

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENTANAHAN MENGGUNAKAN METODE MESH PADA PLTS TIGAJUHAR

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

Disusun Oleh:

BAYU SENTANA
1807220074



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Bayu Sentana
NPM : 1807220074
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : "Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar"
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, 02 Oktober 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



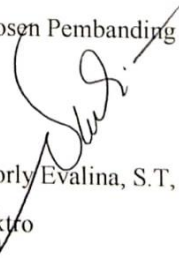
Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding I



Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M

Dosen Pembanding II



Noorly Evalina, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro



Faisol Fatah Pangsibu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Bayu Sentana
Tempat/Tanggal Lahir : Binjai / 20 Agustus 2000
NPM : 1807220074
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar”.

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh 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 akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 Oktober 2022

Yang menyatakan



Bayu Sentana
1807220074

ABSTARK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari untuk menjadi energi listrik melalui photovoltaic module yang termasuk dalam energi hijau sehingga menjadi suatu pembangkit yang terbarukan, lebih efisien efektif, handal dan dapat mensuplai kebutuhan energi listrik. Di provinsi Sumatera Utara masih terdapat desadesa tertinggal. Terutama yang berada pada ketinggian 300-350m dpl. Wilayah Deli Serdang berada pada ketinggian 0 s/d 400m dpl yang menyebabkan banyak desadesa yang terletak di ketinggian 300 s/d 350m dpl. Hal ini berdampak pada penyediaan energi listrik on grid tidak dapat mensuplai kebutuhan penduduk. Berdasarkan keterangan yang di berikan oleh warga Bintang Asih bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang sudah terpasang di desa tersebut tersambar petir sehingga mengakibatkan kerusakan pada inverter, mppt dan peralatan kontrol, maka dari itu penelitian ini akan merancang sistem pentanahan pada PLTS desa tersebut dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada system yang ada. maka penelitian ini akan melakukan “Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar”. Alat ini ditunjukan untuk mencegah terjadinya kerusakan sistem pengontrolan yang telah terpasang di PLTS Tigajuhar. Hasil menunjukan bahwa nilai resistansi tanah dengan menggunakan elektroda mesh pada plts tiga juhar dengan penanaman batang rod 200cm yaitu $1,7\Omega$. Ternyata penggunaan elektroda mesh sangat berpengaruh dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan.

Kata Kunci : PLTS, Sistem Pentanahan, Metode Mesh

ABSTRACT

Solar Power Plant (PLTS) is a power generation system that utilizes solar energy to become electrical energy through a photovoltaic module which is included in green energy so that it becomes a renewable, more efficient, effective, reliable generator that can supply electrical energy needs. In the province of North Sumatra, there are still underdeveloped villages. Especially those at an altitude of 300-350m above sea level. The Deli Serdang area is located at an altitude of 0 to 400 m above sea level which causes many villages to be located at an altitude of 300 to 350 m above sea level. This has an impact on the supply of electrical energy on the grid can not supply the needs of the population. Based on the information provided by the residents of Bintang Asih that the Solar Power Plant that has been installed in the village was struck by lightning causing damage to the inverter, MPPT and control equipment, therefore this study will design a grounding system in the village solar power plant with the aim of preventing damage to the existing system. then this study will conduct "Designing a Grounding System Using the Mesh Method in PLTS Tigajuhar". This tool is shown to prevent damage to the control system that has been installed in PLTS Tigajuhar. The results show that the value of soil resistance using mesh electrodes at PLTS Tiga Juhar with 200cm rod planting is $1,7\Omega$. It turns out that the use of mesh electrodes is very influential in reducing the value of the grounding resistance.

Keywords: PLTS, Grounding System, Mesh Method

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 “Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar” 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. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibunda Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam 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.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik-elektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2018.

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, 17 Maret 2022

BAYU SENTANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTARK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Ruang Lingkup	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematis Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Sistem tenaga	6
2.2.2. Sistem Pentanahan	7
2.2.3. Tujuan Pentanahan	8
2.2.4. Karakteristik sistem pentanahan yang efektif	11
2.2.5. Jenis – Jenis Elektroda Pentanahan.....	11
2.2.6. Sistem Pentanahan Sebagai Konduktor	14
2.2.3. Pentanahan Satu Batang (Single Grounding).....	21
2.2.4. Pentanahan Parallel (Parallel Grounding).....	21
2.2.5. Pentanahan Mesh	22
2.3. Sistem Proteksi	27
2.4. Standar IEEE 80 – 2013	27
2.5. Kelapa.....	27
2.5.1. Penyebaran Kelapa.....	27
2.5.2. Limbah Kelapa	28
2.5.3. Tempurung Kelapa.....	28

2.5.4.	Arang Batok Kelapa	28
2.5.5.	Kandungan Arang Batok Kelapa	28
2.5.6.	Unsur Kalium	29
2.5.7.	Karbon Aktif	29
2.6.	Tegangan dan Faktor Geometri	30
2.6.1.	Tegangan Sentuh	30
2.6.2.	Tegangan Langkah	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		33
3.1.	Tempat dan waktu	33
3.1.1.	Tempat.....	33
3.1.2.	Waktu	33
3.2.	Survei Lapangan	33
3.3.	pengambilan data.....	33
3.4.	Alat dan bahan	33
3.4.1.	Alat Penelitian	34
3.4.2.	Bahan Penelitian.....	34
3.5.	Rangkaian Pengukuran Resistansi Pentanahan	34
3.5.1.	Pemilihan luas penampang.....	35
3.5.2.	Pengukuran Pentanahan Grid	36
3.5.3.	Penentuan Arus Grid Maksimum.....	37
3.5.4.	Perhitungan Ground Potensial Rise (GPR).....	37
3.6.	Diagram Alir Penelitian	38
3.7.	Perancangan Pentanahan	39
3.8.	Prosedur Perancangan	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1.	Perancangan Sistem Pentanahan	42
4.1.1.	Cara Pengukuran menggunakan Earth Tester	43
4.2.	Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah	45
4.3.	Pengukuran Nilai Pentanahan Sebelum Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dengan Variasi Kedalaman	46
4.4.	Pengukuran Nilai Pentanahan Setelah Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dengan Variasi Kedalaman	47
4.5.	Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang Batok Kelapa Dengan Variasi Kedalaman	48
4.6.	Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang Tempurung Kelapa.....	49

4.7. Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Pada Sistem Pentanahan Mesh.....	50
4.8. Pengukuran Nilai Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang.....	51
4.9. Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Pada Sistem Pentanahan Mesh.....	54
BAB V PENUTUP.....	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Elektroda batang.....	12
Gambar 2. 2 Elektroda Pita	13
Gambar 2. 3 Elektroda pelat.....	14
Gambar 2. 4 metode empat elektroda	15
Gambar 2. 5 metode tiga titik.....	17
Gambar 2. 6 pentanahan satu batang (single ground rod).....	21
Gambar 2. 7 Pentanahan Paralel (Paralel Grounding)	22
Gambar 2. 8 Pentanahan Mesh.....	24
Gambar 2. 9 Elektroda Berbentuk Kisi Grid.....	24
Gambar 2. 10 Clamp Grounding	25
Gambar 2. 11 Kabel BC	26
Gambar 2. 12 Air Termination Split	26
Gambar 2. 13 tegangan sentuh	30
Gambar 2. 14 tegangan langkah.....	31
Gambar 3. 1 Rangkaian pengukuran resistansi pentanahan.....	35
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3. 3 Perancangan Sistem Pentanahan	39
Gambar 4. 1 Perancangan sistem pentanahan	42
Gambar 4. 2 Metode tiga titik	43
Gambar 4. 3 Earth Tester Kyoritsu Model 4102.....	43
Gambar 4. 4. Elektroda bantu	44
Gambar 4. 5 Earth Tester Kyoritsu Model 4102.....	45
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Sebelum Penambahan Arang	47
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Setelah Penambahan Arang	48
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Sebelum Penambahan Dan Sesudah Penambahan Arang	49
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang.....	52
Gambar 4. 10 Grafik Nilai Pentanahan Mesh Setelah Penambahan Arang.....	53
Gambar 4. 11 Grafik Pebandingan Nilai Pentanahan Mesh Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 tahanan jenis tanah	20
Tabel 2. 2 Hasil analisis beberapa bahan arang dari limbah pertanian	29
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian	33
Tabel 3. 2 Daftar Alat.....	34
Tabel 3. 3 Daftar Bahan	34
Tabel 3. 4 Parameter berdasarkan konduktor yang digunakan	36
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Sebelum Penambahan arang Pada Kedalaman 50 – 200 cm.	45
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Setelah Penambahan Arang Pada Kedalaman 50 – 200 cm.....	46
Tabel 4. 3 Data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum penambahan arang tempurung kelapa.	46
Tabel 4. 4 Data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sesudah penambahan arang tempurung kelapa.	47
Tabel 4. 5 Data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah penambahan arang tempurung kelapa.	48
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Pada Sistem Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang	50
Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Pada Sistem Pentanahan Mesh Setelah Penambahan Arang.....	51
Tabel 4. 8 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang	51
Tabel 4. 9 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Mesh Setelah Penambahan Arang	52
Tabel 4. 10 Perbandingan sebelum dan setelah penambahan arang	53

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari untuk menjadi energi listrik melalui photovoltaic module yang termasuk dalam energi hijau sehingga menjadi suatu pembangkit yang terbarukan, lebih efisien efektif, handal dan dapat mensuplai kebutuhan energi listrik. PLTS merupakan salah satu sarana untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang sangat ramah lingkungan. Mengingat Indonesia merupakan daerah tropis, maka sangatlah baik apabila PLTS dikembangkan dengan sungguh-sungguh. (Hutajulu et al., 2020)

Menurut (Saputro & Harahap, 2021) Di provinsi Sumatera Utara masih terdapat desadesa tertinggal. Terutama yang berada pada ketinggian 300-350m dpl. Wilayah Deli Serdang berada pada ketinggian 0 s/d 400m dpl yang menyebabkan banyak desa-desa yang terletak di ketinggian 300 s/d 350m dpl. Hal ini berdampak pada penyediaan energi listrik on grid tidak dapat mensuplai kebutuhan penduduk. Desa Rumah Sumbul dusun Bintang Asih kecamatan Tiga Juhar merupakan salah satu desa yang tidak dapat dilayani oleh energi listrik on grid karena sulitnya akses ke desa tersebut. Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat di pergunakan sebagai pembangkit energi listrik maka diadakanlah pembangkit listrik tenaga surya. Dengan adanya pembangkit listrik tenaga surya seharusnya dapat meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat didesa tersebut.

Berdasarkan keterangan yang di berikan oleh warga Bintang Asih bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang sudah terpasang di desa tersebut tersambar petir sehingga mengakibatkan kerusakan pada inverter, mppt dan peralatan kontrol, maka dari itu penelitian ini akan merancang sistem pentanahan pada PLTS desa tersebut dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada system yang ada. Menurut (Krishna et al., 2017) Sistem pentanahan adalah salah satu bagian sistem tenaga listrik yang mempunyai peranan penting dalam mengalirkan arus lebih dari sistem tenaga listrik ke tanah karena adanya gangguan

sistem tenaga listrik atau sambaran petir. Untuk memenuhi regulasi resmi standart aman, maka dikehendaki resistansi pentanahan dibuat sekecil mungkin.

Menurut (Hamid & Abubakar, 2017) fungsi pentanahan dibedakan menjadi 2, yaitu pentanahan titik netral sistem tenaga dan pentanahan peralatan. Pentanahan netral sistem tenaga berfungsi sebagai pengaman sistem atau jaringan, sedangkan pada pentanahan peralatan berfungsi sebagai pengaman terhadap tegangan sentuh

Berkaitan dengan hal tersebut maka penelitian ini akan melakukan “Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar”. Alat ini ditunjukkan untuk mencegah terjadinya kerusakan sistem pengontrolan yang telah terpasang di PLTS Tigajuhar

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar nilai resistansi tanah yang terdapat pada lokasi PLTS Tigajuhar?
2. Bagaimana perancangan sistem pentanahan dengan metode mesh pada PLTS Tigajuhar?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari “Perancangan System Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar” yaitu :

1. Untuk mengetahui besarnya nilai resistansi tanah yang terdapat di PLTS tigajuhar.
2. Perancangan sistem pentanahan dengan metode mesh pada PLTS di tigajuhar.

1.4. Ruang Lingkup

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut :

1. Membahas tentang sistem pentanahan menggunakan metode mesh pada PLTS.
2. Membahas tentang cara mengetahui nilai resistansi yang terdapat pada PLTS di desa Tigajuhar.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang di harapkan pada penulisan penelitian ini antara lain adalah :

1. Untuk menghantar arus gangguan ke tanah dengan melalui suatu elektroda yang di tanam di dalam tanah bila terjadi gangguan
2. Mencegah timbulnya tegangan kejut listrik (shock) yang membahayakan orang di sekeliling daerah tersebut
3. Memberikan manfaat kepada mahasiswa dengan menciptakan inovasi dan mengaplikasikan ilmu yang telah di peroleh dalam perkuliahan serta dapat memanfaatkannya sebagai referensi penelitian selanjutnya

1.6. Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini berisi pembahasan mengenai perancangan pada sistem pentanahan serta analisis bagian tahanan jenis tanah yang terdapat di dalam penelitian ini

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Berdasarkan kajian Pustaka sebelumnya telah banyak dilakukan penelitian tentang system pentanahan menggunakan metode mesh atau hal – hal lainnya yang berkaitan dengan system pentanahan dengan hasil yang di publikasikan baik secara nasional maupun secara internasional adalah sebagai berikut :

Penelitian sebelumnya telah di lakukan penelitian tentang perbandingan perhitungan dan simulasi etap sistem pentanahan grid-rod pada pembangkit listrik tenaga mesin gas (Noor & Saputro, 2020) Penelitian ini bertujuan untuk menghitung sistem pentanahan grid-rod yang memenuhi standar aman sesuai IEEE std. 80-2000 pada pembangkit listrik tenaga mesin gas yang berlokasi di Masohi, Maluku dengan tahanan jenis tanah sebesar 59,6 ohm.meter, arus gangguan maksimum ke tanah sebesar 50.489 ampere. Dalam analisis menggunakan perhitungan manual dan simulasi ETAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan pentanahan sebesar 0,49 ohm, tegangan sentuh sebesar 4330,01 volt, dan tegangan langkah sebesar 1530,23 volt. Perhitungan sistem pentanahan memenuhi persyaratan aman IEEE std. 80-2000.

