebut. Pada saat ini Gedung Siklotron telah mengalami perubahan fungsi dari bengkel mekanik menjadi menjadi gedung untuk siklotron sehingga kriteria keselamatan juga berubah menjadi bangunan vital dengan tahanan penangkal petir harus $< 1 \text{ Ohm}$. Dari pengukuran terhadap tahanan pentanahan Rp yang ada pada saat ini diketahui besarnya rata-rata 1,26 Ohm sehingga diperlukan diperlukan instalasi tambahan pentanahan baru untuk menurunkan menjadi $< 1 \text{ Ohm}$. Untuk memenuhi hal tersebut dan dengan mempertimbangkan biaya maupun kemudahan dalam instalasinya direncanakan tambahan sebuah pentanahan menggunakan elektroda batang pejal dari bahan tembaga (Cu), diameter 16 mm, panjang 4 m, ditanam sampai air tanah sedalam 12 m, dan ditimbun dengan tanah liat berkadar air sekitar 30 %.[7]

Pada penelitian (Hermansyah, 2019) bertujuan untuk melihat tingkat kelayakan sistem *grounding* instalasi listrik yang ada pada daerah perumahan yang berlokasi di pesisir pantai Kabupaten Bantaeng. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan mengukur langsung beberapa titik *grounding* instalasi listrik yang ada di pesisir pantai Kabupaten Bantaeng. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata resistansi *grounding* yang terpasang pada perumahan masyarakat yang berada di sekitar pantai memiliki nilai resistansi pembumian yang tidak standar yakni tidak sesuai standar dengan standarisasi pembumian yang diatur dalam PUIL 2000. Hal tersebut terlihat dari hasil pengukuran yang diperoleh. Dari tujuh lokasi yang diteliti enam diantaranya memiliki resistansi pentanahan yang melebihi nilai ambang batas yang diijinkan yaitu 5 Ohm.[5]

Adapun penelitian dari (Lukman Aditya, 2017) sistem pentanahan merupakan suatu tindakan pengamanan pada instalasi listrik dimana rangkaianannya ditanamkan dengan cara mengalirkan arus yang lebih atau arus gangguan ke tanah, pentanahan atau *grounding* menggunakan elektroda pentanahan yang ditanam dalam tanah. Salah satu faktor untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang kecil yaitu ada pada letak dan kedalaman elektroda yang akan ditanam, untuk mengetahui nilai pentanahan tersebut maka diperlukan pengukuran. Sedangkan salah satu unsur yang perlu diperhatikan dalam pengukuran suatu sistem pentanahan adalah kondisi tanah yang akan dipasang sistem pentanahan. Hasil dari analisa bahwa semakin dalam penanaman elektroda, maka akan semakin kecil tahanannya, begitu pula dengan semakin jauh jarak penanaman elektroda maka akan semakin kecil pula tahanannya. Pentanahan

yang baik untuk tegangan tinggi harus benar-benar di bawah satu (1 ohm) tahanannya, agar ketika terjadi arus lebih maka *grounding* akan bekerja dengan baik. Karakteristik tanah yang memiliki kadar garam yang tinggi akan memberikan hasil tahanan yang baik. Untuk mencari atau memperoleh tahanan yang baik diusahakan mencari tanah yang benar-benar lembab dan basah.[8]

Pada penelitian (Jamaaluddin, dkk, 2017) dengan melakukan interkoneksi yang baik pada sistem Penangkap Petir (Lightning System). Sistem pentanahan alat-alat elektronika di dalam gedung dan pentanahan Sistem Tenaga Listrik, maka akan di dapatkan pemakaian dan pemanfaatan Sistem Tenaga Listrik yang handal dan aman. Dengan melakukan pentanahan Sistem Tenaga Listrik yang akan diperoleh nilai tahanan pentanahan tenaga listrik dengan nilai di bawah 1Ω , dan ini akan memberikan dampak keamanan manusia dari efek tegangan langkah yang muncul akibat sambaran petir yang diketanahkan. Pada hasil perhitungan tahanan pentanahan dengan mempergunakan Rumus *Dwight*, pada kedalaman elektroda pentanahan sedalam 100 cm adalah sebesar $0,72 \Omega$. Sudah memenuhi persyaratan tahanan pentanahan yang baik.

Pada penelitian (Ali Faisal Alwini, dkk, 2019) berdasarkan hasil perhitungan, ukuran luas penampang konduktor yang ditanam adalah sebesar $40,14 \text{ mm}^2$, akan tetapi karena dipasaran tidak terdapat konduktor dengan ukuran tersebut maka digunakan konduktor dengan luas penampang yang paling mendekati yaitu yang berukuran 50 mm^2 . Nilai tahanan tanah hasil perhitungan manual adalah $0,87 \Omega$ dan $0,97 \Omega$, walaupun berbeda dengan hasil simulasi sebesar $0,8 \Omega$ namun nilai ini masih sesuai dengan standar IEEE 80-2000 yang mensyaratkan nilai batas tahanan pentanahan (R^g) suatu sistem pentanahan harus

dibawah 1 Ω . Berdasarkan nilai tahanan pentanahan yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa rancangan sistem pentanahan sudah baik sehingga dapat digunakan.[2]

Pada penelitian (Lukman Aditya, 2017) Perangkat *Grounding* ataupun penangkal petir gagal berfungsi sehingga mengakibatkan kerusakan pada beberapa perangkat maupun komponen elektronik, analisa dan pengujian pada sistem *grounding* dan penangkal petir gedung tersebut dilaksanakan guna mengetahui letak ketidakstabilan atau kerusakan pada sistem ini. Dengan menggunakan metode pengujian visual dan pengujian resistansi pada *grounding* penangkal petir diketahui bahwa resistansi menunjukkan nilai diatas 5 Ohm dimana sesuai standar Disnaker maupun PUIL 2011 hanya mengijinkan nilai maksimal 5 Ohm. Setelah dilakukan pengujian terhadap sistem ini maka didapatkan hasil dimana pengukuran pada *earth resistance tester* sebanyak 3 (tiga) kali menunjukkan angka rata-rata sebesar 7,33 Ω yaitu pada instalasi *grounding* panel. Maka dari itu harus dilaksanakan perbaikan agar sistem tersebut dapat mendapatkan tahanan pentanahan yang sesuai standard an dapat berfungsi kembali.[6]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Grounding

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. Dalam instalasi

gedung selain grounding tentu ada proteksi lain yang sangat penting yang berhubungan dengan grounding yaitu penangkal petir. Penangkal petir adalah sistem pengaman yang bisa digunakan untuk mencegah kerusakan jaringan dan perlengkapan listrik akibat sambaran petir.

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus listrik kedalam tanah melalui suatu elektroda tanah yang ditanam di dalam tanah jika terjadi suatu gangguan, disamping itu berfungsi sebagai pengaman manusia dari listrik. Arus tanah. Bila perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil yang sedang bekerja. Perbedaan ini akan dirasakan disekitar peralatan.

Sistem *grounding* merupakan suatu sistem kelistrikan yang berfungsi untuk menyalurkan arus listrik ke tana. Penyeluran arus listrik ke tanah berfungsi PUIL 2000 disebutkan bahwa ada dua resiko yang paling berbahaya pada instalasi listrik yaitu (a). Arus Kejut Listrik, dan (b). Suhu tinggi yang berpotensi untuk menibulkan kebakaran. Kedua resiko tersebut bisa dicegah apabila instalasi listrik memiliki sistem *grounding* yang baik dan memenuhi stadarisasi yang berlaku.

Sistem pentanahan pada sistem tenaga listrik maupun sistem instalasi listrik sebelum abad ke 19 tidak diperhatikan, waktu itu kapasitas arus gangguan satu phasa ke tanah dimana arus gangguan tersebut tidak lebih dari 5 Ampere, maka busur listrik yang ditimbulkan dari gangguan tersebut akan pada dengan sendirinya.

Perkembangan beban listrik terus meningklat setiap saat mengakibatkan sistem tenaga listrik berkembang menyesuaikan kebutuhan baik kapasitas,

panjang jaringan maupun tegangannya, sehingga arus gangguan yang mengalir ke tanah juga lebih besar dan busur listrik yang ditimbulkan akibat gangguan tersebut tidak dapat padam dengan sendirinya. Hal ini dapat menimbulkan tegangan lebih transien yang sangat tinggi dan dapat membahayakan sistem, untuk itu diperlukan rancangan suatu sistem yang dapat mengatasi gangguan tersebut yaitu dengan *grounding system* atau sistem pentanahan.

2.2.2 Sistem Pentanahan Pada Peralatan

Sistem pentanahan pada peralatan yaitu perhubungan antara bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Sistem pentanahan pada peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem *grid* (horizontal) dan sistem *rod* (vertikal). Sistem pentanahan *grid* adalah menanamkan batang-batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem *rod* ialah menanamkan batang-batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, hal ini fungsinya hanya mengurangi (memperkecil) tahanan pentanahan. Jadi yang membedakan sistem ini adalah pentanahan ini hanya dengan cara penanaman elektrodanya. Adapun penjelasan dari sistem *grid* atau sistem *rod* adalah sebagai berikut.