Penelitian sebelumnya telah di lakukan penelitian tentang sistem pembumian gardu induk hemat eletroda (Dawalibi, 2018) Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sistem pentanahan yang digunakan elektroda minimal pada tingkat keamanan yang mendekati sama. Apakah penelitian ini sebagai sampel adalah gardu induk Tallo Makassar dengan ukuran 53 cm x 39m dan resistivitas tanah 100 ohm.m. Perhitungan dilakukan dengan regresi sederhana dengan sistem grid, grid-rod dan grid yang berjarak tidak sama dan hasil ini dianalisis secara kuantitatif dan metode kualitatif. Hasil dari perhitungan dan analisa yang didapat adalah urutan sistem pentanahan menyimpan atau meminimalkan elektroda adalah : a). Jarak grid tidak seimbang, tegangan mesh 463 volt dengan panjang elektroda 722 m b). kisi-kisi sistem 522 vlts tegangan mesh dengan panjang elektroda 1422 m dan c) sistem grid-rod Tegangan mesh 461 volt dengan 1578 m panjang elektroda.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang perbaikan sistem pentanahan peralatan pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (pltmh) jenis tanah kerikil kering (Musyahaar, 2017) Tujuan sistem pentanahan adalah untuk membatasi tegangan pada bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian tersebut dengan tanah, hingga tercapai suatu nilai yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Hasil pengukuran resistans pentanahan di lokasi yaitu 12,51 ohm pada jarak 3 meter dari PLTMH dan untuk memenuhi PUIL 2000 dari hasil perhitungan diperlukan 5 (lima) elektrode pentanahan yang dipasang paralel pada kedalaman 1,5 (satu setengah) meter dari permukaan tanah. Sehingga Resistans pentanahan total yang dihasilkan 2,52 ohm yaitu dibawah 2,63 ohm dari PUIL 2000. Sesuai dengan tujuan pentanahan bahwa arus gangguan harus 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.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang analisis sistem pentanahan dengan kontruksi berbentuk kisikisi (grid) pada switchyard gardu induk 150 kv Bantul (Grid et al., 2017) pentanahan grid pada switchyard Gardu Induk (GI). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah pada area switchyard Gardu Induk 150 kV Bantul, menggunakan metode analisis studi kasus dan akan membandingkan keadaan di lapangan dengan nilai standar yang diizinkan berdasarkan standar IEEE std 80-2000. Berdasarkan hasil analisis besarnya nilai pentanahan grid Gardu Induk Bantul adalah sebesar 0,527 Ohm. Atau selisih nilai sebesar 0,043 Ohm atau 7,54% lebih kecil dari nilai pengukuran yaitu 0,57 Ohm. Nilai tegangan sentuh sebesar 207,5 Volt untuk orang dengan berat badan 70kg, dan 153,3 Volt untuk berat badan 50Kg. dengan nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya sebesar 261,53 Volt. Nilai tegangan langkah sebesar 288,7 Volt untuk orang dengan berat badan 70kg, dan 213,3 Volt untuk berat badan 50Kg. dengan nilai tegangan langkah maksimum sebenarnya sebesar 857,4 Volt.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6 (Diamanis et al., 2018) Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain Grid Pentanahan PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 dengan kapasitas daya 2x20 MW berdasarkan metode IEEE Std 80-2000. Analisis dilakukan terhadap beberapa parameter berupa luas penampang konduktor, nilai tahanan grid pentanahan tegangan sentuh dan tegangan langkah. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa sistem pentanahan pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 dikategorikan baik dan memenuhi standar.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi) (Pranoto et al., 2018) penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis sistem secara khusus gardu induk Teling menggunakan metode konstruksi grid dengan mempertimbangkan tegangan mesh, tegangan, grid maksimum, GPR, dan resistivitas tanah. Dari hasil penelitian yang diperoleh adalah sistem pentanahan nilai resistansi sistem pentanahan peralatan gardu induk yang memenuhi standar yaitu $0,10 \Omega$ sampai $0,8 \Omega$, dibandingkan dengan hasil perhitungan yaitu grid pentanahan tanpa batang pentanahan grid resistansi ($R_g = 0,47 \Omega$) dan pentanahan grid dengan batang pentanahan ($R_g = 0,18\Omega$). Arus grid maksimum pentanahan gardu induk teling yang mampu mengalirkan tenaga ke tanah hingga 9307,8 A, dengan ukuran grid konduktor 38,72 mm² Kata Kunci: GPR, Pentanahan, Grid, Gardu Induk, Tegangan langkah, Tegangan sentuh

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem tenaga

Sistem Tenaga Listrik merupakan sekumpulan pusat listrik dan pusat beban yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi. Energi listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTP. Kemudian energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi dan didistribusikan ke beban-beban melalui saluran distribusi. Menurut (Hadi & Ervianto, 2017) Sistem tenaga listrik adalah suatu kesatuan dari beberapa sistem, yaitu sistem pembangkitan

tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, dan sistem distribusi tenaga listrik. Sistem tenaga listrik ini harus selalu dijaga secara berkelanjutan untuk dapat memenuhi kebutuhan umat manusia. Salah satu faktor yang dapat menjaga ketersediaan listrik ini adalah dari segi keamanan yang diharapkan dapat meminimalisir terjadinya gangguan. Keamanan dari sistem tenaga listrik sangat penting untuk diperhatikan, baik dari sisi peralatan yang digunakan maupun dalam penyaluran energi listrik.

2.2.2. Sistem Pentanahan

Pentanahan merupakan salah satu faktor penting dalam sistem tenaga listrik yaitu untuk memperoleh keamanan, keselamatan peralatan, keselamatan lingkungan, maupun orang yang ada di sekitarnya. Untuk mencapai tujuan yang diharapkan maka pentanahan harus mengikuti standar serta persyaratan yang berlaku. Akan tetapi, dalam hal ini sering terjadi penyimpangan hal-hal yang berkaitan dengan standar tersebut seperti kedalaman pemasangan pasak/elektroda pentanahan sehingga mengakibatkan nilai tahanan pentanahan belum mencapai $\leq 5 \Omega$ sesuai dengan yang dipersyaratkan dalam PUIL 2000 (Sudiartha et al., 2016)

Menurut (Setiawan & Syakur, 2018) Sistem pentanahan adalah faktor penting dalam pengamanan sistem tenaga listrik. Sistem pentanahan memiliki fungsi yaitu membuang arus lebih ke dalam tanah atau bumi, sehingga dapat mengamankan manusia dari gangguan listrik. Faktor yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan antara lain jenis tanah, ukuran dan jenis elektroda yang digunakan, kedalaman penanaman batang elektroda. Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh komposisi tanah, temperatur, kandungan air (kelembaban), dan kandungan kimia dalam tanah. Untuk menurunkan nilai tahanan jenis tanah yang lebih kecil dilakukan dengan perlakuan kimia tanah (soil treatment) berupa penambahan zat aditif dan penambahan kedalaman penanaman elektroda.

2.2.3. Tujuan Pentanahan

Tujuan pertama dari sistem 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 di butuhkan. 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 sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.

Dengan tercapainya potensial yang hampir 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 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 di paksakan mengalir melalui impedansi yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya.

Secara umum tujuan pentanahan ini dapat di rumuskan sebagai berikut:

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

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, maka harus memenuhi persyaratan – persyaratan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubungan (surge currents).

- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk melihat kelanjutan penampilannya sepanjang umur peralatan yang di lindungi.
- d. Menggunakan system mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Dari sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus di tanahkan yaitu :

- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dapat dengan mudah disentuh manusia. Hal ini diperlukan agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah dengan lancar.
- c. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
- d. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitannya dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Secara umum sistem pentanahan terbagi dua yaitu :

- Sistem pentanahan titik netral
- Sistem pentanahan peralatan

1. Sistem pentanahan titik netral

Menurut (Sugiharto, 2019) Sistem pentanahan titik netral ialah suatu system yang titik netral dari system tersebut sengaja di hubungkan ke tanah, baik impedansi maupun secara langsung. Adapun tujuan system pentanahan titik netral sebagai berikut :

- a. Menghilangkan gejala – gejala busur api pada suatu system.

- b. Membatasi tegangan – tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
 - c. Meningkatkan keandalan (realibility) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
 - d. Mengurangi/membatasi tegangan transient yang disebabkan oleh pelanyalaan bunga api yang berulang – ulang (restrikegroundfault).
 - e. Memudahkan dalam menentukan system proteksi serta memudahkan dalam memntukan lokasi gangguan.
2. Sistem pentanahan peralatan

Menurut (Kantor et al., 2019) Sistem pentanahan peralatan adalah pentanahan yang menghubungkan body atau kerangka bagian dari peralatan listrik terhadap titik grounding (tanah), dimana pentanahan ini pada kerja normal tidak dilalui arus.Sistem pentanahan atau pembumian peralatan ini juga tidak jauh beda dengan sistem pentanahan titik netral dimana keduanya sama-sama membuang arus atau tegangan lebih kebumi melalui elektroda pentanahan.

Pembumian peralatan bertujuan mengamankan badan peralatan pada saat kerja tidak normal atau terjadi gangguan yang seakan-akan badan peralatan tersebut bertengan yang diakibatkan oleh sambaran petir atau jebolnya isolasi pada suatu penghantar atau tersentuhnya badan peralatan pada suatu konduktor yang bertegangan sehingga badan peralatan tersebut dialiri oleh arus dan bertegangan tentu berbahaya bagi manusia, utuk itu harus diadakan pembumian. Bagianbagian yang ditanahkan pada sistem pentanahan peralatan yaitu:

- a. semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensi dari logam yang mudah disentuh selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik,

yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.

- c. Titik netral dari transformator dan titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

2.2.4. Karakteristik sistem pentanahan yang efektif

Karakteristik sistem pentanahan yang efektif antara lain adalah :

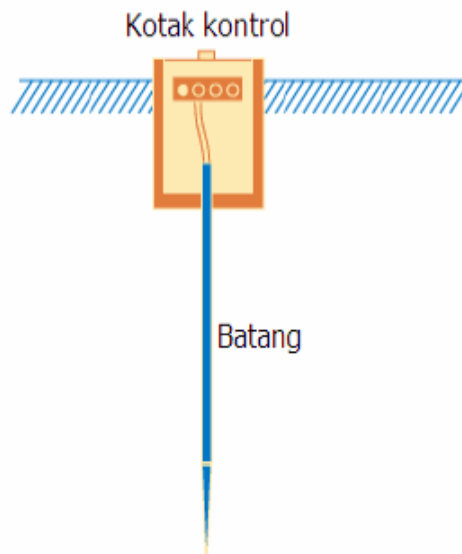
1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah – kaidah tertentu.
2. Verifikasi secara visual dapat dilakukan.
3. Menghindarkan gangguan yang terjadi pada arus listrik dari perangkat.
4. Semua komponen metal harus ditahan/diikat oleh sistem pentanahan, dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.

2.2.5. Jenis – Jenis Elektroda Pentanahan

Pada prinsipnya jenis elektroda dipilih yang mempunyai kontak sangat baik terhadap tanah. Berikut jenis – jenis elektroda pentanahan :

1. Elektroda batang

Elektroda batang ialah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang di tanamkan 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. Di samping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.



Gambar 2. 1 Elektroda batang

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang – Tunggal :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

R_G : Tahanan pentanahan (Ohm)

R_R : Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

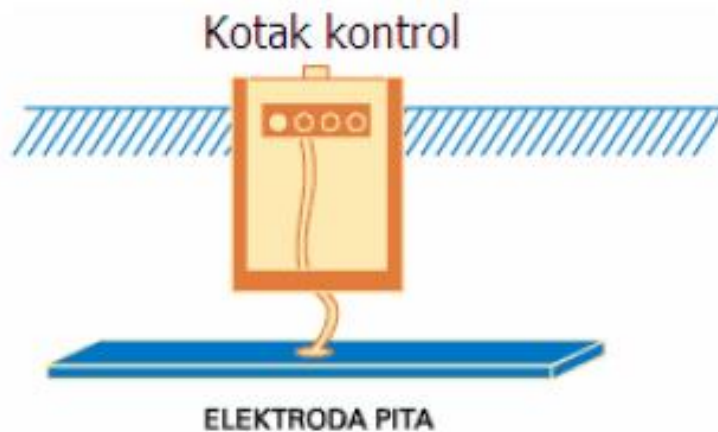
ρ : Tahanan jenis tanah (Ohm – meter)

L_R : Panjang elektroda (meter)

A_R : Diameter elektroda (meter)

2. Elektroda Pita

Elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal



Gambar 2. 2 Elektroda Pita

W_P = Lebar pelat (m)

T_P = Tebal pelat (m)

rumus perhitungna tahanan pentanahan:

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[\ln \left(\frac{2L_W}{\sqrt{D_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

R_W : Tahanan dengan kisi – kisi (grid) kawat (Ohm)

ρ : Tahanan jenis tanah (Ohm – meter)

L_W : Panjang total grid kawat (m)

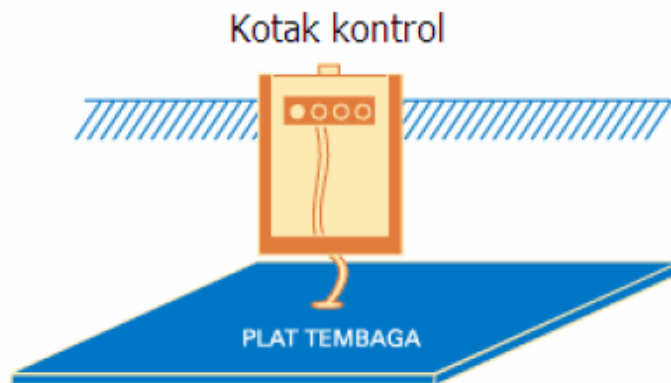
d_w : Diameter kawat (m)

Z_w : Kedalaman penanaman (m)

A_w : Luasan yang di cakup oleh grid (m²)

3. Elektroda Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini di tanam dalam. elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh menggunakan jenis – jenis elektroda yang lain.



Gambar 2. 3 Elektroda pelat

Rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln \left(\frac{8W_P}{0,5W_P + T_P} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

R_P : Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

ρ : Tahanan jenis tanah (Ohm – meter)

L_P : Panjang pelat (m)

2.2.6. Sistem Pentanahan Sebagai Konduktor

Tahanan dalam sistem pentanahan merupakan komposisi dari :

- a. tahanan pasak (elektroda pentanahan) yang terbuat dari logam dan sambungan – sambungannya.
- b. Tahanan kontak antara elektroda pentanahan dengan tanah sekitar.
- c. Tahanan tanah di sekitar elektroda pentanahan.

Pasak – pasak tanah, batang – batang logam, struktur dan peralatan lain biasa digunakan untuk elektroda pentanahan. Elektroda – elektroda ini umumnya luas penampangnya besar, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan sistem pentanahan.

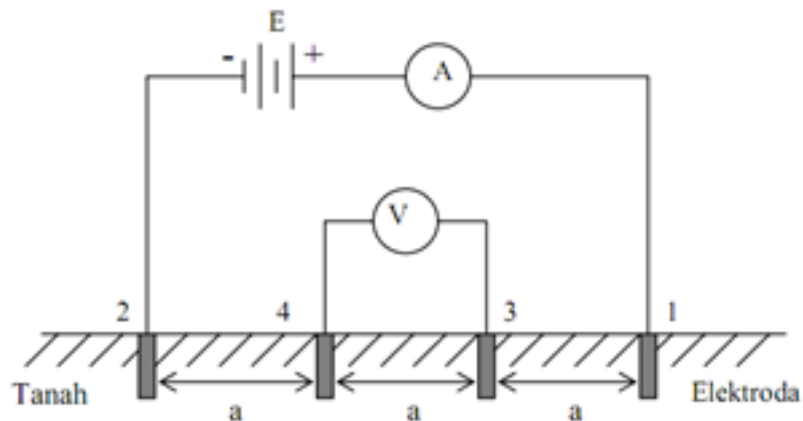
Tahanan antara elektroda dan tanah jauh lebih kecil dari yang biasanya diduga. Apabila elektroda bersih dari cat atau minyak, dan tanah dapat dipasak dengan kuat, maka Biro Standarisasi Nasional Amerika Serikat menyatakan tahanan kontak dapat diabaikan.

2.2.7. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran resistivitas tanah biasanya dilakukan dengan cara:

- Metode empat elektroda
- Metode tiga titik

Pengukuran resistivitas tanah dengan metode empat elektroda menggunakan empat elektroda, sebuah batere, sebuah ammeter dan sebuah voltmeter yang sensitive, sebagaimana terlihat dalam gambar :



Gambar 2. 4 metode empat elektroda

Bila arus I masuk ke tanah melalui salah satu elektroda dan Kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus yang masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 1 ke elektroda 2 berbentuk permukaan bola dengan jari – jari r , luas permukaan tersebut adalah $2\pi r^2$, dan rapat arus radial pada jarak r adalah $J = \frac{I}{2\pi r^2}$. Bila ρ adalah tahanan jenis tanah, maka kuat medan dalam tanah jarak r adalah $E(r) = j$.

$$E(r) = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

potensial pada jarak r dari elektroda adalah integral dari jarak gaya listrik dari jarak r ke titik tak terhingga

$$V = \int_r^\infty E r dr = \frac{I\rho}{2\pi r} \dots\dots\dots (2.5)$$

perbandingan antara tegangan dan arus atau tahanan menjadi

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

dari gambar 2.1, terlihat

$$r_{13} = r_{34} = r_{24} = a$$

jadi :

$$V_3 = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{a} - \frac{1}{2a}$$

$$V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{2a} - \frac{1}{a}$$

Beda tegangan dan resistansi antara titik 3 dan titik 4 adalah :

$$V_{34} = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} = \frac{1}{2\pi a}$$

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{I} \frac{\rho}{2\pi a}$$

jadi :

$$\rho = 2\pi a R_{34} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

J : Kerapatan Arus (A/m^2)

I : Arus Pada Ammeter (A)

a : Jarak Antar Elektroda (m)

V : Tegangan pada Voltmeter (V)

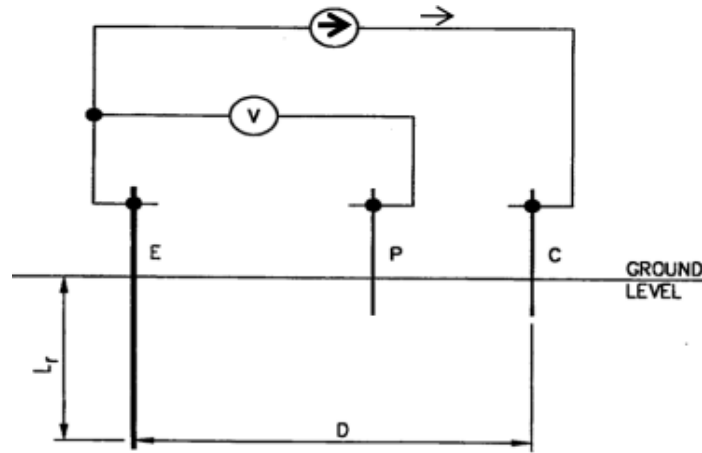
R : resistansi (Ω)

ρ : Resistivitas tanah ($\Omega - m$)

r : jari – jari permukaan bola (m)

E : Kuat medan (V/m)

Metode tiga titik dimaksudkan untuk mengukur nilai resistansi pentanahan yaitu dengan memasang tiga buah elektroda batang dengan jarak tertentu. Dengan memberikan sumber arus yang dipasang antar elektroda batang utama (E) dengan elektroda bantu (C), serta memasang voltmeter yang dipasang antara elektroda batang utama (E) dengan elektroda bantu (P), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2. 5 metode tiga titik

D adalah jarak antara elektroda batang utama (E) dengan elektroda batang bantu (C), dan elektroda batang bantu (P) dimasukkan ke tanah dengan jarak minimal $\frac{1}{2} D$ dari elektroda batang utama (E).

Setelah menetapkan besar arus yang dialirkan ke tanah dan didapatkan hasil pengukuran pada voltmeter, lalu untuk mendapatkan nilai resistansi tanahnya dapat dihitung dengan memakai persamaan :

$$V = R \cdot I \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

V = tegangan yang terukur oleh voltmeter (volt)

I = besar arus yang diinjeksikan oleh sumber arus (ampere)

R = resistansi tanah (ohm)

untuk mengetahui resistivitas tanah harus dilakukan pengukuran langsung resistansi pentanahannya dilokasi yang bersangkutan. Apabila digunakan elektroda pentanahan jenis batang yang ditanam pada kedalaman L_r , maka besar resistivitas tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\rho = \frac{2\pi L_r R}{In \frac{3L_r}{d} - 1} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

ρ = resistivitas tanah (ohm)

L_r = Panjang elektroda rod (m)

d = diameter elektroda rod (m)

r = resistansi pentanahan (ohm)

2.2.8. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah adalah tahanan listrik dari tahanan tanah yang berbentuk kubus dengan volume 1 meter kubik. Kadang - kadang tahanan jenis dinyatakan dalam ohm. Pernyataan ohm-m merepresentasikan tahanan diantara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume yang berisi 1 m³ . Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil diperlukan upaya sebagai berikut, mengetahui tahanan jenis tanah, kemudian membuat bentuk kutub tanah yang sesuai.

Menurut (Faisal et al., 2019) Jenis tanah pada dasarnya terdiri atas tanah rawa, tanah liat, tanah ladang, tanah pasir basah, tanah krikil basah, tanah pasir/krikil, dan tanah berbatu. Hal ini mempengaruhi nilai resistansi pentanahan dan kecepatan hantaran listriknya. Ada beberapa metode pengukuran resistansi tanah, yaitu dengan menggunakan metode pengukuran resistansi tanah dengan menggunakan kawat tembaga pendek yang diterapkan untuk menguji resistansi dasar, dari beberapa simulasi yang mempertimbangkan konduktor pentanahan secara simultan.

Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = 2\pi \cdot Re \dots\dots\dots (2.10)$$

ρ = resistansi jenis rata – rata tanah (ohm meter)

$$\pi = 3,14$$

Re = Diameter Elektroda (mm)

Tahanan tanah merupakan kunci utama yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah bervariasi di berbagai tempat dan cenderung berubah menurut cuaca. Tahanan tanah ditentukan juga oleh kandungan elektrolit di dalamnya, kandungan air, mineral dan garam.

Tanah yang kering umumnya mempunyai tahanan yang tinggi, namun demikian tanah yang basah juga dapat mempunyai tahanan yang tinggi apabila

tidak mengandung garam-garam yang dapat larut. Tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa tahanan suatu sistem pentanahan akan berubah sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya. Untuk memperoleh kestabilan resistansi pentanahan, elektroda pentanahan dipasang pada kedalaman optimal mencapai tingkat kandungan air yang tetap (Erliza Yuniarti, Abdul Majid, 2019)

Beberapa factor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu :

a. Kadar Garam Dalam Tanah

Garam merupakan salah satu zat kimia yang termasuk dalam elektrolit kuat (zat larut yang mampu menghantarkan arus listrik). Ion-ion garam akan bergerak bebas dalam menghantarkan listrik dari elektroda pentanahan kemudian menyebar ke seluruh tanah. Semakin banyak kandungan garam pada suatu media pentanahan maka nilai tahanan jenis tanahnya semakin rendah sehingga nilai pentanahannya pun menjadi rendah (baik). Perlu diketahui bahwa kandungan garam yang berada di tanah bagian atas akan larut di saat musim hujan sehingga perlu pemasangan elektroda pentanahan lebih dalam agar dapat memperoleh nilai tahanan yang efektif. Terdapat beberapa orang akan menambahkan zat garam pada suatu pentanahan di musim kemarau sebab untuk mengatasi nilai tahanan pentanahan yang naik di saat musim kemarau.

b. Pengaruh kandungan air (kelembaban)

Selain garam air juga termasuk zat elektrolit yang ion-ion penyusunnya dapat bergerak bebas. Kandungan air di dalam tanah akan sangat berpengaruh terhadap nilai tahanan jenis tanah. Dengan kandungan air (kelembaban) yang tinggi maka nilai tahanan jenis tanah akan rendah dan membuat nilai tahanan pentanahan akan rendah (baik) juga. Dalam pengetesan kelembaban air pada tanah merah seperti pada gambar di atas bahwa kenaikan kelembaban 10 % - 20 % akan sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai tahanan jenis tanah. Begitu pun sebaliknya penurunan kelembaban 20 % - 10 % akan sangat berpengaruh terhadap naiknya nilai tahanan pentanahan. Sedangkan kenaikan dari 20 % - 30 % yang meskipun penurunannya sedikit tapi sedikit mempengaruhi turunnya nilai tahanan jenis tanah. Itulah mengapa nilai tahanan jenis tanah di daerah rawa lebih kecil dibandingkan nilai tahanan pentanahan di daerah tanah liat, berpasir, berbatu

sebab banyak ion-ion penyusun air dapat bergerak bebas menghantarkan arus gangguan menyebar ke tanah.

c. Pengaruh temperatur

Dua hal yang mempengaruhi nilai tahanan jenis tanah, yaitu garam dan kandungan air masuk dalam kategori elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik dari elektroda ke tanah. Namun kedua hal tersebut tidak akan berfungsi apabila berada pada suhu beku, misalnya saja air di 0° C yang membuat ion-ion penyusun air tidak dapat bergerak bebas menghantarkan listrik. Oleh karena itu sistem pentanahan harus dipasang pada tanah dengan suhu jauh di atas titik beku.

Tabel 2. 1 tahanan jenis tanah

Jenis tanah	Tanah rawa	Tanah dan ladang	liat tanah	Pasir basah	Krikil basah	Pasir dan kerikil kering
Resistansi jenis tanah $\Omega.m$	30	100		200	500	1000

Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan :

1. Jenis elektroda yang di gunakan. (ada elektroda batang, pita, dan pelat).
2. Bahan elektroda (ada dari tembaga, besi, besi yang di sepul tembaga dll) > (tembaga lebih baik)
3. Kedalaman elektroda yang di pasang (khusus elektroda batang > semakin dalam semakin baik)
4. Lebar dan ketebalan elektroda yang di pasang (khusus elektroda pelat > semakin lebar dan tebal semakin baik)
5. Jumlah elektroda yang di gunakan (elektroda di pasang parallel > semakin banyak semakin baik)
6. Tahanan jenis tanahnya (semakin rendah semakin baik)

2.2.3. Pentanahan Satu Batang (Single Grounding)

Elektoda pbumian satu batang (single grounding rod) adalah elektoda dari pipa besi baja profil atau Batangan logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah secara dalam.. (Erliza Yuniarti, Abdul Majid, 2019)

Tujuan dari pentanahan satu batang adalah untuk memperoleh resistansi tanah yang rendah sehingga dapat memungkinkan arus gangguan yang terjadi dengan cepat dapat terdistribusi ke tanah.

untuk menentukan besarnya tahanan pbumian dengan satu elektroda batang dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \rho 2\pi L \ln(4La - 1) \dots\dots\dots (2.11)$$

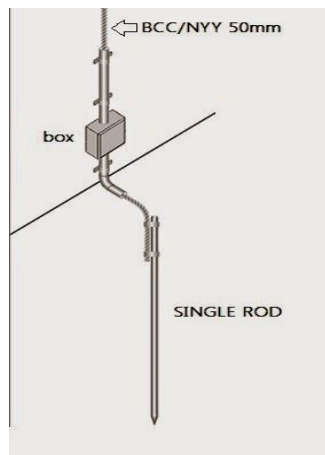
Dengan :

R : tahanan pbumian (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ωm)

L : panjang elektroda pbumian (m)

π : jari – jari elektroda pbumian (m)



Gambar 2. 6 pentanahan satu batang (single ground rod)

2.2.4. Pentanahan Paralel (Parallel Grounding)

Pemasangan dua, tiga atau lebih batang elektroda pentanahan yang dihubungkan dengan bahan konduktor secara paralel adalah sebuah metode yang sangat efektif dan mudah untuk memperkecil nilai total (R total) dari tahanan pentanahan. Umumnya batang elektroda yang diparalel ditanam berjajar

membentuk garis lurus atau yang berbentuk segi tiga, bujur sangkar, lingkaran. Jarak minimal pemasangan antara batang elektroda satu dengan elektroda lainnya (S) adalah dua kali panjang elektroda batang tunggal yang terbenam dengan tujuan untuk memperkecil interferensi/gangguan diantara elektroda batang tersebut. (Ka et al., 2020)

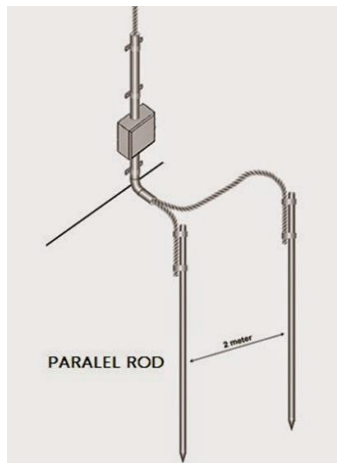
Penambahan batang logam logam atau material dapat juga di tanam dengan kedalaman tertentu, bisa juga mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. kedua Teknik ini bisa juga di terapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistansi kurang dari 5 Ohm setelah pengukuran dengan earth tester ground.