1. Sistem Grid

Pada sistem ini batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang yang terhubung satu sama lain. Dengan cara ini bila jumlah konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau mempunyai harga tahanan yang kecil untuk luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien atau mahal. Pada sistem ini banyak konduktor akan tidak sebanding dengan harga tahanan karena fungsi dari konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus ke dalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari elektroda-elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

2. Sistem Rod

Pada sistem ini untuk memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah batang konduktor dapat diperbanyak penanamannya. Apabila terjadi arus gangguan ke tanah maka arus ini akan mengakibatkan naiknya gradient tegangan permukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul tersebut sebanding dengan tahanan pentanahan.

2.2.3 Tujuan Pentanahan

Tujuan pertama dari pentanahan, yaitu untuk mengatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan yang baik sangat dibutuhkan. Gunanya adalah untuk memperoleh

potensial yang merata (*Uniform*) dalam semua bagian peralatan dan juga menjaga agar manusia yang berada di daerah tersebut mempunyai potensial yang berada di daerah tersebut mempunyai potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.

Dengan tercapainya potensial yang hamper merata pada semua titik dalam sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia saat terjadi hubung singkat ke tanah menjadi sangat kecil.

Sedangkan tujuan kedua dari pentanahan ini adalah untuk memperoleh impedansi yang kecil (rendah). Kecelakaan pada personil/manusia dapat timbul pada saat terjadi hubung singkat ke tanah. Jadi, bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya.

Secara umum tujuan pentanahan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

2.2.4 Karakteristik Pentanahan

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan. Sesuai dengan tujuan pentanahan bahwa arus gangguan arus secepatnya terdistribusi secara merata ke dalam tanah, maka penyelidikan tentang

karakteristik tanah sehubungan dengan pengukuran tahanan dan tahanan jenis tanah merupakan faktor penting yang sangat mempengaruhi besarnya tahanan pentanahan. Pada kenyataannya tahanan jenis tanah hagnya bermacam-macam, tergantung pada komposisi tanahnya dan faktor lain.

Untuk memperoleh harga tahanan jenis tanah yang akurat diperlukan pengukuran secara langsung pada lokasi pembangunan karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sederhana yang diperkirakan. Pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai bebrapa jenis tanah yang mempunyai tahan jenis yang berbeda-beda (*non-uniform*). Pada pemasangan sistem pentanahan dalam suatu lokasi pembangunan, tidak jarang peralatan pentanahan tersebut ditanam pada dua atau lebih lapisan tanah yang berbeda yang berarti bahwa tahanan jenis tanah di tempat itu tidak sama. Apabila lapisan tanah pertama dari sistem pentanahan mempunyai tahanan jenis tanah sebesar P_1 sedangkan lapisan bawahnya dengan tahanan jenisnya adalah P_2 maka diperoleh faktor refleksi (K) seperti pada persamaan:

$$K = \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

K = Faktor refleksi

P = Jenis tanah

Dari persamaan di atas memungkinkan faktor relfeksi K berharga positif atau negatif.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu:

1. Temperatur
2. Gradien tegangan
3. Besarnya arus
4. Kandungan air
5. Kandungan bahan kimia

Kadangkala pada proses penanaman elektroda pentanahan memungkinkan diperoleh data kelembaban dan temperature tanah yang bervariasi, untuk hal seperti ini harga tahanan jenis tanah harus diambil dari keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Berdasarkan harga inilah dibuat suatu perancangan pengentahanan

Nilai tahanan jenis tanah (r) sangat tergantung pada tahanan tanah (R) dan jarak antara elektroda-elektroda yang digunakan pada waktu pengukuran. Pengukuran ini perlu dilakukan pada beberapa tempat yang berbeda guna memperoleh nilai reratanya. Nilai tahanan jenis dari dua lapis tanah dimodelkan sebagai berikut:

$$Rho_{av} = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^w \frac{K^n}{d} \left[\frac{2a}{\sqrt{(1+(2nH/a)^2)}} - \frac{a}{\sqrt{(1+(2nH/2a)^2)}} \right] \right\} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

Rho = tahanan jenis rata-rata dua lapis tanah (Ohm-m)

ρ_1 = tahanan jenis tanah lapisan pertama (Ohm-m)

a = jarak antara elektroda (meter)

h = ketebalan laisan tanah bagian pertama (meter)

K = koefisien refleksi

d = diameter elektroda (meter)

n = jumlah pengamatan (sampel) tiap lapisan tanah yang diamati

Perbedaan tahanan jenis tanah akibat iklim biasanya terbatas sampai kedalaman beberapa meter dari permukaan tanah, selanjutnya pada bagian yang lebih dalam praktis akan konstan.

2.2.5 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pbumian

Tahanan pbumian suatu elektroda tergantung pada tiga faktor yaitu:

1. Tahanan elektroda pbumian beserta sambungan pengelasan pada elektroda itu sendiri.
2. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan penghantar (BC) yang menghubungkan peralatan yang ditanahkan.
4. Tahanan dari massa tanah disekitar elektroda pbumian.

Dari ketiga komponen tersebut, tahanan pbumian merupakan besaran yang paling besar pengaruhnya pada resistansi pbumian dibandingkan tahanan elektroda.

Namun demikian seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa nilai tahanan penelitian diharapkan $\leq 5 \Omega$ atau sekecil mungkin. Namun dalam hasil penelitian di lapangan tidak selalu didapatkan nilai tahanan pbumian yang diharapkan karena banyak faktor-faktor yang mempengaruhi resistansi pbumian.

Nilai tahanan suatu sistem pbumian diharapkan serendah mungkin. Elektroda pbumian yang ditanamkan ke dalam tanah diharapkan langsung memperoleh tahanan yang rendah, namun hal itu sangat jarang diperoleh. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai tahanan pbumian.

2.2.5.1 Faktor Internal

1. Bentuk elektroda. Ada beberapa macam bentuk dari elektroda itu sendiri yang banyak digunakan, seperti jenis batang dan plat.

2. Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi peletakannya 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. Prinsip dasar untuk memperoleh resistansi pembumian yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin, sesuai dengan rumus:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

R = resistansi pembumian (Ω)

ρ = resistansi jenis tanah (Ωm)

L = panjang lintasan pada arus tanah (m)

A = luas penampang lintasan arus pada tanah (m^2)

Ukuran elektroda pembumian akan menentukan besar tahanan pembumian. Berikut ini adalah tabel yang membuat ukuran-ukuran elektroda pembumian. Tabel ini dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang.

Tabel 2.1 Luas penampang minimum elektroda pembedaan

Jenis Elektroda	Beban		
	Beban Berlapis Seng	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Pita	Pita baja 100 mm ² , tebal 3 mm ² , Hantaran pilin 95 mm ²	50mm ²	Pita tembaga 50 mm ² , tebal 2 mm hantaran pilin, 35mm ²
Elektroda Batang	Pipa baja 1'' Baja profil L 65x65x7, U 6 ½ T6, X 50x3	Baja 15 mm dilapisi tembaga 2,5 mm	
Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm, luas 0,5-1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm, luas 0,5- 1 m ²

(Sumber : PUIL 2000 3.18.4.2 hal 82)

Tabel 2.2 Ukuran penampang sistem pembedaan

Luas Penampang Fasa Instalasi S (mm ²)	Luas Penampang Minimum Penghantar Yang Berkaitan S (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

(Sumber : PUIL 2000 3.16.1.1 hal 77)

3. Jumlah atau konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan pembedaan yang diharapkan dan apabila tidak memenuhi standart yang ditentukan dengan satu elektroda, bisa digunakan metode paralel dengan cara menambah lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.

PUIL 2000-3.19.1.4 : apabila hasil pengukuran belum mencapai 5Ω , maka elektroda batang ditambah, dengan jarak dua kali panjang elektroda.

4. Kedalaman pemancangan atau penanaman di dalam tanah. Untuk kedalaman pemancangan elektroda pembedaan ini tergantung dari pada jenis dan sifat-sifat tanah. Ada dua kondisi yaitu ada yang efektif ditanam secara dangkal untuk jenis tanah yang kering dan berbatu, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal untuk jenis tanah seperti tanah rawa, tanah liat dll.

2.2.5.2 Faktor Eksternal

a. Sifat geologi (karakteristik) tanah.

Tahanan jenis tanah (ohm-meter) merupakan nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan, dalam ohm, antara permukaan yang berlawanan dari suatu kubus meter kubik.

Pentingnya tahanan jenis tanah ini untuk diketahui karena tahanan jenis tanah mempunyai beberapa manfaat yaitu:

1. Beberapa data yang diperoleh dari geofisika dibawah permukaan tanah dapat membantu untuk identifikasi lokasi pertambangan, kedalaman batuan dan kejadian geologi lainnya.
2. Tahanan jenis tanah mempunyai pengaruh langsung terhadap korosi pipa-pipa bawah tanah. Apabila tahanan jenis tanah semakin meningkat maka aktivitas korosi semakin meningkat pula.
3. Tahanan jenis lapisan tanah mempunyai pengaruh langsung dalam sistem pembedaan. Ketika merencanakan sistem pembedaan, sebaiknya dicari lokasi yang mempunyai tahanan jenis tanah yang terkecil agar tercapai

instalasi pembumian yang paling ekonomis.

Faktor keseimbangan antara tahanan pembumian dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang dipresentasikan dengan p . Harga tahanan jenis tanah dalam kedalaman tertentu tergantung pada beberapa faktor yaitu:

1. Jenis tanah : liat, berpasir, berbatu dan lain-lain
2. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform
3. Komposisi kimia dari larutan garam dalam kandungan air
4. Kelembaban tanah
5. Temperatur
6. Kepadatan tanah

Berdasarkan Pernyataan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL) tahanan jenis tanah dan berbagi jenis tanah dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Nilai Tipikal Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tanah Rawa	Tanah liat dan tanah ladang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan kerikil kering	Tanah berbatu
Resistansi Jenis (Ω)	30	100	200	500	1000	3000

(Sumber : PUIL 2000 3.18.3.1 HAL 80)

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pembumian. Sebelum melakukan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah dimana akan dipasang elektroda pembumian untuk mengetahui resistansi jenis pembumian. Apabila perlu dilakukan pengukuran resistansi tanah namun perlu diketahui bahwa sifat-sifat

tanah bisa bisa jadi berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain. Hal ini harus betul-betul dipertibangkan dalam perancangan sistem pbumian. Bila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi kapan resistansi jenis pbumian tetap memenuhi syarat pada musim kapan resistansi jenis pbumian tinggi, misalnya ketika musim kemarau.

Rumus tahanan jenis tanah:

$$\rho = R \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

P = resistansi jenis tanah (Ωm)

R = resistansi pbumian (Ω)

L = panjang elektroda pbumian (m)

a = jari- jari batang elektroda pbumian (m)

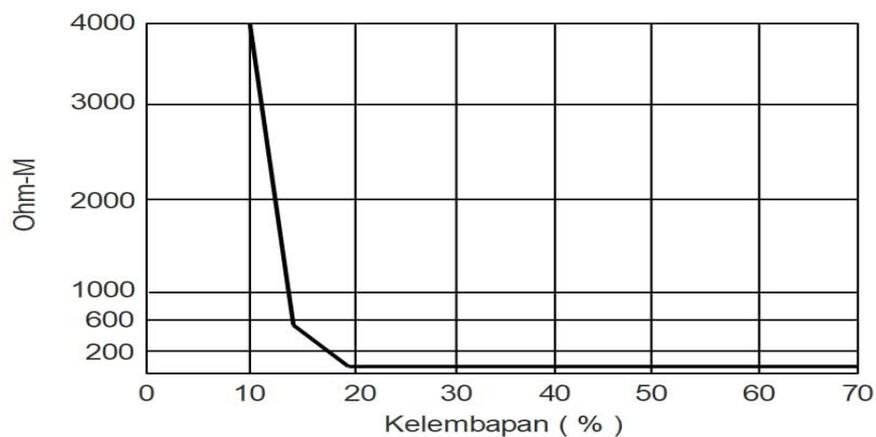
b. Komposisi zat kimia dan tanah

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Di daerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut bersama air hujan. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pbumian yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam larutan garam masih terdapat.

c. Kandungan air tanah

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pbumian dapat dilakukan dengan menanam elektroda pbumian sampai mencapai kedalaman dan temperatur bervariasi di sekitar elektroda pbumian

sehingga harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu pada keadaan tanah kering dan dingin. Tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah jika konduktivitas tanah semakin besar maka tahanan jenis semakin kecil. 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 sampai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali. Tahanan pembumian tidaklah konstan karena terjadi perubahan musim dan kadar air dalam tanah. Kelembaban tanah atau besar kecilnya konsentrasi air dalam tanah sangat mempengaruhi harga tahanan tanah. Makin lembab atau makin banyak mengandung air makin kecil harga tahanan tanahnya. Juga telah kita ketahui bahwa air dibawah 10% mempunyai tahanan jenis tanah yang besar sekali. Untuk itu dapat dilihat gambar dibawah ini.

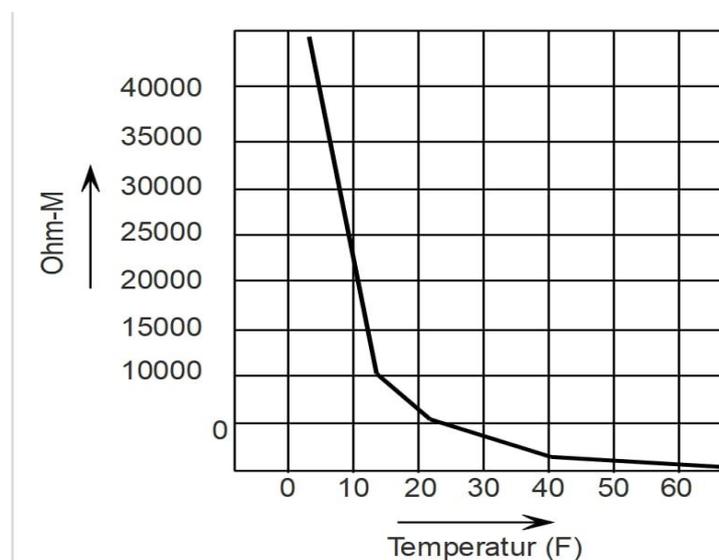


Gambar 2.1 Perubahan Tahanan Jenis Tanah

Atas dasar prinsip diatas, maka harus kita usahakan suatu elektroda pembedaan ditanam sampai air tanah. Dengan menanam elektroda tanah dibawah permukaan air tanah, akan menjamin kita harga tahanan pembedaan tidak banyak bervariasi terhadap cuaca.

d. Temperatur tanah

Temperatur tanah disekitar elektroda pembedaan juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperature di bawah titik beku air (0°C). Di bawah harga ini penurunan temperature yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat. Gejala di atas dapat dijelaskan sebagai berikut; pada temperature di bawah titik beku air (0°C), air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah rendah sekali. Bila temperature tanah naik, air akan berubah menjadi fase cair, molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau tahanan jenis tanah turun.



Gambar 2.2 Pengaruh temperature terhadap tahanan jenis tanah

2.2.6 Penghantar Tanah

Fungsi penghantar untuk menyalurkan energi dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar yang digunakan dalam kelistrikan adalah berisolasi dapat berupa kawat berisolasi atau kabel. Ada juga penghantar tanpa isolasi atau BC. Bahan BC (*Bare Conductor*), dan ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) bahan penghantar yang kebanyakan digunakan adalah aluminium dan tembaga. Dalam hal ini bahan penghantar yang digunakan untuk pentanahan sering menggunakan penghantar dari bahan tembaga atau BC.

Tabel 2.1 Perbandingan antara Aluminium dan Tembaga.

Sifat	Aluminium	Tembaga
Massa Jenis	2,7 g / cm ³	8,96 g / cm ³
Kekuatan Tarik	20-30 kg / cm ²	40 kg / cm ²
Daya Tahan Jenis	0,0175 'Ω-m / mm ²	0,029 'Ω-m / mm ²
Daya Hantar Jenis	57 mm ² / 'Ω-m	35 m ² / 'Ω-m

2.2.7 Hukum Ohm

Tegangan volt ialah tegangan yang dapat mengalirkan arus ampere melalui tahanan ohm. Hasil penyelidikan George Simon Ohm bahwa jika tegangan dinaikkan 2 kali tahanan tetap, maka kuat arusnya juga akan naik 2 kali. Jika tegangannya tetap tetapi tahanannya diperbesar 2 kali maka arus yang mengalir akan menjadi setengah dan jika tahanannya diperkecil menjadi setengahnya, maka arusnya naik menjadi 2 kali. Arus dalam rangkaian akan naik apabila tahanannya turun, dan arus turun jika tahanannya naik. Untuk tegangan DC yaitu:

$$E = I.R \dots\dots\dots(2.5)$$

$$I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$R = \frac{E}{I} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

E = Tegangan listrik dalam satuan (V)

I = Kuat arus dalam satuan (A)

R = Tahanan listrik dalam satuan (Ω)

2.2.8 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan, yaitu penghantar yang ditanam ke dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Elektroda pentanahan ini berfungsi untuk mempertahankan tegangan tanah pada konduktor yang dihubungkan padanya dan untuk menyerap ke tanah arus yang dihantarkan ke elektroda tersebut. Adanya kontak langsung tersebut diatas dengan tujuan agar diperoleh perlakuan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ke tanah.