Dari uraian yang ada dalam Anomius, Electric Distribution Overvoltage Protection, dijelaskan bahwa resistans pentanahan elektroda batang paralel (Rp) dapat dihitung menggunakan rumus pendekatan konservatif dengan menganggap tahanan batang elektroda hanya dipengaruhi oleh dirinya sendiri. Rumus pendekatan untuk elektroda batang paralel adalah ;

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan:

Rtotal = Tahanan (Ω)



Gambar 2. 7 Pentanahan Paralel (Paralel Grounding)

2.2.5. Pentanahan Mesh

Pentanahan dengan mesh atau grid adalah cara pentanahan dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah,

yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (mesh/grid). Sistem pentanahan mesh/grid biasanya dipasang di gardu induk dengan tujuan mendapatkan nilai resistansi tanah yang sangat kecil (kurang dari 1 Ω) (Pranoto et al., 2018)

Keuntungan dari sistem ini adalah :

- dengan menggunakan dua atau lebih feeder.
- Merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu
- Tingkat keandalannya lebih tinggi.
- Dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki tingkat kepadatan tinggi.
- Memiliki kapasitas dan kontinuitas pelayanan sangat baik
- Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan

Sementara kelemahan dari sistem ini adalah:

- Biaya kontruksi dan pembangunan lebih tinggi
- Seting alat proteksi yang lebih sulit

Resistansi pentanahan Mesh dapat di hitung dengan menggunakan persamaan :

$$R_m = p \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

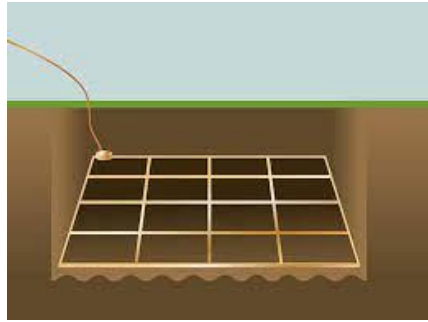
R_m : tahanan pembumian mesh (Ω)

p : tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)

L_c : total Panjang konduktoe mesh (m)

A : luas area mesh (m^2)

h : kedalaman pentanahan mesh (m)

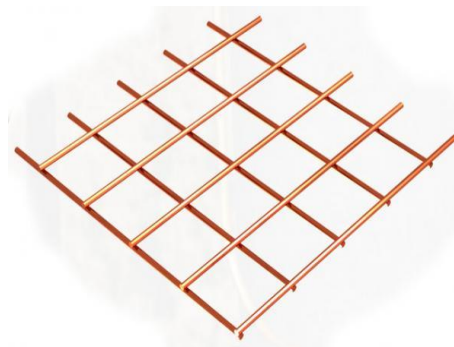


Gambar 2. 8 Pentanahan Mesh

A. Konduktor elektroda pentanahan (grounding)

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menyertai hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa elektroda pita, logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

1. Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat terbesar.
3. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
4. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.



Gambar 2. 9 Elektroda Berbentuk Kisi Grid

B. Clamp

Klem grounding terbagi dari berbagai macam bentuk yang memiliki fungsi untuk mengkoneksikan konduktor seperti kabel atau copper tape ke as grounding rod. Klem ini digunakan jika menggunakan sistem manual, bukan sistem Exothermic Cad Welding. Jenis clamp grounding ini seperti klem kuku macan, klem U bolt, Klem Kodok, dan klem lainnya yang berfungsi untuk menghubungkan konduktor dengan stik rod. Grounding rod / stik grounding / arde sangat penting untuk menjamin keamanan instalasi listrik terhadap orang di sekitarnya. Sistem pembumian sendiri dibagi menjadi dua yakni pembumian untuk instalasi listrik dan juga pembumian untuk sistem penangkal petir.



Gambar 2. 10 Clamp Grounding

C. Kabel

Kabel adalah panjang dari satu atau lebih inti penghantar, baik yang berbentuk solid maupun serabut yang masing-masing dilengkapi dengan isolasinya sendiri-sendiri dan membentuk suatu kesatuan. Penyatuan/ penggabungan satu atau lebih inti-inti pada umumnya dilengkapi dengan selubung atau mantel pelindung. Kebanyakan kabel dapat dianggap tersusun dari tiga bagian: bagian konduktor yang harus berpenampang lintang yang sesuai untuk dialiri dengan beban arus; bagian isolasi yang memiliki warna atau nomor kode untuk identifikasi; dan bagian luar yang dapat mengandung sesuatu untuk memberikan perlindungan terhadap kerusakan mekanis. (Kaspuddin et al., 2021)



Gambar 2. 11 Kabel BC

D. Air Termination

Air terminal atau head berada pada bagian ujung atas. Pada penangkal konvensional, bentuknya menyerupai ujung tombak. Sementara itu, pada penangkal elektrostatik, head cenderung lebih besar dan lebar berbentuk menyerupai payung. Fungsi air terminal adalah untuk menjadi sasaran sambaran petir. Perangkat sederhana yang lazimnya hanya menunggu datangnya petir untuk menyambar ujung penangkal. Prinsip kerjanya menangkap petir secara pasif. Berbentuk seperti tiang dan membutuhkan kabel konduktor. Karena bersifat pasif, bangunan dengan area yang luas kerap menggunakan beberapa penangkal sekaligus pada puncak atapnya. Bisa dipasang dan diaplikasikan di mana saja. Lebih ideal untuk bangunan dengan area sempit, seperti rumah tinggal.

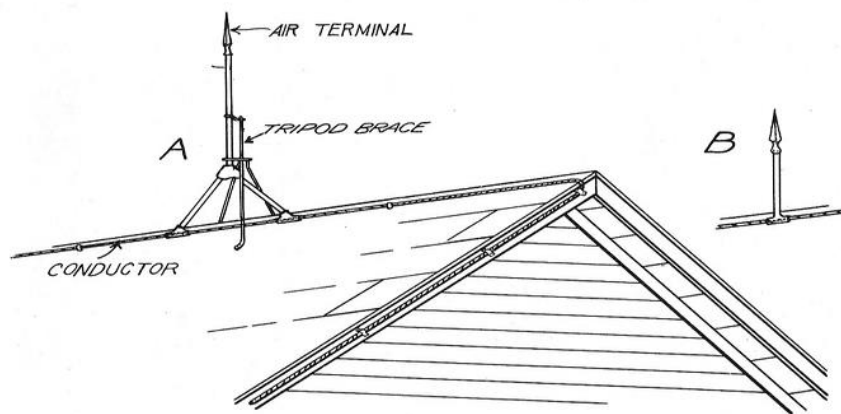


Figure 3.—A, Tripod brace supporting a long air terminal. B, Short air terminal clamped directly to conductor cable.

Gambar 2. 12 Air Termination Split

2.3.Sistem Proteksi

Menurut (Rimbawati & Yusniati, 2019) Sistem proteksi adalah suatu sistem yang dipasang untuk pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya. Keandalan suatu sistem tenaga listrik antara lain ditentukan oleh frekuensi pemadaman yang terjadi dalam sistem tersebut. Pemadaman yang terjadi pada sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh gangguan, sehingga untuk mengatasi gangguan dan meningkatkan keandalan sistem diperlukan sebuah mekanisme yang dapat menghindari frekuensi pemadaman yang terlalu sering dalam jangka waktu yang lama. Mekanisme ini dalam sistem kelistrikan dikenal dengan istilah sistem proteksi (pengaman sistem).

Menurut (Arfianto et al., 2018) Sistem proteksi petir merupakan suatu sistem yang sangat diperlukan pada saat ini, mengingat peralatan listrik semakin berkembang dengan pesat. Sistem ini melindungi kita serta peralatan listrik kita dari sambaran langsung. Di Indonesia sendiri sebagai Kawasan dengan intensitas petir yang tinggi. Secara umum, sistem proteksi petir eksternal terdiri dari dua yaitu sistem proteksi aktif dan sistem proteksi pasif.

2.4. Standar IEEE 80 – 2013

Standar IEEE 80–2013 berisi panduan keselamatan pada system pentanahan GI tegangan tinggi AC (Guide for safety in AC Substation Grounding) yang dikeluarkan oleh IEEE-SA Standar Board. IEEE 80 – 2013 adalah revisi terbaru dari versi sebelumnya yaitu IEEE 80 – 2000 yang merupakan edisi ke-5 sejak 50 tahun dikeluarkan. Standar ini merupakan hasil dari dedikasi AIEE Working Group 56.1, IEEE working group 69.1, 78.1 dan D7.

2.5. Kelapa

2.5.1. Penyebaran Kelapa

Kelapa merupakan tanaman tropis yang telah lama dikenal masyarakat Indonesia. Hal ini terlihat dari penyebaran tanaman kelapa hampir di seluruh wilayah nusantara, yaitu Sumatera dengan areal 1,20 juta hektar (32,90%), Jawa 0,903 Juta hektar (24,30%), Sulawesi 0,716 juta hektar (19,30%), Bali, NTB,

NTT 0,305 juta hektar (8,20%), Maluku dan Papua 0,289 juta hektar (7,80%), dan Kalimantan 0,277 juta hektar (7,50%).

2.5.2. Limbah Kelapa

Pada dasarnya limbah yang dihasilkan oleh kelapa sebagian besar dimanfaatkan dan diolah kembali menjadi produk maupun barang yang memiliki nilai jual yang tinggi, mulai dari akar sampai daun kelapa semua bisa digunakan oleh manusia untuk kebutuhan hidup dan kebutuhan ekonomi.

2.5.3. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa tersusun atas sel-sel batu yang berbentuk bulat dan mengalami penebalan. Kumpulan sel-sel tersebut akan membentuk jaringan penguat yang dikenal dengan seklerenkim. Sel batu itu sendiri merupakan sklereid yang berbentuk bulat dengan penebalan merata dari zat lignin yang kaku. Komposisi kimia tempurung terdiri atas; Selulosa 26,60% Pentosan 27,70%, Lignin 29,40%, Abu 0,60%, Solvent ekstraktif 4,20%, Uronat anhidrat 3,50%, Nitrogen 0,11%, dan Air 8,00%.

2.5.4. Arang Batok Kelapa

Arang adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung unsur karbon, Sedangkan arang aktif adalah arang yang diaktifkan dengan cara perendaman dengan zat kimia atau dengan cara mengalirkan uap panas ke dalam bahan, sehingga pori bahan menjadi lebih terbuka dengan luas permukaan berkisar antara 300 sampai 2000 m²/g. Permukaan arang aktif yang semakin luas berdampak pada semakin tingginya daya serap terhadap bahan gas atau bahan cairan.

2.5.5. Kandungan Arang Batok Kelapa

Arang batok kelapa memiliki beberapa kandungan di dalamnya menurut data yang meneliti beberapa limbah perkebunan yang ada di Indonesia, berikut hasil analisis beberapa bahan arang dari limbah pertanian yang ada di Indonesia.

Tabel 2. 2 Hasil analisis beberapa bahan arang dari limbah pertanian

Variabel	Tempurung	Kulit Buah	Tempurung	Sekam Padi
	Kelapa	Kakao	Kelapa Sawit	
C – organic total (%)	24,33	37,5	37,53	35,98
Asam Humat (%)	0,56	0,91	2,1	0,79
Asam Sulfat (%)	0,71	3,31	2,36	1,57
Kadar Abu (%)	2,09	13,65	10,04	27,05
Kadar N (%)	0,20	1,91	1,09	0,73
C/N Ratiio	122	20	34	49
Kadar P (%)	0,02	0,4	0,9	0,14
Kadar k (%)	0,01	0,47	0,1	0,03

2.5.6. Unsur Kalium

Sumber utama dari kalium yaitu air laut dalam bentuk silvit (KCl) dan karnalit $\text{KMgC}_{12}\text{.6H}_{20}$. Pembentukan mineral kalium terjadi dalam waktu yang sangat lama. Mineral dari air laut akan menguap dan garamnya akan mengendap sebagai mineral. Mineral tertimbun secara perlahan oleh debu dan tanah sehingga saat ini banyak di temukan tidak jauh dari pantai. Larutan garam dalam air merupakan larutan elektrolit, yaitu larutan yang dapat menghantarkan arus listrik.

2.5.7. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa hasil pembakaran yang mempunyai luas permukaan yang sangat besar yaitu 200 sampai 2000m²/g dan mengandung 85-95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Luas permukaan yang sangat besar ini disebabkan karena karbon mempunyai struktur pori-pori (*Internal Surface*). Pori – pori inilah yang menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap gas atau zat yang berada dalam larutan.

2.6. Tegangan dan Faktor Geometri

Parameter tegangan pada sistem pentanahan menjadi faktor penentu akhir apakah sistem pentanahan yang di rancang memenuhi kriteria yang diizinkan atau tidak. Parameter tegangan terdiri dari tegangan sentuh dan tegangan Langkah.

2.6.1. Tegangan Sentuh



Gambar 2. 13 tegangan sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang timbul antara dua bagian yang dapat tersentuh dengan serempak karena terjadi kegagalan isolasi. Besaran tegangan sentuh pada tubuh manusia dapat di pengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya tahanan tubuh manusia, dan jenis sistem pembumian yang di gunakan. Tegangan sentuh sebenarnya adalah tegangan pada peralatan yang di tanahkan ke dalam daerah yang membentuk konduktor kisi-kisi selama gangguan tanah . Pada konduktor kisi-kisi arus yang mengalir tidak sama, dikarenakan tahanan jenis tanah pada kenyataan pun tidak merata (Latifah & Haddin, 2019). Tegangan sentuh sebenarnya dapat dilihat pada persamaan :

$$E_{sm} = \frac{\rho I_k K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

ρ = tahanan jenis tanah

I_k = Besaran arus yang melalui beban

K_m = nilai konstanta tegangan sentuh yang sebenarnya

K_i = Faktor koreksi untuk ketidak merataan kerapatan arus

L_c = Total Panjang konduktor grid

L_r = total Panjang batang rod

Standar toleransi tegangan sentuh yang diizinkan dengan asumsi berat badan mausia 50Kg dan 70Kg dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$E_{touch\ 50} = (1000 + 1.5C_s \times \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \text{ volt} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$E_{touch\ 70} = (1000 + 1.5C_s \times \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t_f}} \text{ volt} \dots\dots\dots(2.16)$$

C_s adalah faktor reduksi nilai tahanan jenis permukaan tanah (Surface layer derating factor) yang mempengaruhi tegangan sentuh sebagai efek dari penggunaan lapisan material dengan tahanan jenis ρ_s pada permukaan tanah dengan ketinggian h_s . Nilai C_s dapat di peroleh dengan menggunakan persamaan empiris :

$$C_s = \frac{0.009 (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \times h_s + 0.009} \dots\dots\dots(2.17)$$

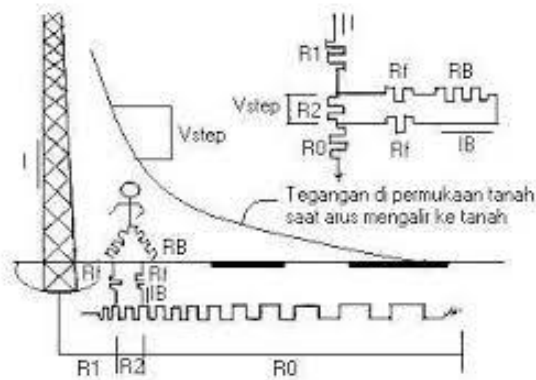
Dimana :

ρ_s = Tahanan jenis permukaan material (lapisan batu koral)

t_f = durasi/lama gangguan (waktu pemutusan), (s)

h_s = adalah ketebalan lapisan material pentanahan.