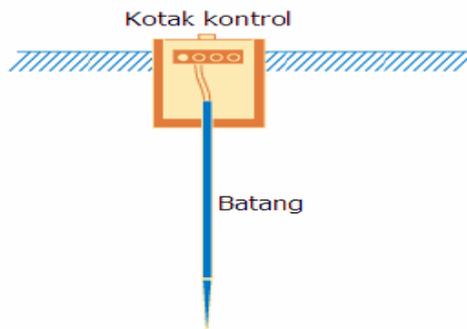
Elektroda pentanahan dapat berupa sistem perpipaan air minum yang telah ada menggunakan pipa-pipa logam. Selain itu juga digunakan elektroda-elektroda buatan yang berupa batang, pipa, plat atau penghantar yang ditanamkan ke dalam tanah, dan logam yang tidak dapat berkarat. Elektroda yang digunakan untuk pentanahan harus memenuhi beberapa persyaratan, antara lain:

1. Memiliki daya hantar jenis yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial local yang berbahaya bagi peralatan maupun keselamatan jiwa disekitar pentanahan.
2. Memiliki kekuatan mekanis yang cukup tinggi.
3. Tahan terhadap peledakan dari keburukan sambungan listrik.
4. Tahan terhadap korosi.

Pada umumnya tembaga digunakan sebagai bahan untuk konduktor (elektroda) pentanahan, karena tembaga dikatakan mempunyai sifat yang memenuhi syarat diatas. Tahanan tanah disekitar elektroda tergantung pada tahanan jenis tanah.

a. Elektroda Batang

Elektroda batang ialah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang ditanamkan ke dalam tanah. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal ditanamkan ke dalam tanah. Biasanya pada bahan logam tersebut dilapisi dengan lapisan tembaga. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkangkannya ke dalam tanah. Di samping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas, bentuk elektroda batang seperti di bawah ini:



Gambar 2.2 Elektroda Batang

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda Batang-Tunggal :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4LR}{A_R} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

R_G = Tahanan pentanahan (Ohm)

R_R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L_R = Panjang elektroda (meter)

A_R = Diameter elektroda (meter)

Elektroda batang ini terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertikal di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga, stainless steel atau galvanized steel. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi. Pemasangan elektroda dilakukan dengan cara dimasukkan tegak lurus ke dalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan tahanan pentanahan yang diperlukan.

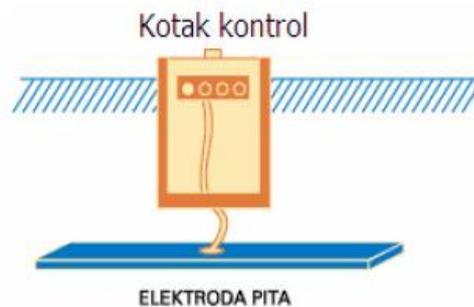
Pentanahan dengan menggunakan elektroda batang yang ditanam biasanya dibuat dari pipa atau besi baja yang dilapisi dengan anti karat. Pentanahan ini banyak digunakan karena mempunyai keuntungan seperti:

1. Harga dari elektrodanya murah
2. Pemasangannya mudah, cukup dipancangkan ke dalam tanah yang dibuat lubang terlebih dahulu.
3. Bila harga tanahnya belum memenuhi persyaratan maka cukup dengan menambah satu atau lebih elektrodanya yang dihubungkan secara paralel.

b. 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 (horizontal) dan dangkal. Jenis elektroda pita pita seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Elektroda Pita

W_p = Lebar pelat (m)
 T_p = Tebal pelat (m)

Rumus perhitungan tahanan pentanahan :

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[\ln \left(\frac{2L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

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)

Elektroda jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BBC yang di tanam secara horisontal sedalam $\pm 2 \text{ feet}$. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daerah-daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.

c. 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.



Gambar 2.4 Elektroda Plat Tembaga

Rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal:

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln \left(\frac{8W_P}{0,5W_P} + T_P \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

R_p = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L_p = Panjang pelat (m)

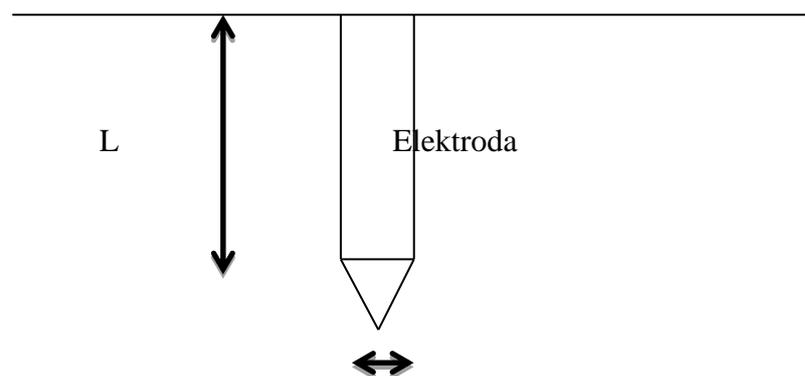
Bentuk elektroda pelat biasanya empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam di dalam tanah. Cara penanaman biasanya biasanya secara *vertical*, sebab dengan menanam secara *horizontal* hasilnya tidak berbeda jauh dengan *vertical*. Penanaman secara vertikal adalah lebih praktis dan ekonomis.

2.2.9 Pengukuran Tahanan Pentanahan

Untuk mengetahui apakah suatu tahanan pentanahan sesuai dengan standar, maka diperlukan pengukuran tahanan pentanahan tersebut. Pengukuran tersebut atas beberapa jenis yang secara menyeluruh disebut sebagai pengukuran tahanan pembumian. Pengukuran tahanan pembumian bertujuan mengetahui besarnya tahanan pembumian dari beberapa kondisi tanah.

2.2.10 Pentanahan dengan Elektroda Ditanam Vertikal (Pentanahan Rod)

Pentanahan dengan elektroda secara vertikal/rod adalah pentanahan dengan cara menanam batang-batang elektroda kedalaman tanah secara tegak lurus.



Gambar 2.6 Pentanahan Satu Batang Elektroda Ditanam Vertikal

Menurut Dwight didapat persamaan (1) (Hutauruk, 1987, Hermawan, 1985):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) (\Omega) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

R = tahanan pentanahan (Ω)

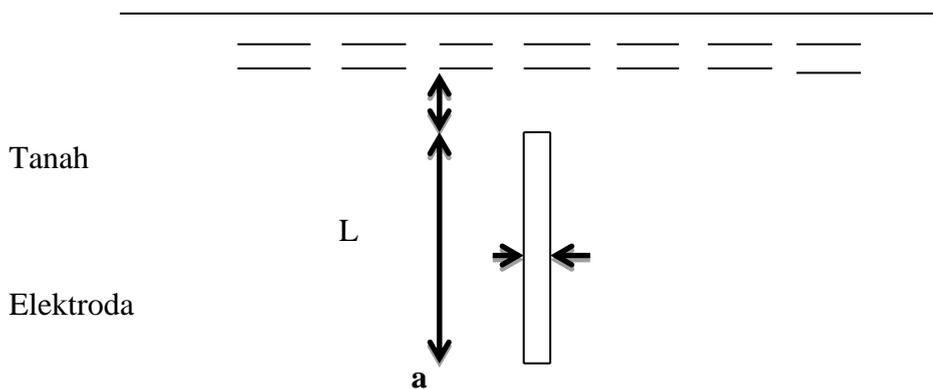
P = tahanan jenis tanah (Ω -m)

L = panjang elektroda pentanahan (m)

a = jari-jari elektroda pentanahan (m)

n = banyaknya elektroda pentanahan.

Schwarz telah menurunkan persamaan yang telah umum yang bisa dipergunakan untuk menghitung tahanan pentanahan elektroda yang ujung atasnya tidak tepat diatas permukaan tanah seperti dibawah gambar ini:



Gambar 2.7 Satu Batang yang Ditanam dengan Kedalaman Z dari Ujung Atasnya

Persamaan yang digunakan menghitung tahanan pentanahannya adalah:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{4}{L} - 1 + \ln \frac{1 + \frac{Z}{L}}{1 + \frac{2Z}{L}} + \frac{Z}{L} \ln \frac{\frac{4Z}{L} + 4 \left(\frac{Z}{L}\right)^2}{1 + \frac{4Z}{L} + 4 \left(\frac{Z}{L}\right)^2} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

R = tahanan pentanahan (Ω)

L = panjang elektroda pentanahan (m)

z = jarak ujung atas batang elektroda dengan permukaan tanah (m)

ρ = tahanan jenis tanah (Ω -m)

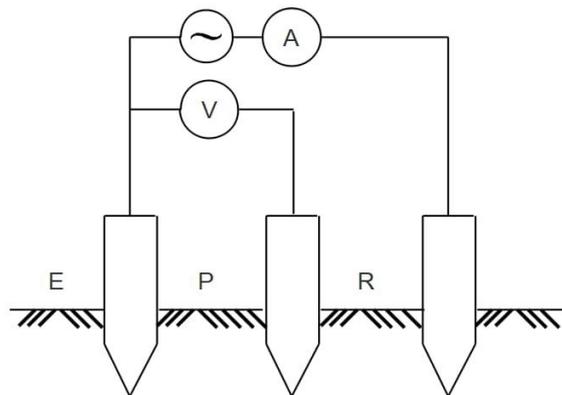
a = jari-jari elektroda pentanahan (m)

2.2.11 Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Daman Suswanto, (2000), Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan metode:

1. Metode tiga titik (*three-point method*).
2. Metode Pengukuran resistansi tanah.
 - a. Metode tiga titik (*three-point method*).

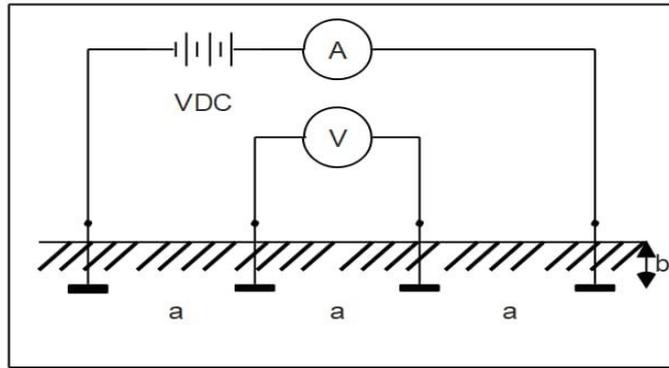
Metode tiga titik (*three-point method*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode tiga titik

- b. Metode Pengukuran Rangkaian Resistivitas Tanah.

Salah satu metode dalam pengukuran hambatan jenis tanah atau resistivitas ialah metode menggunakan empat buah elektroda, sebuah sumber DC, sebuah Ampere meter, dan sebuah Voltmeter sensitif yang sensitif



Gambar 2.8 Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode tiga titik

Prinsip kerja empat elektroda diatas apabila arus masuk ketanah melalui salah satu elektroda dan kembali elektroda yang lain yang cukup jauh, maka diameter konduktor dapat diabaikan dan arus yang masuk ketanah mengalir secara radial. Dengan mengukur besar arus dan tegangannya, maka besar arus dan tegangannya, maka diperoleh hambatan (R), sebesar hambatan jenis tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

ρ = hambatan jenis tanah (Ohm-m)

a = jarak elektroda ukur (meter)

b = kedalaman elektroda (meter)

R = besar hambatan tanah (Ohm)

Dengan mengubah – ubah jarak elektroda (a) dapat diperoleh prediksi hambatan jenis tanah pada kedalaman (b).

2.2.12 Uji Korelasi dan Regresi

Kolerasi merupakan suatu hubungan antara variabel dengan variabel lainnya. Hubungan antara variabel tersebut bisa secara korelasional dan bisa juga

secara kausal. Jika hubungan tersebut tidak menunjukkan sifat sebab akibat, maka korelasi tersebut dikatakan korelasional, artinya sifat hubungan variabel satu dengan variabel lainnya tidak jelas mana variabel sebab dan mana variabel akibat. Sebaliknya, jika hubungan tersebut menunjukkan sifat sebab akibat, maka korelasinya dikatakan kausal, artinya jika variabel yang satu merupakan sebab, maka variabel lainnya merupakan akibat (Husaini, 2003.)

Pembahasan korelasi minimal menyangkut dua kelompok nilai atau dua variabel. Variabel-variabel tersebut bisa berasal dari subjek penelitian yang sama, tetapi bisa juga terjadi pada atau berasal subjek penelitian yang sama (Husaini, 2003).

Dalam kehidupan sehari-hari sering kali kita menemui kejadian-kejadian, kegiatan-kegiatan atau masalah-masalah yang saling berhubungan satu sama lain, oleh karena itu kita juga memerlukan analisis hubungan antara kejadian-kejadian tersebut. Perumusan koefisien korelasi dilakukan dengan memakai perbandingan antara variasi yang dijelaskan dengan variasi total (Koster, 2001).

Metode korelasi ini menggambarkan secara kuantitatif asosiasi ataupun relasi satu variabel interval dengan variabel interval lainnya. Sebagai contoh kita dapat lihat relasi hipotetikal antara lamanya waktu belajar dengan nilai ujian tinggi. Korelasi diukur dengan suatu koefisien (r) yang mengindikasikan seberapa banyak relasi antara dua variabel. Daerah nilai yang mungkin +1.00 sampai -1.00. Dengan +1.00 menyatakan hubungan yang sangat erat, sedangkan -1.00 menyatakan hubungan negative yang erat. Berikut ini adalah panduan untuk nilai korelasi tersebut (+ atau -) (Husaini, 2003).

1. 0.80 hingga 1.00 korelasi sangat tinggi
2. 0.60 hingga 0.79 korelasi tinggi
3. 0.40 hingga 0.59 korelasi moderat
4. 0.20 hingga 0.39 korelasi rendah
5. 0.01 hingga 0.19 korelasi sangat rendah

Satu hal yang perlu diingat adalah “korelasi tidak menyatakan hubungan Sebab-akibat”. Dari contoh di atas, korelasi hanya menyatakan bahwa ada relasi antara lamanya waktu belajar dengan nilai ujian tinggi, namun bukan “lamanya waktu belajar menyebabkan nilai ujian tinggi” (Husaini, 2003).

Seperti telah diuraikan sebelumnya, untuk mengetahui seberapa dekat hubungan antara variabel diperlukan suatu ukuran yang menyatakan “kekuatan” relasi tersebut. Dalam statistik, ukuran tersebut diperoleh melalui suatu analisa korelasi (Harinaldi, 2005).

2.2.13 Uji Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi digunakan untuk mempelajari dan mengukur hubungan statistik yang terjadi antara dua atau lebih variabel, sedangkan di dalam regresi majemuk lebih dari dua variabel. Suatu persamaan regresi hendak ditentukan dan digunakan untuk menggambar pola atau fungsi hubungan yang terdapat dalam variabel. Variabel yang akan diestimasi nilainya disebut (*dependent variable*) dan biasanya di plot pada sumbu tegak (sumbu y). Sedangkan variabel bebas (*explanatory variable*) adalah variabel yang diasumsikan memberikan pengaruh terhadap variasi variabel terikat dan biasanya diplot pada sumbu datar sumbu-x (Harinaldi, 2005).

Analisa korelasi bertujuan untuk mengukur “seberapa berupa” atau “derajat

kedekatan”, suatu relasi yang terjadi antara variabel. Jadi analisis regresi, maka analisis korelasi ingin mengetahui kekuatan hubungan tersebut dalam koefisien korelasinya.

2.2.14 Hubungan Koefisien Korelasi Dengan Regresi

Untuk mengetahui derajat hubungan antara dua variabel dapat pula dilihat dari seberapa titik-titiknya. Koefisien korelasi (r) dapat digunakan untuk (Supranto, 2008):

1. Mengetahu derajat (keamatan) hubungan (korelasi linear) antara dua variabel.
2. Mengetahui arah hubungan antara dua variabel.

Koefisien korelasi r ini perlu memenuhi syarat-syarat yaitu:

- a. Koefisien korelasi harus besar apabila kadar hubungan tinggi atau kuat, dan harus kecil apabila kadar itu kecil atau lemah.
- b. Koefisien korelasi harus dari satuan yang digunakan untuk mengukur variabel-variabel, baik predictor maupun respon.

Nilai koefisien ini paling sedikit -1 dan paling besar 1 . Jadi, kalau $r =$ koefisien korelasi, maka nilai r dapat dinyatakan sebagai berikut (Supratno, 2008)

Apabila artinya korelasinya negative sempurna, artinya tidak ada korelasi dan berarti korelasinya sempurna positif (sangat kuat). Sedangkan r akan dikonsultasikan dengan tabel interpretasi.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian pengambilan data dilakukan di Paya Pasir Gg Pringgank Link 08. Penelitian ini untuk menjawab permasalahan di dalam skripsi ini yaitu, perancangan sistem grounding pada pembangkit listrik tenaga bayu. Jl. Titi Pahlawan Paya Pasir Medan Marelan., Kota Medan, Sumatera Utara.