2.6.2. Tegangan Langkah



Gambar 2. 14 tegangan langkah

Tegangan Langkah adalah perbedaan tegangan permukaan tanah yang terjadi pada saat mengalirnya arus tanah, antara dua kaki manusia berjarak 1 m satu dengan yang lain (Panjang Langkah = ± 1m) tanpa orang tersebut menyentuh benda apapun yang di ketanahkan (Bernoulli et al., 2020). Tegangan Langkah ini terdiri dari tegangan Langkah yang diizinkan untuk keamanan

manusia di rumuskan dengan persamaan (2.11) – (2.12). dan tegangan Langkah sebenarnya di rumuskan dengan persamaan (2.13).

$$E_{step50} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t_f}} \dots\dots\dots (2.19)$$

besarnya tegangan Langkah sebenarnya yang akan muncul pada permukaan tanah sebanding dengan arus gangguan tanah yang terjadi.

$$E_s = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_G}{L_s} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

K_s = factor geometrik tegangan langkah

L_s = adalah total Panjang efektif konduktor tertanam yang mempengaruhi tegangan step

K_s diperoleh dari persamaan (2.21)

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \dots\dots\dots (2.22)$$

panjang konduktor efektif L_s merupakan perpaduan antara Panjang konduktor grid dan Panjang konduktor rod yang mempengaruhi tagangan Langkah dengan komposisi yang dirumuskan pada persamaan (2.23)

$$L_s = 0.75L_c + 0.085L_R \text{ meter} \dots\dots\dots(2.24)$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan waktu

3.1.1. Tempat

Dalam pelaksanaan Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh ini dilakukan di Desa Rumah Sumbul dusun Bintang Asih kecamatan Tiga Juhar, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan perancangan ini dilakukan dalam waktu 6 bulan yang dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian ini diawali dengan kajian awal (Tinjauan Pustaka), Studi literatur, pengumpulan data yang diperlukan untuk perancangan, serta hasil perancangan dan terakhir kesimpulan dan saran. Rincian pada perancangan ini seperti tabel berikut.

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

3.2. Survei Lapangan

Kegiatan survei lapangan dilakukan untuk terjun langsung dalam mengamati dan mengetahui kondisi riil lapangan serta untuk mendapatkan informasi-informasi penting lain yang terkait guna melengkapi data-data yang diperlukan dalam penelitian. kegiatan yang dilakukan pada saat survei lapangan antara lain :

1. mendapatkan foto situasi di lapangan
2. mengetahui jenis tanah pada lokasi

3.3. pengambilan data

Data yang digunakan di adalah data yang diperoleh dari hasil penelitian ini di tanah liat dan tanah ladang, Adapun data-data yang dimaksud adalah :

- Pengaruh Panjang sisi elektroda mesh terhadap nilai resistansi pentanahan
- pengaruh kedalaman elektroda mesh pada nilai resistansi pentanahan

3.4. Alat dan bahan

Bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

3.4.1. Alat Penelitian

Tabel 3. 2 Daftar Alat

No	Nama Alat	Spesifikasi Alat
1	Digital earth tester resistance model 4105 A	Sebagai alat ukur tahanan sistem pentanahan (grounding)
2	Meteran	Sebagai pengukur jarak batang elektroda
3	Kabel Penghubung	Sebagai penghantar sambaran petir
4	Martil	Sebagai alat untuk memukul batang elektroda
5	Cangkul dan sekop	Sebagai alat untuk menggali tanah untuk menanamkan jala (mesh)

3.4.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan–bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

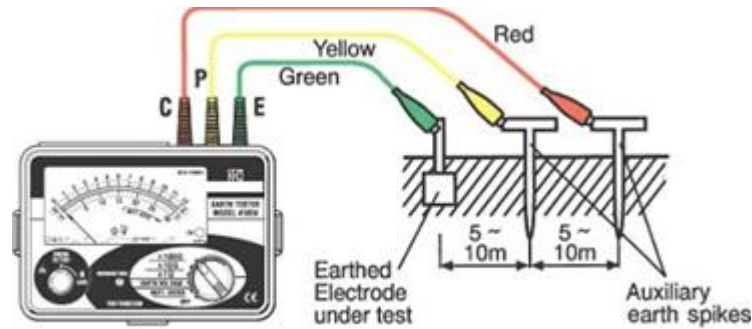
Tabel 3. 3 Daftar Bahan

No	Nama Bahan	Spesifikasi Bahan
1	Elektroda Batang 10mm	Sebagai media penampang ke tanah
2	Elektroda Mesh 10mm	Sebagai media penampang ke tanah
3	Arang Tempurung Kelapa	Sebagai zat elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik
4	Tanah liat dan tanah ladang	Untuk mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik

3.5. Rangkaian Pengukuran Resistansi Pentanahan

Untuk mendapatkan nilai resistivitas tanah yang akurat perlu dilakukan pengukuran secara manual pada daerah yang akan dilakukan perancangan pentanahan dengan menggunakan metode tiga titik. Pengukuran tahanan pentanahan jenis elektroda batang menggunakan metode tiga titik. Dalam penempatan elektroda–elektroda adalah pertama elektroda batang (P) ditanam di tengah–tengah elektroda batang (E) dan (C). Kedua elektroda batang (E) ditanam dengan jarak 5 meter dari elektroda batang (E), dan yang ketiga elektroda (C) ditanam dengan jarak 5 meter dari elektroda batang (P). Apabila diperoleh tiga pembacaan yang sesuai satu dengan yang lainnya dalam batas ketelitian pengukuran yang dilakukan, maka nilai tahanan dari hubungan tanah adalah harga rata–rata pembacaan tersebut. Namun, bila tidak ada kesesuaian maka elektroda batang (C) dipindahkan dan ditanam pada jarak yang lebih jauh dari elektroda

batang (P). Kemudian sekali lagi diambil tiga pembacaan yang sesuai. Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode tiga titik dengan menggunakan alat ukur yaitu earth ground tester model 4105 A yang ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Rangkaian pengukuran resistansi pentanahan

3.5.1. Pemilihan luas penampang

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

$$A_{mm^2} = \frac{I_{rms}}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r^r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_c}\right)}} \dots\dots\dots(3.1)$$

A_{mm^2} adalah luas penampang konduktor pentanahan (mm^2), I_{rms} adalah arus gangguan (kA), TCAP adalah kapasitas termal per unit volume ($J/cm^3 \cdot ^\circ C$), t_c adalah durasi gangguan (s), α_r adalah koefisien panas resistivitas material pada temperature T_r ($1/^\circ C$), ρ_r adalah tahanan konduktor pentanahan pada temperature T_r ($\mu\Omega \cdot cm$), K_0 koefisien, yang nilainya $\frac{1}{\alpha_0}$ atau $\frac{1}{\alpha_r} - T_r$ ($^\circ C$), T_m adalah batas temperature maksimum yang dapat ditahan material ($^\circ C$), T_a temperature tanah disekitar lokasi ($^\circ C$).

Nilai $\alpha^r, \rho_r, T_m, K_0$ dan TCAP (Kapasitas Termal per satuan volume ($Joule/cm^3 \cdot ^\circ C$)) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 3. 4 Parameter berdasarkan konduktor yang digunakan

Material	Kondiktifitas material (%)	α_r pada 20 _o (1/ ^o c)	$K_o = \frac{1}{\alpha_r}$	Temperaturre maksimum TM(°C)	P_r pada 20°C ($\mu\Omega \cdot cm$)	Kapasitas thermal TCAP ($J/cm^3 \cdot ^\circ C$)
Tembaga pilin lentur	100,1	0,00393	234	1083	1,72	3,42
Tembaga umum kaku	97,0	0,00381	242	1084	1,78	3,42
Tembaga lapis baja-kabel	40,0	0,00378	245	1084	4,40	3,85
Tembaga lapis baja-kabel	30,0	0,00378	245	1084	5,86	3,85
Batang tembaga lapis baja	20,0	0,00378	245	1084	8,62	3,85
Alumunium tipe EC	61,0	0,00403	228	657	2,86	2,56
Campuran aluminium 5005	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,60
Campuran alumunium 6201	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,60
Kabel alumunium lapis baja	20,3	0,00360	258	657	8,48	3,58
Baja 1020	10,8	0,00160	605	1510	15,90	3,28
Batang stainless lapis baja	9,8	0,00160	605	1400	17,50	4,44
Batang zinc berlapis baja	8,6	0,00320	293	419	20,10	3,93
Stainless baja 304	2,4	0,00130	749	1400	72,00	4,03

3.5.2. Pengukuran Pentanahan Grid

Pengukuran tahanan pentanahan grid dilakukan dengan cara menghubungkan kabel earth tester warna hijau dengan konduktor pada grid. dan menancapkan dua batang elektroda ke tanah, masing–masing elektroda dihubungkan dengan kabel warna kuning dan kabel warna merah. Grid ditanam ke tanah minimal 0,5 meter. Semakin dalam grid yang ditanam semakin bagus nilai pentanahan yang didapat.

Grid yang telah ditanamkan ketanah kemudian dipasangkan elektroda batang. Elektroda batang ditanamkan ditengah – tengah grid, fungsi elektroda batang yang ditanamkan ini adalah untuk memperkecil nilai tahanan pentanahan.

Semakin kecil nilai pentanahan yang didapat semakin bagus sesuai standar pentnahan adalah < 5 Ohm.

Rumus tahanan grid oleh IEEE std 80 – 1986 diperoleh persamaan untuk kedalaman konduktor $0 \text{ m} < h < 2,5 \text{ meter}$:

$$R_G = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

R_G : Tahanan pentanahan grid (Ohm)

ρ : Tahanan jenis tanah (Ohm)

L : Panjang konduktor (m)

r : jari – jari konduktor (m)

A : Luas area pentanahan (m^2)

h : Kedalaman penanaman konduktor (m)

3.5.3. Penentuan Arus Grid Maksimum

Arus grid maksimum merupakan arus terbesar yang mengalir pada grid pentanahan pada saat terjadi gangguan. Nilai arus grid maksimum dapat ditentukan dengan persamaan 3.18

$$I_G = D_f \cdot I_g \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan nilai I_g yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_g = I_f \cdot S_f \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan memasukkan persamaan (3.3) ke dalam persamaan (3.4), maka didapatkan persamaan akhir untuk menghitung arus grid maksimum sebagai berikut :

$$I_G = D_f \cdot I_f \cdot S_f \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana : D_f adalah factor pengurangan (decrement factor), I_f adalah arus hubung singkat (A) S_f adalah factor pembagi (division factor)

3.5.4. Perhitungan Ground Potensial Rise (GPR)

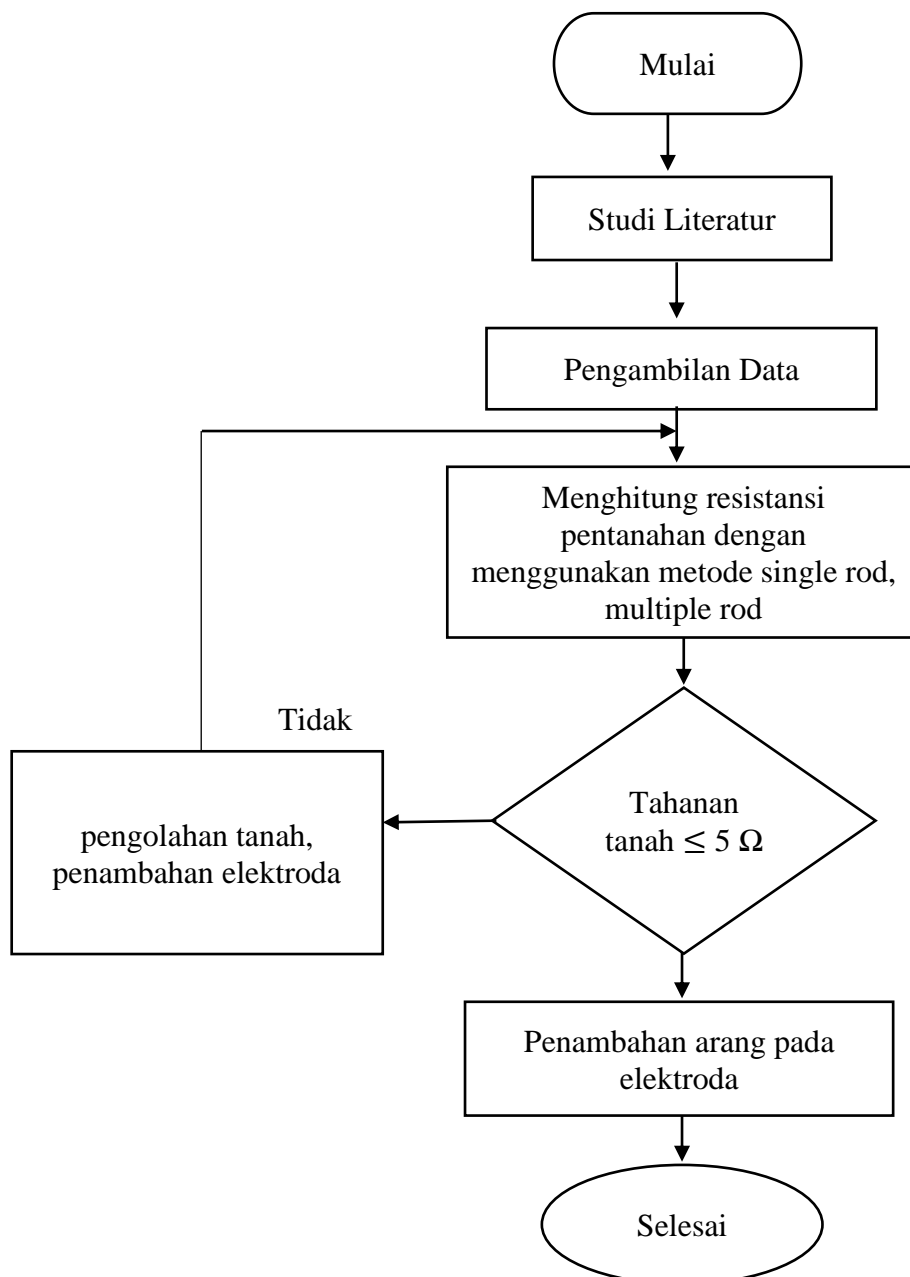
Ground Potensial Rise (GPR) adalah suatu tegangan maksimum yang dapat dicapai oleh suatu grid pentanahan yang dapat diperoleh dengan persamaan 3.2

$$GPR = RG \cdot IG$$

RG adalah resistansi grid pentanahan (Ω), IG adalah arus grid maksimum (A)