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Bahan dan alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3.1 Daftar Alat

No.	Nama Alat	Spesifikasi alat
1	Toolkit elektronika	Sebagai alat bantu dalam perakitan perancangan
2	Digital earth tester resistance model 4105 A	Sebagai alat ukur tahanan sistem grounding
3	Meteran	Sebagai pengukuran jarak antar batang elektroda
4	Kabel penghubung	Sebagai penghantar sambaran petir
5	Martil	Sebagai alat untuk memukul batang elektroda

3.2.2 Bahan Penelitian

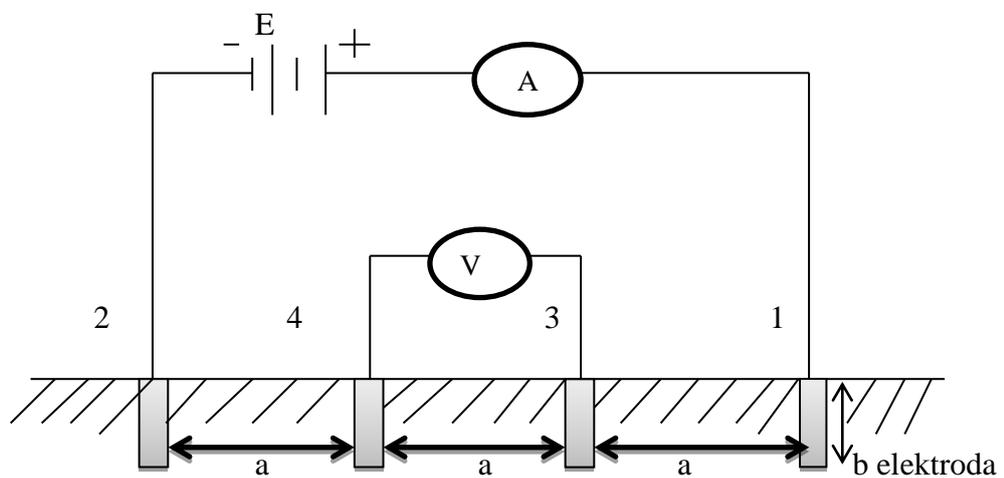
Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3.2 Daftar Bahan

No	Nama Bahan	Spesifikasi Bahan
1.	Elektroda Batang	Sebagai media pnmampang ketanah
2.	Garam	Sebagai zat elektrolit yang dapat mengantarkan arus listrik
3.	Tanah Rawa	Untuk mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik
4.	Bahan penunjang lainnya	Sebagai bahan pelengkap

3.3 Resistivitas Tanah

Untuk mendapatkan nilai resistivitas tanah yang akurat perlu dilakukan pengukuran secara manual pada daerah pembangkit dengan menggunakan metode empat titik, seperti yang dilanjutkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



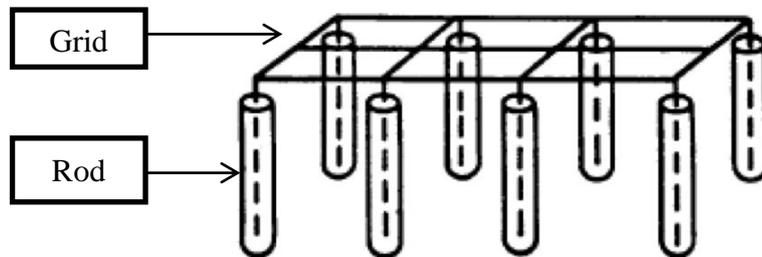
Gambar 3.1 Pengukuran Tahanan Tanah Metode 4 Titik

Nilai efektif dari resistivitas tanah dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$\rho_a = \frac{4\pi au}{nl} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dengan ρ_a adalah tahanan tanah (Ωcm), a adalah jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah (cm), b adalah kedalaman penanaman elektroda batang (cm), u adalah tegangan yang terukur pada voltmeter (V), n adalah perbandingan b/a , I adalah arus yang terukur pada ampermeter (A).

Sistem pentanahan pada pembangkit bayu ini menggunakan gabungan sistem pentanahan *grid* dengan batang pentanahan *rod* seperti diperlihatkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 3.2 Pentanahan Grid Rod

Pada sistem pentanahan *grid*, batang-batang elektroda ditanam sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan pada sistem *rod*, batang-batang elektroda ditanam tegak lurus

3.4 Pemilihan Luas Penampang

Sesuai dengan persamaan, pemilihan konduktor ditentukan berdasarkan ukuran diameter konduktor dan jenis bahan konduktor yang akan digunakan sehingga akan didapat

$$A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10U^{-4}}{tc ar p_r}\right) \ln\left(\frac{K_O + T_m}{K_O + T_a}\right)}} \dots\dots\dots(3.15)$$

A adalah luas penampang konduktor (mm^2), I adalah arus gangguan (kA), $TCAP$ adalah kapasitas termal per unit volume ($\text{J}/\text{cm}^3\text{C}$), tc adalah durasi gangguan (s),

a_r adalah koefisien panas resistivitas material pada temperature Tr ($1/^\circ\text{C}$), ρ_r adalah tahanan konduktor pentanahan pada temperatur Tr ($\mu\Omega\text{cm}$), Ko ; adalah koefisien yang nilainya $1/(a@)$ atau $1/(a7) - Tr$ ($^\circ\text{C}$), Tm adalah batas temperatur maksimum yang dapat ditahan material ($^\circ\text{C}$), Ta adalah temperature tanah disekitar lokasi ($^\circ\text{C}$).

$$\rho = 2 \pi \times r Re$$

Dimana:

Re : tahanan (ohm)

ρ : tahanan jenis tanah (ohm-meter)

π : konstanta ($\pi = 3,14$)

3.5 Penentuan Tahanan Grid

Sistem pentanahan yang baik akan menghasilkan tahanan jenis tanah yang rendah untuk meminimalisir nilai ground potential rise (GPR). Nilai tahanan tanah untuk substasiun dan stasiun pembangkit biasanya bernilai 1Ω atau kurang, sedangkan untuk substasiun jaringan distribusi rendah biasanya tahanan tanah bernilai $1 - 5 \Omega$ tergantung pada keadaan sekitar. Untuk menentukan nilai tahanan pentanahan digunakan Persamaan.

$$Rg = \rho \left[\frac{1}{Lr} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\frac{\sqrt{20}}{A}} \right) \right] \dots\dots\dots(3.16)$$

Rg adalah tahanan pentanahan (Ω), ρ adalah tahanan jenis tanah (Ωm), LX adalah panjang total konduktor yang di tanah (m), A adalah luar area pentanahan grid (m^2), h adalah kedalaman penanaman konduktor *grid* (m).

3.6 Penentuan Arus Grid Maksimum

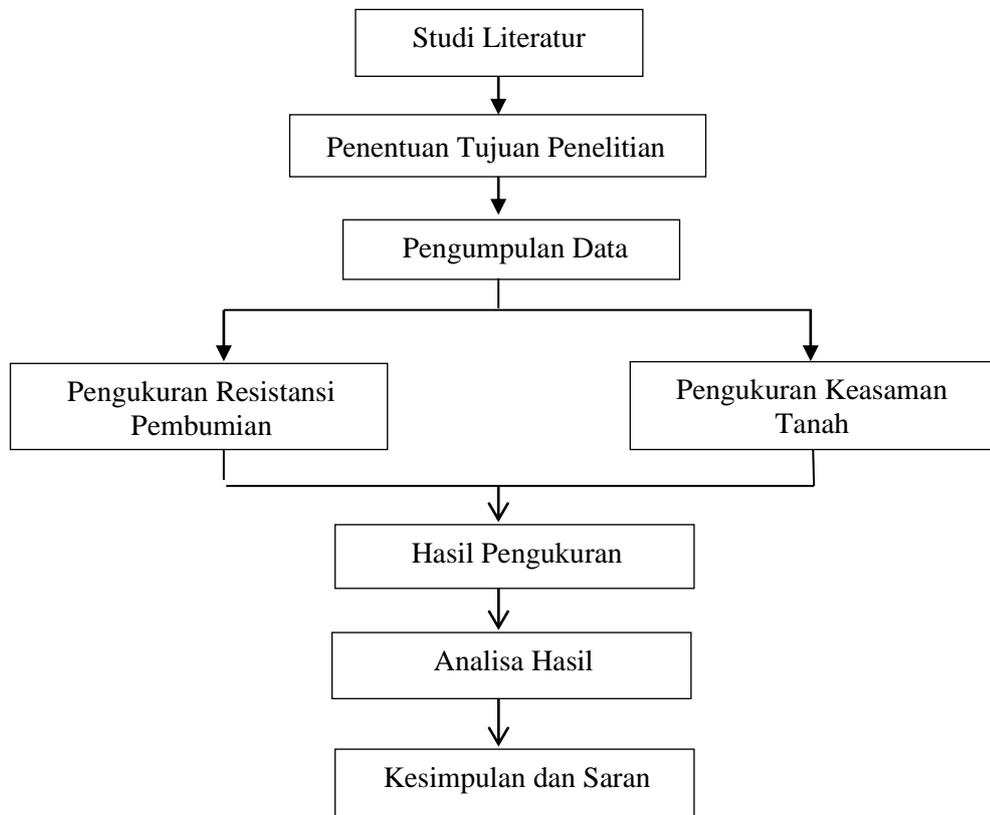
Arus *grid* maksimum merupakan arus terbesar yang mengalir pada *grid* pentanahn pada saat terjadi gangguan. Nilai arus *grid* maksimum dapat ditentukan dengan Persamaan 3.4.

$$I_G = D_f \cdot I_f \cdot S_f \dots \dots \dots (3.17)$$

D_f adalah faktor pengurangan (*decrement factor*). I_f adalah arus hubung singkat (A). S_f adalah faktor pembagi (*division factor*).