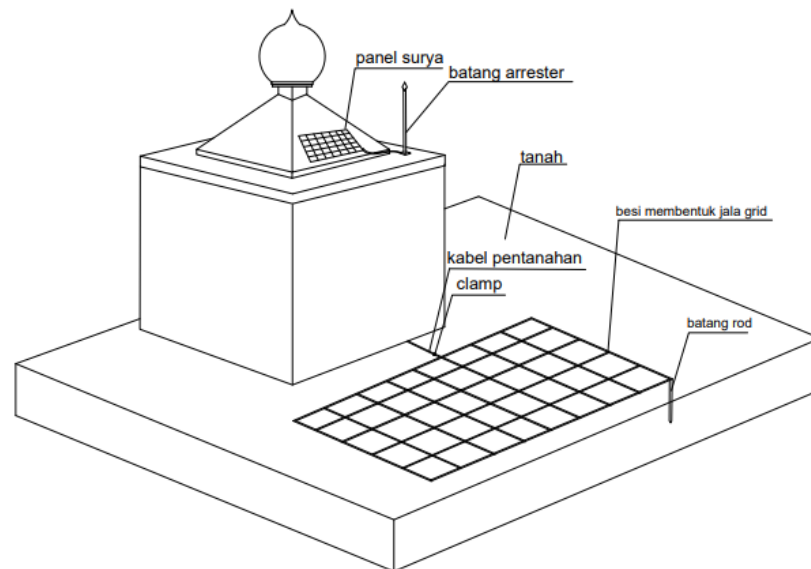
3.6. Diagram Alir Penelitian

Bagan alur 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 yang dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.7. Perancangan Pentanahan



Gambar 3. 3 Perancangan Sistem Pentanahan

A. Prinsip kerja sistem pentanahan

Prinsip kerja pentanahan secara singkat adalah Ketika ada petir, batang penyalur petir yang terletak diatas bangunan akan menjadi sasaran petir. Hal ini disebabkan, batang penyalur petir yang runcing dan tinggi serta memiliki kualitas penghantar yang baik maka akan cenderung lebih mudah untuk dilalui muatan listrik petir. Selanjutnya, muatan listrik petir akan segera menuju bagian kabel penyalur petir atau kabel konduktor sehingga akan lebih cepat sampai ke tanah (grounding). Mengingat besarnya muatan listrik yang berasal dari petir, maka selain kualitas konduktor yang baik, ukuran diameter kabel penyalur petir juga tidak boleh yang kecil. Dan yang lebih penting lagi nilai tahanan listrik untuk penyalur petir tidak boleh diatas 5 ohm. Namun ahli penyalur petir biasanya akan merekomendasikan tahanan dibawah 2 ohm. Semakin kecil nilai hambatan nya akan semakin baik.

Untuk menjelaskan prinsip kerja penyalur petir ini dapat dimulai dari bagian alat penyalur petir yaitu batang penyalur petir. Konduktor dan sistem pentanahan. Prinsip kerja penyalur petir konvensional yaitu membuat jalan yang lebih cepat mencapai tempat pembumian. Sehingga dengan begitu petir tidak akan

melewati jalan lain yang lebih sulit (yaitu bangunan area area proteksi). Oleh karena itu bahan yang di gunakan harus sesuai dengan cara kerja penyalur petir, dimana secara keseluruhan harus memiliki nilai konduktivitas yang baik. Jika kualitas bahan yang digunakan memiliki nilai kualitas penghantar yang buruk, maka nilai hambatannya akan besar, dan membahayakan bangunan.

Jika pemasangan alat penyalur petir tidak bagus dan mengesampingkan prinsip kerja penyalur petir, maka dikhawatirkan penyalur petir gagal bekerja. Contoh prinsip kerja penyalur petir yang gagal yaitu , jika nilai tahanan petir besar akibat kualitas bahan yang buruk, maka Ketika sambaran petir yang besar datang, muatan listrik yang seharusnya dapat dengan lancar mengalir ke bagian pembumian, akan terhambat dan tertahan. Akibatnya, jika ada petir lagi, muatan petir yang pertama belum sempat di netralkan, dan petir susulan ini tidak dapat menuju tanah sehingga akan menyambar bangunan. Atau jika tidak, akan muncul slide flashing (lompatan bunga listrik) sehingga dapat menyebabkan lonjakan tegangan listrik yang dapat merusak perangkat elektronik penting.

3.8. Prosedur Perancangan

Perancangan dan pengambilan data direncanakan sesuai dengan persetujuan pembimbing yang bertempat di desa Rumah Sumbul, Kecamatan Sinembah Tanjung Muda Hulu, Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. mempersiapkan alat dan bahan yang akan dilakukan dalam merancang sistem pentanahan mesh
2. menentukan titik penanaman elektroda batang pada daerah yang akan dilakukan pentanahan
3. melakukan pengukuran nilai resistansi pentanahan
4. mengecek tegangan baterai earth tester dengan cara menghidupkan earth tester dan memencet tombol “BATT CHECK”
5. membuat pengujian dengan menggunakan metode tiga titik dengan jarak minimal 5 meter dan maksimal 10 meter
6. melakukan pengukuran terhadap tegangan terukur pada tanah. Jika tegangan tanah yang terukur lebih besar dari 10 volt maka kemungkinan

terjadinya kesalahan dalam pengukuran nilai resistansi pada tanah akan besar

7. melakukan pemeriksaan terhadap konektor elektroda utama dan elektroda bantu dengan mengatur range 100Ω
8. melakukan resistansi pentanahan
9. mencatat nilai hasil pengukuran.
10. tahapan diatas diulangi untuk kondisi tanah yang berbeda

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Sistem Pentanahan

Menentukan lokasi yang akan dilakukan pemasangan grounding, harus diperhatikan kontur tanah juga memiliki pengaruh terhadap sistem pentanahan, lakukan pencarian tanah yang mudah di tancapkan batang elektroda, usahakan tanah diarea tersebut tidak berbatu dan tidak terdapat akar pohon disekitarnya agar penanaman batang elektroda tidak terlalu susah. Lakukan penggalian tanah dengan ukuran 60×60 kedalaman 50cm, tancapkan batang elektroda di tanah yang sudah di gali jika sudah di tancapkan dengan kedalaman yang sudah di tentukan lalu ukur dengan menggunakan *Earth Tester Kyoritsu 4012 A*.



(a)



(b)



(c)

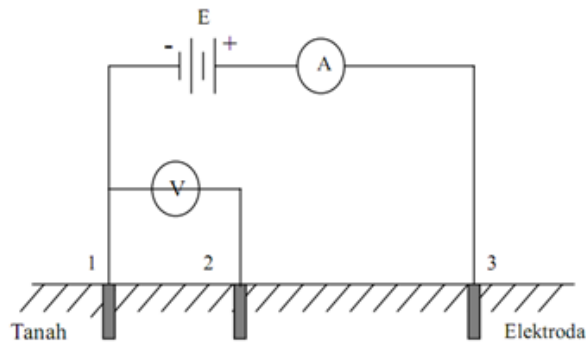
Gambar 4. 1 Perancangan sistem pentanahan

(a) Kontur tanah di area sekitar (b) Penanaman batang elektroda (c) pengukuran menggunakan Earth tester

Jika nilai resistansi pada tanah yang ada di area sekitar sudah didapatkan maka sudah bisa dilakukan penelitian menggunakan arang batok kelapa, dan di tanam, dimulai dari jarak 50cm, 100cm, 150cm, sampai kedalaman 200cm.

4.1.1. Cara Pengukuran menggunakan Earth Tester

Pengujian nilai tahanan pentanahan dilakukan dengan menggunakan alat ukur digital earth tester kyoritsu model 4102 dengan menggunakan metode 3 titik (three point method). metode 3 titik (three-point method) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pengetahuan. 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 apa yang terlihat pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Metode tiga titik

Langkah pertama yang dilakukan pada pengukuran menggunakan Earth Tester Kyoritsu Model 4102

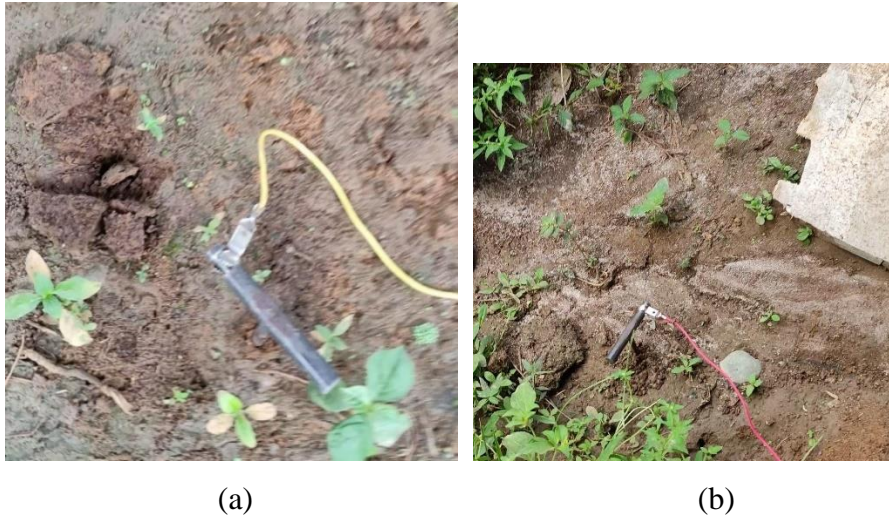


Gambar 4. 3 Earth Tester Kyoritsu Model 4102

Mengecek baterai pada Earth Tester dengan memencet tombol “Off Batt Check” Jika jarum earth tester berada di tulisan GOOD maka baterai pada earth tester masih dalam kondisi bagus, namun jika berada di tulisan BATT atau di bawahnya maka baterai pada earth tester dalam kondisi low.

Langkah kedua yaitu membuat pengujian seperti pada gambar 3.1 dengan menanam elektroda utama dan elektroda bantu, menanam elektroda dengan memukul kepala elektroda dengan menggunakan martil, jika menjumpai lapisan tanah yang keras maka jangan memaksakan penanaman elektroda.

menentukan jarak antar elektroda bantu minimal 5 meter dan maksimal 10 meter.



(a)

(b)

Gambar 4. 4 Elektroda bantu

(a) Kabel penghubung pada elektroda bantu 1 (b) Kabel penghubung pada elektroda bantu 2

Jika semua kabel sudah terhubung maka Langkah selanjutnya mengukur nilai resistansi pentanahan menggunakan earth tester Kyoritsu Model 4102



Gambar 4. 5 Earth Tester Kyoritsu Model 4102

dimulai dari memencet tombol $\times 100\Omega$ lalu memencet tombol MEAS, jika jarum pada earth tester bergerak maka nilai tahanan akan dikali kan dengan 100 kalau jarum pada earth tester tidak bergerak maka dilanjutkan dengan $\times 10\Omega$ lalu memencet tombol MEAS, jika jarum bergerak maka nilai tahanan akan dikali kan dengan 10Ω kalau tidak bergerak maka dilanjutkan dengan $\times 1\Omega$ jika jarum pada earth tester bergerak maka nilai tahanan akan dikali kan 1.

4.2. Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Sebelum Penambahan arang Pada Kedalaman 50 – 200 cm.

No	Hari dan tanggal	Faktor Cuaca	Pukul	Variasi Kedalaman	Nilai tahanan tanah (Ω)
1	Selasa 30 Agustus 2022	Cerah	08:00	50	18,4
			08:00	100	15,6
			08:00	150	13,6
			08:00	200	11,8
2	Rabu 31 Agustus 2022	Cerah	08:00	50	14,8
			08:00	100	12,8
			08:00	150	11,5
			08:00	200	10,1
3	Kamis 1 September 2022	Cerah	08:00	50	11,6
			08:00	100	8,6
			08:00	150	6,7
			08:00	200	6,2

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Setelah Penambahan Arang Pada Kedalaman 50 – 200 cm

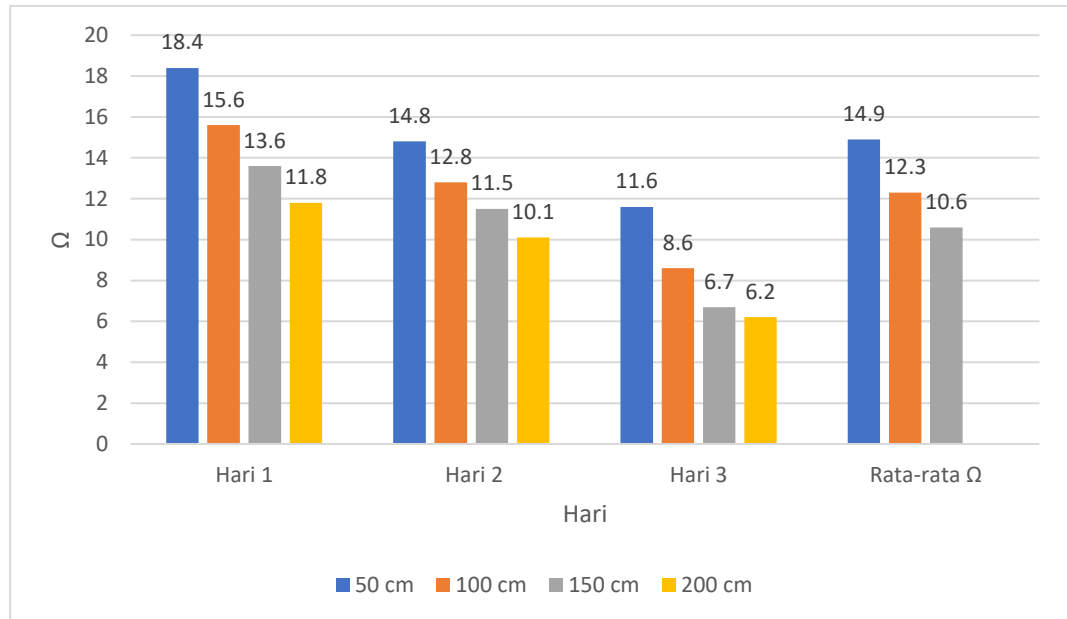
No	Hari dan tanggal	Faktor Cuaca	Pukul	Variasi Kedalaman	Nilai tahanan tanah (Ω)	Penambahan Arang
1	Selasa 30 Agustus 2022	Cerah	09:00	50	11,4	0,5
			09:00	100	8,8	1
			16:00	150	6,2	1,5
			16:00	200	5,4	2
2	Rabu 31 Agustus 2022	Cerah	09:00	50	8,8	0,5
			09:00	100	7,5	1
			16:00	150	6,2	1,5
			16:00	200	4,8	2
3	Kamis 1 September 2022	Cerah	09:00	50	7,2	0,5
			09:00	100	6,5	1
			16:00	150	5,6	1,5
			16:00	200	4	2

4.3. Pengukuran Nilai Pentanahan Sebelum Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dengan Variasi Kedalaman

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Penambahan Arang Tempurung Kelapa.

No	Kedalaman Eelektroda (cm)	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata – rata (Ω)
1	50	18,4	14,8	11,6	14,9
2	100	15,6	12,8	8,6	12,3
3	150	13,6	11,5	6,7	10,6
4	200	11,8	10,1	6,2	9,3

Pada gambar 4.6 merupakan hubungan nilai tahanan pentanahan sebelum penambahan arang dengan variasi kedalaman, terlihat pada kedalaman 50 cm nilai rata-rata tahanan pentanahan sebesar 14,9 Ω , sedangkan pada kedalaman 200 cm, nilai rata-rata pentanahan sebesar 9,3 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 pentanahan semakin kecil



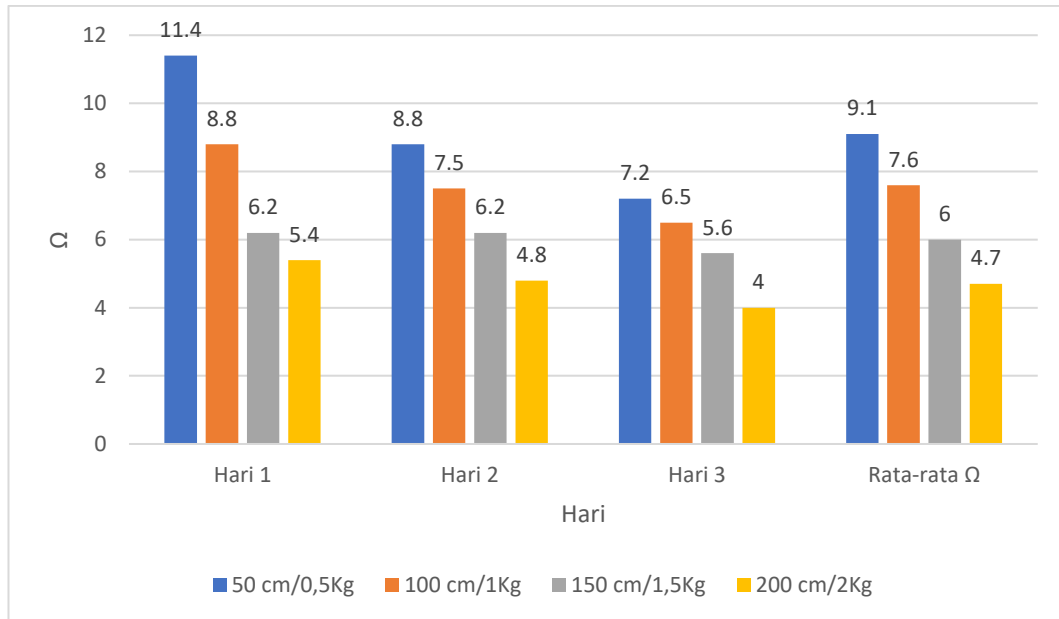
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Sebelum Penambahan Arang

4.4. Pengukuran Nilai Pentanahan Setelah Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dengan Variasi Kedalaman

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sesudah Penambahan Arang Tempurung Kelapa.

No	Kedalaman Eelektroda (cm)	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata – rata (Ω)
1	50	11,4	8,8	7,2	9,1
2	100	8,8	7,5	6,5	7,6
3	150	6,2	6,2	5,6	6
4	200	5,4	4,8	4	4,7

Pada Gambar 4. 7 ini menunjukkan hubungan nilai tahanan pentanahan sesudah penambahan arang dengan variasi kedalaman adalah berbanding terbalik, terlihat pada kedalaman 50 cm dengan penambahan arang 0,5 Kg nilai rata-rata pentanahan sebesar 9,1Ω, sedangkan pada kedalaman 200 cm dengan penambahan arang 2 Kg, nilai rata-rata pentanahan sebesar 4,7Ω. 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 pentanahan akan semakin kecil.



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Setelah Penambahan Arang

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

4.5. Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang Batok Kelapa Dengan Variasi Kedalaman

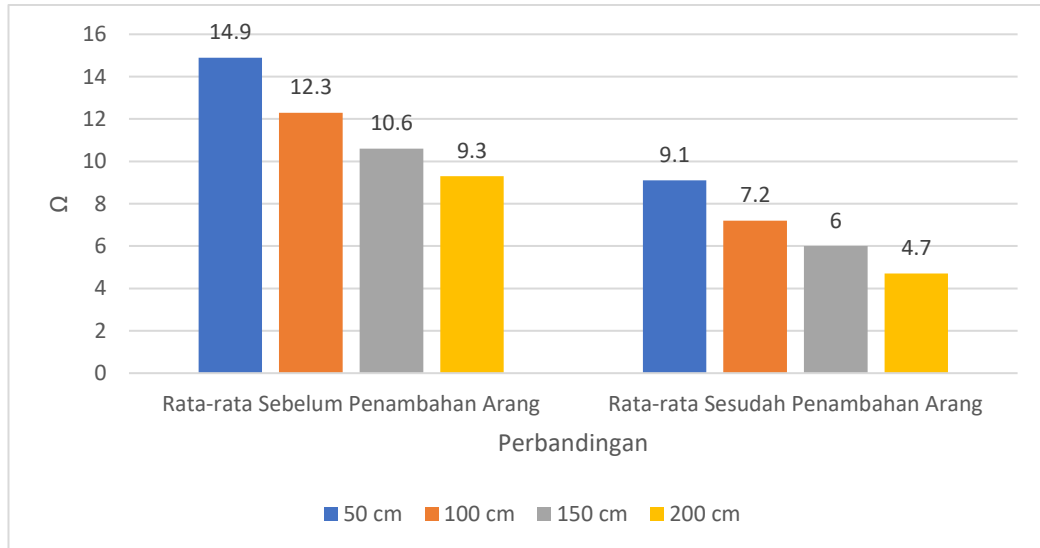
Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah penambahan Arang Tempurung Kelapa dan dengan variasi kedalaman yang ditunjukkan pada table 4.3 dibawah ini

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang Tempurung Kelapa.

No	Kedalaman Elektroda (cm)	Rata- rata sebelum penambahan Arang (Ω)	Rata- rata sesudah penambahan Arang (Ω)
1	50	14,9	9,1
2	100	12,3	7,6
3	150	10,6	6
4	200	9,3	4,7

Pada tabel 4. 5 menunjukkan bahwa sesudah penambahan arang tempurung kelapa menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang kecil daripada sebelum

penambahan arang. Hal ini terlihat pada data hasil pengukuran sebelum penambahan dengan kedalaman 200 cm adalah $9,3\Omega$, sedangkan sesudah penambahan arang dengan kedalaman 200 cm dengan penambahan arang 2 kg adalah $4,7\Omega$. Hal ini dikarenakan sifat arang tempurung kelapa dapat menurunkan nilai resistansi pada tanah.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Sebelum Penambahan Dan Sesudah Penambahan Arang

4.6. Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang Tempurung Kelapa

A. Sebelum penambahan Tempurung kelapa

Berdasarkan persamaan 2.10

$$\rho = 2\pi \cdot Re$$

maka :

Dari data pada kedalaman 50 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 14,9 \Omega \\ &= 935,72 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 100 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 12,3 \Omega \\ &= 772,44 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 150 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 10,6 \Omega \\ &= 665,68 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 200 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 9,3 \Omega \\ &= 584,04 \Omega \end{aligned}$$

B. Sesudah Penambahan Arang Tempurung Kelapa

Dari data pada kedalaman 50 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 9,1 \Omega \\ &= 571,48 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 100 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 7,6 \Omega \\ &= 477,28 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 150 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 6 \Omega \\ &= 376,8 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 200 cm diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \text{nilai } \rho &= 2 \times 3,14 \times 10\text{mm} \times 4,7 \Omega \\ &= 295,16 \Omega \end{aligned}$$

4.7. Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Pada Sistem Pentanahan Mesh

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Pada Sistem Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang

No	Hari dan tanggal	Faktor Cuaca	Pukul	Variasi Kedalaman	Nilai tahanan tanah (Ω)
1	Kamis 22 September 2022	Cerah	09:00	50	6,4
			09:00	100	5,8
			16:00	150	3,6
			16:00	200	3,1
2	Jum'at 23 September 2022	Cerah	09:00	50	6,4
			09:00	100	5,6
			16:00	150	3,4
			16:00	200	3,1
3	Sabtu 24 September 2022	Cerah	09:00	50	6,0
			09:00	100	5,2
			16:00	150	3,4
			16:00	200	3,2

Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Pada Sistem Pentanahan Mesh Setelah Penambahan Arang

No	Hari dan tanggal	Faktor Cuaca	Pukul	Variasi Kedalaman	Nilai tahanan tanah (Ω)	Penambahan Arang (Kg)
1	Kamis 22 September 2022	Cerah	09:00	50	5,2	0,5
			09:00	100	3,6	1
			16:00	150	2,8	1,5
			16:00	200	1,6	2
2	Jum'at 23 September 2022	Cerah	09:00	50	5,4	0,5
			09:00	100	4,2	1
			09:00	150	3	1,5
			09:00	200	2,2	2
3	Sabtu 24 September 2022	Cerah	09:00	50	5,1	0,5
			09:00	100	3,4	1
			09:00	150	3,2	1,5
			16:00	200	1,2	2

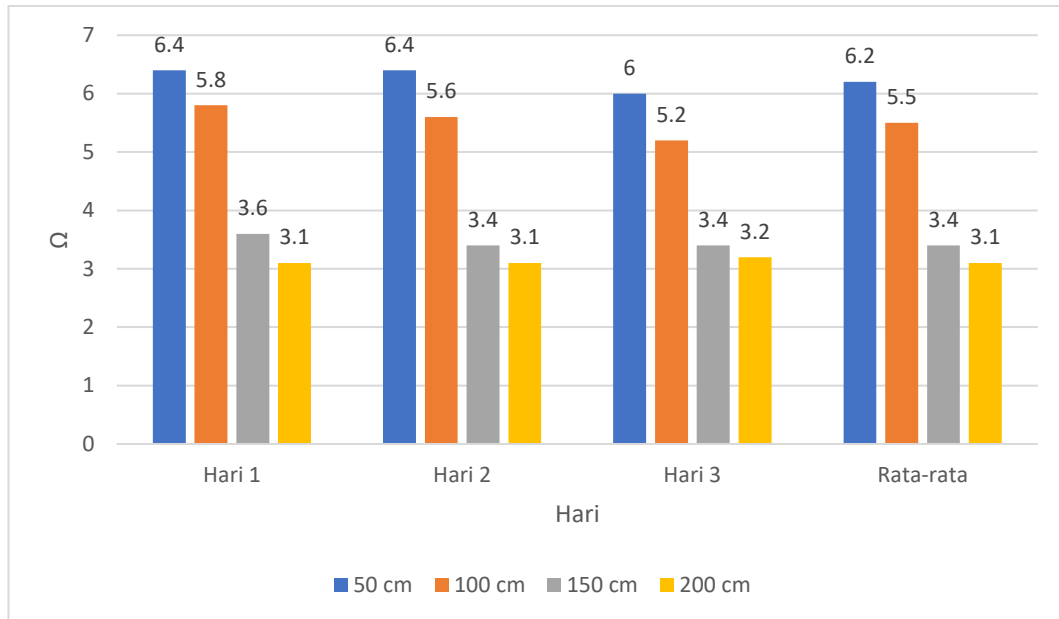
4.8. Pengukuran Nilai Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang

Idealnya nilai resistansi pentanahan adalah 0Ω , NFPA dan IEEE mempunyai standar untuk nilai resistansi pentanahan adalah $< 5 \Omega$, PUIL mempunyai standar untuk nilai resistansi pentanahan adalah $< 5 \Omega$. Dengan menggunakan sistem pentanahan mesh, maka diharapkan mampu membuat tahanan pentanahan $< 5 \Omega$, sesuai dengan ketentuan PUIL 2000 yang menyebutkan bahwa tahanan pentanahan total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5Ω . (Corio, 2019).

Tabel 4. 8 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang

No	Kedalaman Elektroda (cm)	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata – rata (Ω)
1	50	6,4	6,4	6,0	6,2
2	100	5,8	5,6	5,2	5,5
3	150	3,6	3,4	3,4	3,4
4	200	3,1	3,1	3,2	3,1

Pada tabel 4.8 ini menunjukkan hubungan nilai tahanan pentanahan mesh sebelum penambahan arang dengan variasi kedalaman 50–200 cm, terlihat pada kedalaman 50 cm nilai rata–rata $6,2 \Omega$, sedangkan pada kedalaman 200 cm, nilai rata – rata pentanahan sebesar $3,1 \Omega$. Oleh karena itu akan dilakukan penambahan arang tempurung kelapa sebagai perbaikan nilai pentanahan.

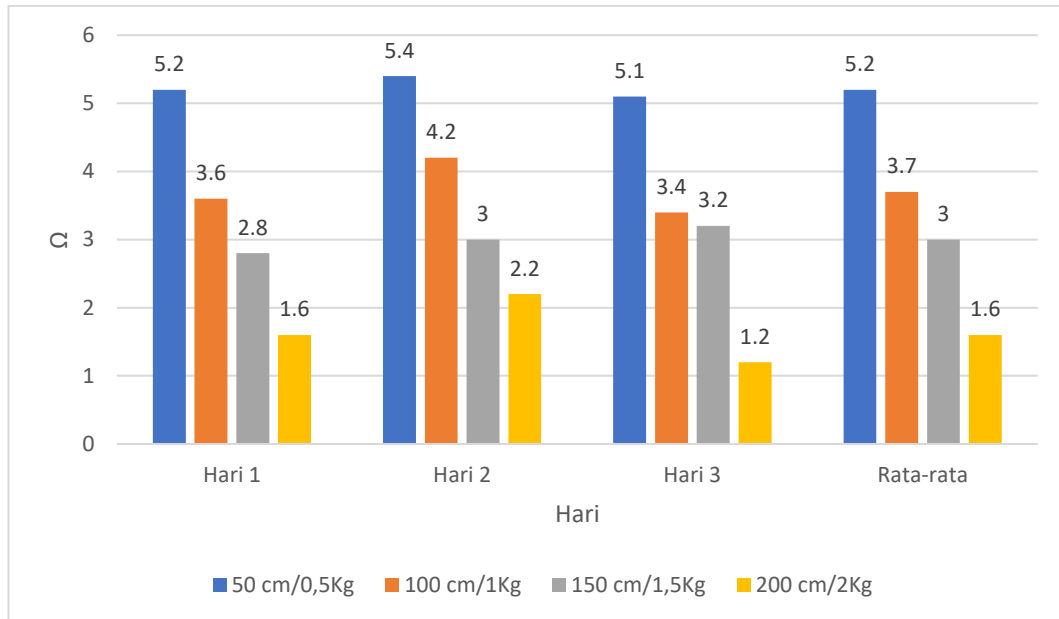


Gambar 4. 9 Grafik Nilai Pentanahan Mesh Sebelum Penambahan Arang

Tabel 4. 9 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Mesh Setelah Penambahan Arang

No	Kedalaman Elektroda (cm)	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata – rata (Ω)
1	50	5,2	5,4	5,1	5,2
2	100	3,6	4,2	3,4	3,7
3	150	2,8	3	3,2	3
4	200	1,6	2,2	1,2	1,6

Pada tabel 4.9 menunjukkan hubungan nilai tahanan pentanahan mesh setelah penambahan arang dengan variasi kedalaman 50–200 cm, terlihat pada kedalaman 50 cm dengan penambahan arang 0,5 Kg nilai rata–rata 5,2 Ω , sedangkan pada kedalaman 200 cm dengan penambahan arang 2 Kg, nilai rata-rata pentanahan sebesar 1,6 Ω . Perbedaan nilai resistansi sebelum penambahan arang pada kedalaman 200 cm adalah 3,1 Ω dan setelah penambahan arang pada kedalaman 200 cm adalah 1,6 Ω , terlihat lebih kecil karena arang memiliki sifat menyerap air dari udara lembab, kemudian melepaskannya pada kondisi yang kering sehingga membuatnya berfungsi sebagai pengatur kelembaban yang baik.