3.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian adalah bagan yang menjelaskan serangkaian proses yang dilakukan dan disusun secara urut dari awal hingga akhir penelitian. Dengan alur penelitian, dapat ditentukan dengan tujuan dan arah penelitian tugas akhir ini dilakukan. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



3.8 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan secara teratur dan sistematis untuk mencapai tujuan-tujuan penelitian. Adapun prosedur penelitian ini terdapat beberapa langkah kerja yaitu:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengukuran resistansi pentanahan.
2. Mengecek tegangan baterai dengan menghidupkan *Earth Tester Digital*.
3. Merangkai rangkaian pengujian untuk mengetes nilai resistansi pada sistem *grounding* yang terhubung dengan instalasi listrik rumah tinggal.
4. Menentukan jarak antara kedua elektroda bantu yaitu pada jarak 5-10 meter.
5. Melakukan pengukuran terhadap tegangan terukur pada tanah. Apabila tegangan terukur pada tanah lebih besar dari 10 volt maka kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pengukuran nilai resistansi pentanahan akan besar.
6. Melakukan pemeriksaan terhadap konektor elektroda utama dan elektroda bantu dengan mengatur range switch ke 2000 Ω .
7. Melakukan pengukuran resistansi pentanahan.
8. Mencatat nilai hasil pengukuran.
9. Tahapan di atas diulangi untuk kondisi tanah yang berbeda.

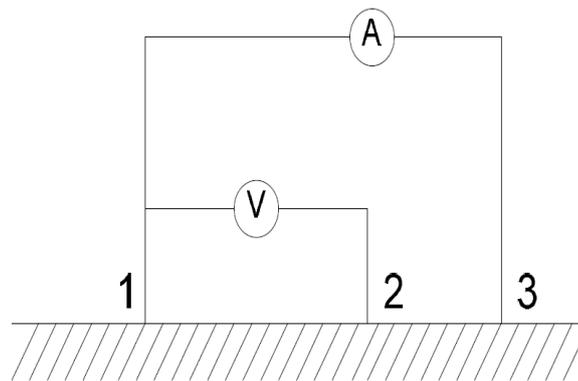
3.9 Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini dilakukan *study literature* untuk memahami cara kerja setiap komponen dan sistem yang akan dirancang. Adapun data yang diperlukan merupakan spesifikasi dari masing-masing komponen dan karakteristik sistem kerja dari resistansi pembumian dan keasaman tanah yang akan dibuat meliputi prinsip kerja atau teori-teori dari sistem nantinya. Adapun *study literature* yang dilakukan adalah memahami tentang prinsip kerja sistem grounding beserta teori-teori yang digunakan seperti metode tahanan jenis tanah. Dalam hal ini juga dilakukan *study literature* terhadap pengaruh keasaman tanah dan pengukuran resistansi pembumian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian nilai tahanan pentanahan dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Digital Earth Tester Kyoritsu model 4105 A* dengan menggunakan metode 3 titik. Metode tiga titik (*three-point method*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pengetahuan. Misalkan tiga buah batang pengetanahan di mana batang 1 yang tahanannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengetanahan pembantu yang juga belum diketahui tahanannya, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Metode tiga titik

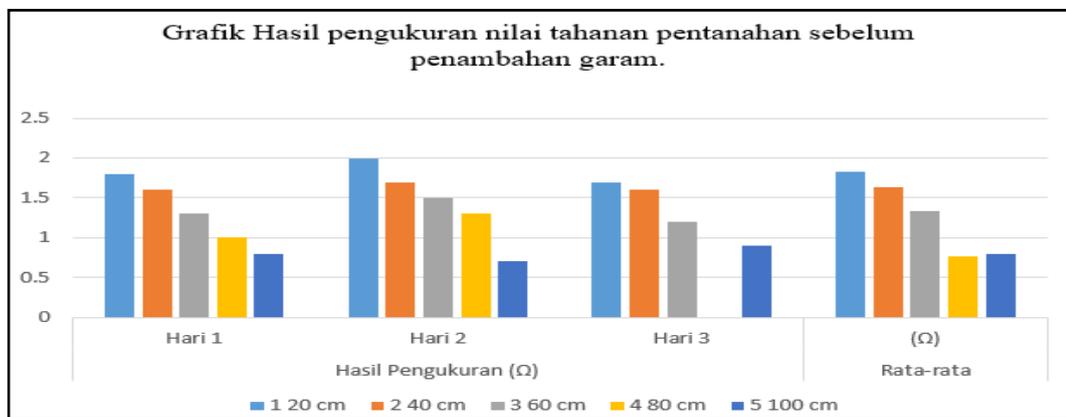
4.1 Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan sebelum Penambahan Garam dengan Variasi Kedalaman

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum penambahan garam.

NO	Kedalam Elektroda (Cm)	Hasil Pengukuran (Ω)			Rata-rata (Ω)
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	
1	20 cm	1.8	2	1.7	1.83
2	40 cm	1.6	1.7	1.6	1.63
3	60 cm	1.3	1.5	1.2	1.33
4	80 cm	1	1.3	0,9	0.77
5	100 cm	0.8	0.7	0.9	0.80

Pada gambar dibawah ini menunjukkan hubungan nilai tahanan pentanahan sebelum penambahan garam dengan variasi kedalaman, terlihat pada kedalaman 20 cm nilai rata-rata tahanan pentanahan sebesar 1.83 Ω , sedangkan pada kedalaman elektroda 100 cm, nilai rata-rata tahanan pentanahan sebesar 0.8 Ω .

Hal ini dipengaruhi oleh semakin dekatnya elektroda ke sumber mata air di dalam tanah sehingga berpengaruh terhadap arus listrik yang mengalir melalui elektroda yang menyebabkan kerapatan arusnya berkurang sehingga nilai tahanan pentanahan akan semakin kecil.



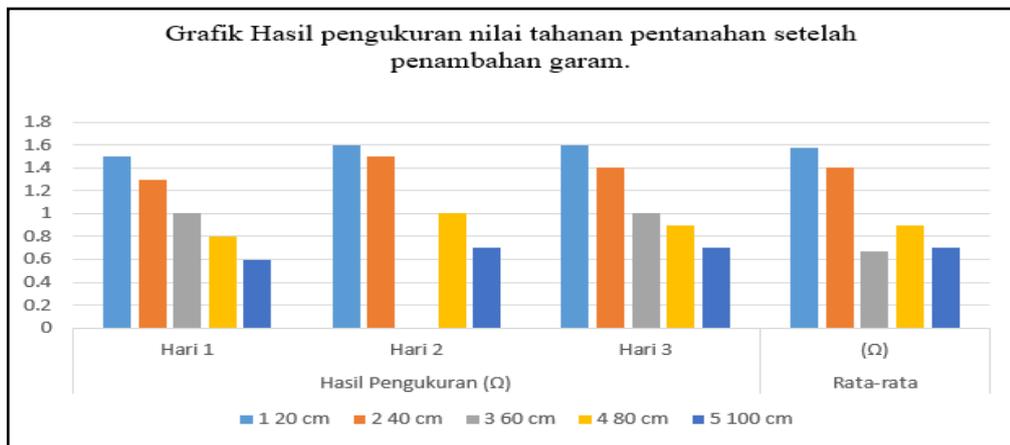
Gambar 4.1 Grafik Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum penambahan garam

4.2 Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan setelah Penambahan Garam dengan Variasi Kedalaman

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sesudah peambahan garam.

NO	Kedalam Elektroda (Cm)	Hasil Pengukuran (Ω)			Rata-rata (Ω)
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	
1	20 cm	1.5	1.6	1.6	1.57
2	40 cm	1.3	1.5	1.4	1.4
3	60 cm	1	1,2	1	0.67
4	80 cm	0.8	1	0.9	0.9
5	100 cm	0.6	0.7	0.7	0.7

Pada Gambar 4.2 dibawah ini menunjukkan hubungan nilai tahanan penanahan sesudah penambahan garam dengan variasi kedalaman adalah berbanding terbalik, terlihat pada kedalaman 20 cm nilai rata-rata tahanan pentanahan sebesar 1.57 Ω , sedangkan pada kedalaman elektroda 100 cm, nilai rata-rata pentanahan sebesar 0.7 Ω . Hal ini dipengaruhi oleh semakin dekatnya elektroda ke sumber mata air di dalam tanah sehingga berpengaruh terhadap arus listrik yang mengalir melalui elektroda dan menyebabkan kerapatan arusnya berkurang sehingga nilai tahanan pentanahan akan semakin kecil.



Gambar 4.2 Grafik Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan setelah penambahan garam

Faktor lain yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan yaitu adanya penambahan garam pada lubang pentanahan. Hal ini dikarenakan sifat garam dimasukkan didalam tanah dapat menurunkan nilai tanah dan menjaga kelembaban tanah.

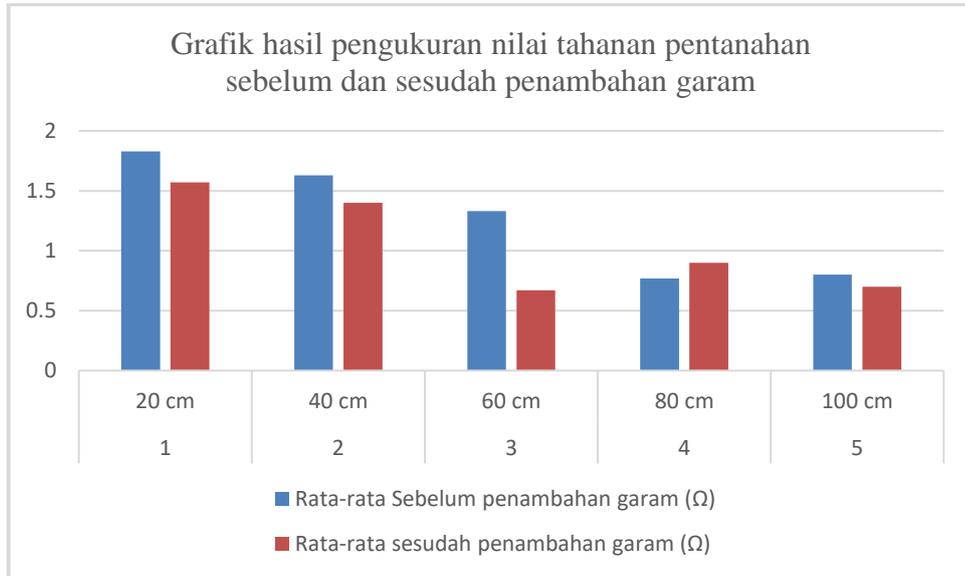
4.3 Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan sebelum dan sesudah Penambahan Garam dengan Variasi Kedalaman

Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah penambahan garam dan dengan variasi kedalaman ditunjukkan pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah penambahan garam

NO	Kedalam Elektroda (Cm)	Rata-rata Sebelum penambahan garam (Ω)	Rata-rata sesudah penambahan garam (Ω)
1	20 cm	1.83	1.57
2	40 cm	1.63	1.4
3	60 cm	1.33	0.67
4	80 cm	0.77	0.9
5	100 cm	0.80	0.7

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa sesudah penambahan garam menghasilkan nilai tahanan pentanaha yang kecil dari pada sebelum penambahan garam. Hal ini terlihat pada data hasil pengukuran sebelum penambahan dengan kedalaman 100 cm adalah 0.8 Ω , sedangkan sesudah penambahan garam dengan kedalaman 100 cm adalah 0.7 Ω . Hal ini dikarenakan sifat garam sebagai elektrolit konduktivitas yang sangat baik, sehingga jika dimasukkan didalam tanah dapat menurunkan nilai tahanan tanah dan menjaga kelembaban tanah.



Gambar 4.3 Grafik Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah penambahan garam

4.2 Analisis Pemilihan Luas Penampang

Sesuai dengan Persamaan (3.2), pemilihan konduktor ditentukan berdasarkan ukuran diameter konduktor dan jenis bahan konduktor yang akan digunakan sehingga akan didapat:

$$A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10U^{-4}}{tca_r p_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

$$A = 16,0 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3,42 \times 10U^{-4}}{0,5 \times 0,00393 \times 1,72}\right) \ln\left(\frac{234 + 1083}{234 + 40}\right)}}$$

$$A = 40,14 \text{ mm}^2$$

Di pasaran tidak tersedia ukuran konduktor 40,14 mm² sehingga digunakan ukuran konduktor 50 mm².

4.5 Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum dan Sesudah Penambahan Garam

$$\rho = 2 \pi r R e$$

Maka:

Sebelum di taburi garam

Untuk kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 1.83 \Omega \\ &= 137.9 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 40 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 1.63 \Omega \\ &= 122.8 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 60 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 1.33 \Omega \\ &= 100.2 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 80 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 0.77 \Omega \\ &= 58.02 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 100 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 0.80 \Omega \\ &= 60.28\end{aligned}$$

Sesudah di taburi garam

Untuk kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 1.57 \Omega \\ &= 118.3\Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 40 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 1.4 \Omega \\ &= 105.5 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 60 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 0.67 \Omega \\ &= 50.4 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 80 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 0.9 \Omega \\ &= 67.8 \Omega\end{aligned}$$

Untuk kedalaman 100 cm

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 3.14 \times 12 \text{ mm} \times 0.7 \Omega \\ &= 52.7 \Omega\end{aligned}$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan tinjauan pustaka dan melakukan pengujian serta menganalisa, maka sistem pentanahan dengan menambahkan garam pada kondisi tanah kering dapat disimpulkan:

1. Ternyata dari pengukuran yang dilakukan dengan menancapkan elektroda dengan tambahan garam akan mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Pengukuran resistivitas tanah akan jauh lebih baik pada kedalaman biasa (100 cm) lebih baik dari 20 cm.

5.2 Saran

1. Dalam melakukan pengukuran resistansi sebaiknya dilakukan secara berkala
2. Pemasangan elektroda batang sebaiknya dipasang pada kedalaman tertentu

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Septria, "EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH," 1920.
- [2] A. Faisal *et al.*, "ANALISIS SISTEM PENTANAHAN SIDRAP SULAWESI SELATAN," vol. 16, no. 2, pp. 121–134, 2019.
- [3] P. Studi *et al.*, "STUDI TENTANG EFEKTIVITAS BEBERAPA MACAM ZAT TERHADAP NILAI RESISTANSI SISTEM PENTANAHAN (GROUNDING) Verry Dwi Andhika Achmad Imam Agung," pp. 501–510.
- [4] M. Putri and A. Ramadhan, "ENERGI ALTERNATIF BERBASISKAN LOWER ROTATION MOTOR," pp. 69–73, 2020.
- [5] Hermansyah, "Evaluasi Keandalan Sistem Grounding Pada Instalasi," *J. Ilm. d'Computare Vol. 9 Ed. Juli 2019 Eval.*, vol. 9, 2019.
- [6] M. Adam, P. Harahap, and M. R. Nasution, "Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 30–36, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3648.
- [7] Suyamto, Taufik, and I. A. Kudus, "Evaluasi dan perencanaan," *Pros. Pertem. dan Present. Ilm. Teknol. Akselerator dan Apl.*, vol. 17, no. November, pp. 19–26, 2015.
- [8] L. Aditya, "92 Analisa Sistem Pentahanan Pada Gedung Dirjen Pajak," vol. 5, no. 3, pp. 92–99, 2017.
- [9] M. S. Kalosa, S. Setiawidayat, and M. Mukhsim, "Pengaruh Sistem Pentahanan Terhadap Arus Gangguan Tanah Pada Sistem Distribusi 20 Kv," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, p. 138, 2020, doi: 10.22373/crc.v4i2.7067.
- [10] N. Evalina, A. Azis H, Rimbawati, and Cholish, "Efficiency analysis on the inverter using the energy-saving lamp," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 674, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/674/1/012034.
- [11] M. K. Hamid and S. Abubakar, "Sistem Pentahanan Pada Transformator Distribusi 20 kV di PT . PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon," *J. Electr. Technol.*, vol. Vol. 1, pp. 13–16, 2016.
- [12] A. B. Pulungan, C. Desy, and P. Reza, "Evaluasi Sistem Grounding di Gedung Fakultas Teknik Universtas Negeri Padang," vol. 2, no. 2, pp. 289–293, 2021.
- [13] F. Oktafiani, S. Sulistyaningsih, and Y. Wijayanto, "Sistem Ground Penetrating Radar Untuk Mendeteksi Benda-benda Di Bawah Permukaan Tanah," *INKOM J. Informatics, Control Syst. Comput.*, vol. 1, no. 2, pp. 53–57, 2007.
- [14] A. Ponadi, "Analisis perbandingan nilai tahanan pentahanan menggunakan elektroda batang (rod) jenis crom tembaga, alluminium, besi, degan media tanah pasir lumpur dan tanah liat," *J. Ilm. Mustek Anim*, vol. 3, no. 2, pp. 166–185, 2014.
- [15] A. Santoso, A. Herawati, and Y. S. Handayani, "Analisis Sistem Pentahanan Instalasi Listrik Gedung Lembaga Pemasayarakatan Kelas Iia Bengkulu," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 28–33, 2020, doi: 10.33369/jamplifier.v10i2.15320.

Lampira Dokumen Dan Foto-Foto