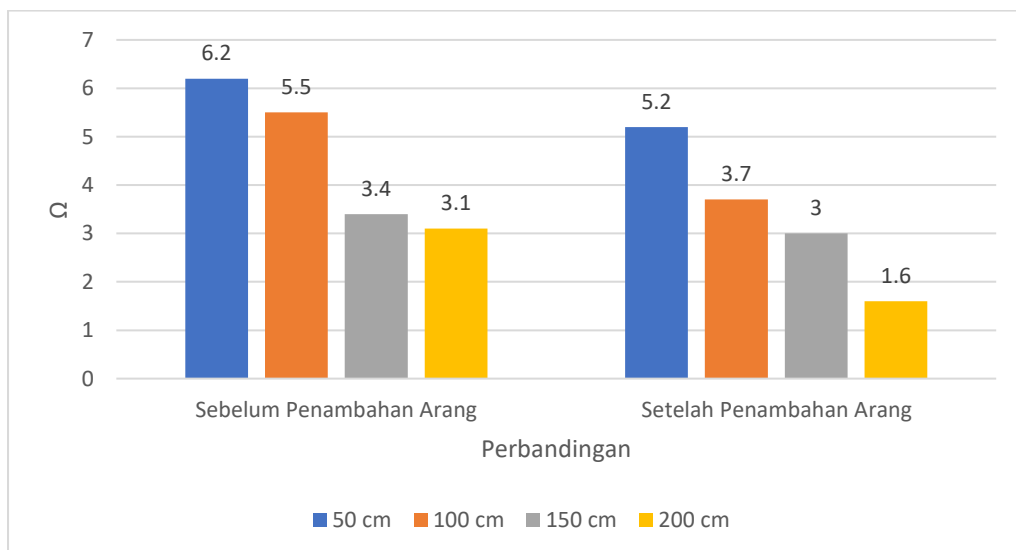


Gambar 4. 10 Grafik Nilai Pentanahan Mesh Setelah Penambahan Arang

Tabel 4. 10 Perbandingan sebelum dan setelah penambahan arang

No	Variasi Kedalaman	Sebelum Penambahan Arang	Setelah Penambahan Arang	Perbandingan (%)
1	50	6,2	5,2	26%
2	100	5,5	3,7	48%
3	150	3,4	3	13%
4	200	3,1	1,6	50%

Adapun grafik perbandingan sebelum dan sesudah penambahan arang terlihat pada gambar 4. 11.



Gambar 4. 11 Grafik Pebandingan Nilai Pentanahan Mesh Sebelum Dan Sesudah Penambahan Arang

4.9. Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Pada Sistem Pentanahan Mesh

Berdasarkan Persamaan 2.13

$$Rm = \rho \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Dari data pada kedalaman 50 cm diketahui bahwa

$$\begin{aligned} Rm &= \rho \left[\frac{1}{0,6} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3600}} \left(1 + \frac{1}{1+50\sqrt{\frac{20}{3600}}} \right) \right] \\ &= 100 [1,67 \times 1,21] \\ &= 100 \times 2,02 \\ &= 202 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 100 cm diketahui bahwa

$$\begin{aligned} Rm &= \rho \left[\frac{1}{0,6} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3600}} \left(1 + \frac{1}{1+100\sqrt{\frac{20}{3600}}} \right) \right] \\ &= 100 [1,67 \times 1,11] \\ &= 100 \times 1,85 \\ &= 185 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 150 cm diketahui bahwa

$$\begin{aligned} Rm &= \rho \left[\frac{1}{0,6} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3600}} \left(1 + \frac{1}{1+150\sqrt{\frac{20}{3600}}} \right) \right] \\ &= 100 [1,67 \times 1,08] \\ &= 100 \times 1,80 \\ &= 180 \Omega \end{aligned}$$

Dari data pada kedalaman 200 cm diketahui bahwa

$$\begin{aligned} Rm &= \rho \left[\frac{1}{0,6} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3600}} \left(1 + \frac{1}{1+200\sqrt{\frac{20}{3600}}} \right) \right] \\ &= 100 [1,67 \times 1,06] \\ &= 100 \times 1,77 \\ &= 177 \Omega \end{aligned}$$

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan tinjauan Pustaka dan melakukan pengujian serta menganalisa, maka perancangan sistem pentanahan dengan menggunakan metode mesh dan penambahan arang pada kondisi tanah ladang dapat disimpulkan:

1. Nilai resistansi tanah dengan menggunakan elektroda mesh pada PLTS Tigajuhar dengan penanaman batang rod 200 serta penambahan arang 2 Kg cm yaitu $1,7 \Omega$.
2. Ternyata penggunaan elektroda mesh sangat berpengaruh dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan, dan Penambahan arang dengan variasi kedalaman tertentu juga berpengaruh untuk mendapatkan hasil nilai resistansi pentanahan yang lebih baik.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu :

1. Dalam melakukan pengukuran resistansi sebaiknya dilakukan secara berkala setiap pengambilan data.
2. pemasangan elektroda batang sebaiknya dipasang pada kedalaman tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfianto, T., Anwari, S., & Pratama, R. O. F. (2018). Simulasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Metode Pembalik Muatan Menggunakan Matlab. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(1), 72–79. <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i1.2044>
- Bernoulli, H., Pembelajaran, M., Meter, F., & Fluida, P. M. (2020). Prosiding Seminar Nasional NCIET Vol.1 (2020) B277-B285 1. *Prosiding Seminar Nasional NCIET Vol.1 (2020) B227-B241, 1*, 277–285.
- Corio, D. (2019). Pentanahan Menggunakan Elektroda Batang dan Elektroda Mesh dengan Penambahan Bentonit dan Garam Murni (NaCl), Studi Kasus ; ITERA. *Electrician*, 13(3), 74–79. <https://doi.org/10.23960/elc.v13n3.2118>
- Dawalibi, F. P. 2018. (2018). Sistem pembumian gardu induk hemat elektroda 1). *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2018 (Pp.6-11)*, 2018, 6–11.
- Diamanis, R., Tumaliang, H., & Lisi, F. (2018). Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3), 239–250. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/20770>
- Erliza Yuniarti, Abdul Majid, F. (2019). 3 1,2,3. *Jurnal Surya Energy Vol. 3 No. 2, Maret 2019*, 3(2), 269–275. <https://jurnal.um-palembang.ac.id/senergi/article/view/1516/1301>
- Faisal, A., Amril, M., Hidayat, J., & Hasnita, U. (2019). Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Sidikalang-Salak Dengan Menggunakan Sistem Counterpoise. *Journal of Electrical Technology, Vol. 4, No.3, 1099*, 130–134.
- Grid, K., Switchyard, P., Induk, G., Bantul, K. V, Imam, T., & Hani, S. (2017). Analisis Sistem Pentanahan Dengan Kontruksi Berbentuk Kisi-Kisi (Grid) Pada Switchyard Gardu Induk 150 Kv Bantul. *Jurnal Elektrikal, Volume 4 No. 2, Desember 2017*, 4(2), 73–79.
- Hadi, A., & Ervianto, E. (2016). Studi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relai Frekuensi Kurang Pada Sistem Tenaga Listrik. *JOM FTEKNIK Volume 3 NO.2 OKTOBER 2016, 3 NO.2 OKT*, 1–7.
- Hamid, M. K., & Abubakar, S. (2016). Sistem Pentanahan Pada Transformator

- Distribusi 20 kV di PT . PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon. *Journal of Electrical Technology*, Vol. 1, 13–16.
- Hutajulu, A. G., RT Siregar, M., & Pambudi, M. P. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) on Grid Di Ecopark Ancol. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 23. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i1.7333>
- Ka, G., Perumahan, D. I., & Dua, N. (2020). *Analisis Perancangan Sistem Penumbumian Pada*. 7(1), 138–143.
- Kantor, G., Pelindo, B., & Belawan, I. P. (2019). *Studi penumbumian peralatan dan sistem instalasi listrik pada gedung kantor bictpt. pelindo i (persero) belawan*. VIII(September), 96–101.
- Kaspuddin, M., Pangaribuan, C., & Sugeng, B. (2021). Studi penggunaan kabel listrik bawah tanah jenis N2XKFGbY 3 X 185 mm 0,6/1 Kv PT. JEMBO COMPANY INDONESIA Tbk. *JTE UNIBA*, Vol. 5, No. 2, April 2021, 5(2), 142–148.
- Krishna, B., Haryono, T., & Sugiyantoro, B. (2016). Perbaikan Sistem Pentanahan pada Gedung Listrik Politeknik Negeri Semarang. *Jtet*, 5, 32–40.
- Latifah, M. A., & Haddin, M. (2019). Analisa Dampak Perubahan Jarak Antar Konduktor Dan Kedalaman Pada Sistem Pentanahan Grid-Rod Berbasis IEEE Std 80 – 2000. *Jurnal Ilmiah Setrum*, 8(2), 1–12.
- Musyahar, G. (2017). Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Jenis Tanah Kerikil Kering. *Cahaya Bagaskara: Jurnal Ilmiah Teknik Elektronika*, 1(1), 11–17. https://jurnal.umpp.ac.id/index.php/cahaya_bagaskara/article/view/390
- Noor, I., & Saputro, A. (2020). Perbandingan perhitungan dan simulasi Etap sistem pentanahan grid - rod pada pembangkit listrik tenaga mesin gas. *Sinusoida Vol. XXII No. 4, Oktober 2020, XXII(4)*, 43–53.
- Pranoto, A., Tumaliang, H., Mangindaan, G. M. C., Elektro, T., Sam, U., Manado, R., & Manado, J. K. B. (2018). Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi). *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer Vol. 7, No.3, Juli-Oktober 2018*, 7(3), 189–198.
- Rimbawati, & Yusniati. (2019). Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Modul Deep Sea Elektronik 3110 Pada PLTMH Bintang Asih. *Journal of*

Electrical Technology, 4(1), 1–8.

- Saputro, E., & Harahap, P. (2021). Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 62–70. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- Setiawan, D., & Syakur, A. (2018). Analisis Pengaruh Penambahan Garam dan Arang Sebagai Soil Treatment Dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektroda. *Transient*, 7(2), 416–423.
- Sudiartha, I. W., Ta, I. K., & Sangka, I. G. N. (2016). Analisis pengaruh jenis tanah terhadap besarnya nilai tahanan pentanahan. *JURNAL LOGIC. VOL. 16. NO.1. MARET 2016*, 16(1), 35–39.
- Sugiharto, A. (2019). Pentanahan untuk Perlindungan Peralatan dan Bangunan Gedung. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 9, 34–42.

LAMPIRAN



Gambar 1. Penggalian Lubang Untuk Elektroda Mesh



Gambar 2. Pengukuran Elektroda Rod Dengan Penambahan Mesh



Gambar 3. Proses Pemasukan Kabel BC 50mm Ke Pipa Galvanis



Gambar 4. Proses Penyambungan Kabel BC ke Tombak Split



Gambar 5. Pemasangan Air Termination

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR


Judul : Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar

Nama : Bayu Sentana

NPM : 1807220024

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Jumat/04-03-2022	Revisi Bab 1 Latar belakang	my
2.	Kamis/17-03-2022	Revisi Bab 1 Tujuan penelitian dan rumusan masalah	my
3.	Rabu/23-03-2022	Revisi Bab 2 Tinjauan pustaka	my
4.	Selasa/05-04-2022	Revisi Bab 2 Keterangan gambar dibuat	my
5.	Kamis/07-04-2022	Revisi Bab 3 Design gambar	my
6.	Jumat (Sabtu) /08-04-2022	Revisi Bab 3 Flow chart dibuat	my
7.	Sabtu/09-04-2022	Acc seminar proposal 9/4 2020	my

Dosen Pembimbing


Rimbawati, S.T., M.T.

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS
Tiga Juhar

Nama : Bayu sentana

NPM : 1807220074

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	02/08/2022	Perbaiki daftar isi	Ruf.
2.	05/08/2022	Tambah materi bab 2	Ruf.
3.	20/08/2022	Perbaiki bentuk tabel	Ruf.
4.	25/08/2022	Perbaiki format gambar	Ruf.
5.	01/09/2022	Perbaiki diagram alir	Ruf.
6.	07/09/2022	Perbaiki analisa di bab 4	Ruf.
7.	10/09/2022	Perbaiki kesimpulan	Ruf.
8.	16/09/2022	All seminar Hasil 16/9/2022	Ruf.

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T.

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Perancangan Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Mesh Pada PLTS Tigajuhar

Nama : Bayu Sentana
NPM : 1807220074

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	21/9 2022	Repleksi Seminar Hasil	Prof.
2.	23/9 2022	Perbaikan T.A keseluruhan	Prof.
3.	26/09 2022	Diskusi Persiapan sidang sarjana	Prof.
4.		Atte sidang Tugas Akhir 28/9 2022	Prof.

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Bayu Sentana
Tempat/Tanggal Lahir : Binjai/20 Agustus 2000
Jenis Kelamin : Laki – laki
Umur : 22 tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi/Berat Badan : 166 cm/ 51 Kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl. Jawa, No. 57, Lingkungan IV, Kelurahan
Damai, Kecamatan Binjai Utara
No. HP/WA : 0821-6075-3368
Email : Bayusentana6@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah : Siswoyo
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Nama Ibu : Sri Aningsih
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl. Jawa, No. 57, Lingkungan IV, Kelurahan
Damai, Kecamatan Binjai Utara

Latar Belakang Pendidikan

2006 – 2012 : SDN 020272 BINJAI
20012 – 2015 : SMPN 6 BINJAI
2015 – 2018 : SMKN 2 BINJAI
2018 – 2022 : Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara