



**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN *BIOCHAR* DAN *FLY ASH*
TERHADAP KINERJA PENTANAHAN ELEKTRODA BATANG
DENGAN INJEKSI ARUS FREKUENSI TINGGI**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Ihza Aulia Rahman

NIM. 185060300111047

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2022

JUDUL SKRIPSI:

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN *BIOCHAR* DAN *FLY ASH*
TERHADAP KINERJA PENTANAHAN ELEKTRODA BATANG
DENGAN INJEKSI ARUS FREKUENSI TINGGI**

Nama Mahasiswa : Ihza Aulia Rahman
NIM : 185060300111047
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING:

Dosen Pembimbing I: Drs. Ir. Moch Dhoir, M.T.



Dosen Pembimbing II: Dr. Ir. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., IPU.



TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Lunde Ardhenta, S.T, M.Sc.  disetujui tanggal 25 April 2022

Dosen Penguji II : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc, IPM.  disetujui tanggal 25 April 2022

Tanggal Ujian : 05 April 2022

SK Penguji : Nomor 466 Tahun 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan ditulis di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 17 April 2022

Mahasiswa,



Ihza Aulia Rahman

NIM. 185060300111047

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta hidayah sehingga skripsi dengan judul “**Analisis Pengaruh Penambahan Biochar dan Fly Ash Terhadap Kinerja Pentanahan Elektroda Batang dengan Injeksi Arus Frekuensi Tinggi**” dapat tersusun dengan baik.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat kelulusan dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Dalam penulisan skripsi ini tidak luput dari bantuan dosen pembimbing dan juga berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Program Studi S1 Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc., IPM selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional (KKJF) Teknik Energi Elektrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Drs. Ir. Moch Dhofir MT selaku dosen pembimbing pertama yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi.
6. Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, dan Karyawan Departemen Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama perkuliahan.
7. Kedua orangtua dan kakak yang telah memberikan bantuan serta dukungan pada segala kondisi.
8. Bapak Eka Maulana S.T., M.T., M.Eng selaku dosen pembimbing dan motivator dalam berbagai kegiatan kompetisi selama masa perkuliahan yang telah banyak memberikan dukungan dan pembelajaran baru



9. Ibu Ir. Nurussa'adah, MT selaku dosen pembimbing dalam meraih predikat “Mahasiswa Berprestasi Fakultas Teknik” yang telah memberikan banyak dukungan serta bantuan koneksi ke seluruh elemen.

10. Djarum Foundation yang telah memberikan dukungan dalam meningkatkan *soft skill* dan *hard skill* melalui beasiswa Djarum Beasiswa Plus.

11. Mas Mufti Fajar S.T., yang telah memberikan pandangan dalam menjalani kehidupan di Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

12. Keluarga Laboratorium Sistem Daya Elektrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

13. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Perlu disadari bahwa skripsi yang ditulis masih memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Sehingga kritik dan saran diharapkan akan membantu perbaikan dalam pembahasan atau penelitian terkait topik yang dibuat. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi banyak pihak dan mahasiswa/ mahasiswi yang akan melanjutkan penelitian ini.

Malang, 8 April 2022



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
1.6 Sistematika Kajian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Pentanahan	8
2.2 Resistivitas Tanah	9
2.3 Elektroda Pentanahan	14
2.4 Konduktor Pentanahan	16
2.5 Metode Penanaman Elektroda Pentanahan Batang	17
2.6 Pengukuran Resistansi Pentanahan Metode 3 Titik	19
2.7 Sifat Kimia <i>Flyash</i>	20
2.8 Sifat Kimia <i>Biochar</i>	21
2.9 Parameter Distribusi <i>Vertical Grounding Rod</i> Pada Frekuensi Tinggi	21
2.10 Laju Korosi	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Diagram Alir Penyelesaian Masalah	28
3.3 Studi Literatur	29
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Perencanaan Penelitian	29
3.6 Objek Uji	30
3.7 Alat Ukur	31
3.8 Penentuan Resistivitas Tanah	31



3.9 Rangkaian Pengukuran Resistansi <i>Biochar</i> dan <i>flyash</i>	32
3.10 Pengukuran Laju Korosi	34
3.11 Analisis dan Pembahasan.....	35
3.12 Pengambilan Kesimpulan dan Saran	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Pengukuran Sifat Tanah.....	37
4.2 Pengukuran Kadar air, dan Kerapatan Zat Aditif.....	38
4.3 Pengukuran Resistansi Pentanahan Injeksi Frekuensi Tinggi	39
4.4 Analisis Resistansi Pentanahan Injeksi Frekuensi Tinggi	42
4.5 Analisis Laju Korosi Elektroda.....	46
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaruh kelembapan, temperatur, dan kandungan garam terhadap nilai resistivitas tanah	11
Gambar 2.2 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Tanah dengan Metode Empat Titik... 14	14
Gambar 2.3 Komposisi resistansi pentanahan jenis elektroda batang..... 17	17
Gambar 2.4 Penanaman elektroda batang tegak lurus terhadap tanah	18
Gambar 2.5 Pengukuran resistansi pentanahan metode 3 titik..... 19	19
Gambar 2.6 Pengaruh frekuensi terhadap model rangkaian elektroda pengetanahan (a) Model RLC pada frekuensi rendah, (b) rangkaian ekivalen pada frekuensi tinggi, (c) parameter distribusi pada frekuensi tinggi.....	22
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 3.2 Diagram alir penyelesaian masalah	25
Gambar 3.3 Susunan Elektroda Batang dengan Zat Aditif	28
Gambar 3.4 Peralatan utama pengukuran (a) Osiloskop Digital dan (b) <i>function generator</i>	28
Gambar 3.5 Alat pengukuran resistivitas tanah metode 4 titik (a) <i>power supply</i> (b) <i>AVO</i> meter.....	29
Gambar 3.6 Pengukuran resistansi pentanahan dengan injeksi frekuensi tinggi.....	30
Gambar 3.7 Alat ukur laju korosi <i>AutoLab PG STAT 204</i>	31
Gambar 4.1 Kurva Impedansi riil ($Z \cos \alpha$) terhadap log frekuensi.....	39
Gambar 4.2 Kurva Impedansi imajiner ($Z \sin \alpha$) terhadap log frekuensi.....	41
Gambar 4.3 <i>Tafel flot</i> laju korosi penambahan zat aditif.....	41
Gambar 4.4 Grafik pengaruh komposisi zat aditif terhadap nilai laju korosi.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Berbagai Jenis Tanah	10
Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Tanah pada Berbagai Lapisan	13
Tabel 2.3 Ukuran-ukuran Minimum Elektroda Pentanahan	15
Tabel 2.4 Konstanta Bahan Penghantar	16
Tabel 2.5 Hasil Uji <i>X-Ray Fluorescence Fly Ash</i>	19
Tabel 2.6 Rentang arus dan frekuensi kerja pentanahan	22
Tabel 2.7 Kategori laju korosi	24
Tabel 4.1 Sifat kimia tanah pH, suhu, dan kelembapan tanah	33
Tabel 4.2 Arus dan beda potensial pengujian metode 4 titik	33
Tabel 4.3 Hasil pengujian sistem pentanahan tanah murni	35
Tabel 4.4 Hasil pengujian sistem pentanahan (<i>fly ash</i> 100%)	36
Tabel 4.5 Hasil pengujian sistem pentanahan (<i>biochar</i> 50% + <i>fly ash</i> 50%)	37
Tabel 4.6 Hasil pengujian sistem pentanahan (<i>biochar</i> 100%)	37
Tabel 4.7 Hasil pengujian sistem pentanahan (<i>biochar</i> 25% + <i>fly ash</i> 75%)	37
Tabel 4.8 Hasil pengujian sistem pentanahan (<i>biochar</i> 75% + <i>fly ash</i> 25%)	38
Tabel 4.9 Penurunan Nilai Resistansi Pentanahan Seluruh Variasi Perlakuan	39
Tabel 4.10 Penurunan impedansi real rata-rata seluruh variasi perlakuan	40
Tabel 4.11 Parameter Polarisasi Potensiodinamik Paduan <i>biochar-fly ash</i>	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Penanaman elektroda batang modifikasi..... 47

Lampiran 2 Pembentukan tabung alumunium 48

Lampiran 3 Pengukuran laju korosi 49

Lampiran 4 Pengujian alat ukur injeksi frekuensi tinggi 50

RINGKASAN

Ihza Aulia Rahman, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2022, *Analisis Pengaruh Penambahan Biochar dan Fly Ash Terhadap Kinerja Pentanahan Elektroda Batang dengan Injeksi Arus Frekuensi Tinggi*. Dosen Pembimbing: Moch Dhofir dan Rini Nur Hasanah.

Proteksi berupa sistem pentanahan diperlukan pada sistem tenaga listrik, baik untuk proteksi terhadap petir maupun untuk pentanahan titik netral sistem tenaga listrik. Sistem pentanahan yang baik mempunyai nilai tahanan yang kecil. Nilai tahanan pentanahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kelembaban tanah, jenis tanah, suhu tanah, jenis dan bentuk elektroda, dan zat kimia yang terkandung dalam tanah. Salah satu usaha yang dapat dilakukan guna mengurangi tahanan pentanahan adalah dengan memberikan sebuah perlakuan pada tanah atau disebut *soil treatment*. Pada penelitian ini dilakukan penambahan zat aditif berupa paduan *biochar* dan *fly ash*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai reduksi tahanan pentanahan, persentase nilai resistansi pentanahan yang dapat direduksi, dan laju korosi paling rendah pada paduan *biochar* dan *fly ash*.

Pada penelitian ini digunakan komposisi paduan *biochar* dan *fly ash* sebesar 0:100%, 25:75%, 50:50%, 75:25%, dan 100:0% dan menggunakan injeksi arus AC berfrekuensi 50 Hz hingga 50 kHz. Metode yang digunakan dalam pengukuran tahanan pentanahan yakni dengan metode 3 titik (*Fall of Potential*) injeksi frekuensi tinggi dengan nilai V_{pp} 12 V, kemudian metode pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode 4 titik konfigurasi *Wenner* dengan injeksi arus 10 A pada tegangan 12 V, dan laju korosi material menggunakan metode polarisasi potensi dinamik. Rentang potensial laju korosi yang digunakan yaitu dari -2 V hingga 2 V dengan kecepatan pemindaian 0,035 V/s.

Hasil pengujian dan perhitungan didapat penambahan zat aditif mempengaruhi nilai impedansi riil (resistansi) pentanahan, paduan komposisi zat aditif terbaik didapat ketika perbandingan *biochar* 75% + *fly ash* 25% yang mampu menurunkan nilai resistansi pentanahan hingga 66%. Secara rata-rata penambahan paduan zat aditif mampu menurunkan nilai resistansi pada tanah pasir berkerikil sebesar 29% hingga 60%. Pada frekuensi 50 dan 500 Hz menunjukkan bahwa elektroda bersifat resistif, pada frekuensi 5 kHz dan 10 kHz bersifat kapasitif, dan bersifat induktif pada frekuensi 50 kHz. Seluruh variasi komposisi zat aditif (*fly ash* dan *biochar*) mampu menurunkan nilai laju korosi yang dimiliki oleh tanah murni (1,8147 mm/tahun). Nilai laju korosi yang paling rendah sebesar 0,016 mm/tahun yakni pada paduan *biochar* 25% + *fly ash* 75%.

Kata kunci: *biochar*, *fly ash*, impedansi, frekuensi, korosi

SUMMARY

Ihza Aulia Rahman, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2022, Analysis of the Effect of Biochar and Fly Ash Addition on Performance of Grounding Rod Electrodes with High-Frequency Current Injection. Undergraduate Thesis Supervisor: Moch Dhofir and Rini Nur Hasanah.*

Protection in the form of a grounding system is needed in the electric power system, both for protection against lightning and for grounding the neutral point of the electric power system. A good grounding system has a small resistance value. The value of grounding resistance is influenced by several factors, namely, soil moisture, soil type, soil temperature, type and shape of the electrode, and chemical substances contained in the soil. One effort that can be done to reduce grounding resistance is to provide treatment on the soil called soil treatment. In this study, the addition of additives in the form of a mixture of biochar and fly ash. The purpose of this research is to obtain the reduction value of ground resistance, the percentage of the ground resistance value that can be reduced, and the lowest corrosion rate in biochar and fly ash treatment.

In this study, the composition of the biochar and fly ash is 0:100%, 25:75%, 50:50%, 75:25%, and 100:0%, and used AC current injection with a frequency of 50 Hz to 50 kHz. The method used in measuring grounding resistance is the 3 point method (Fall of Potential) high-frequency injection with a V_{pp} value of 12 V, then the soil resistivity measurement method uses the 4 point Wenner configuration method with an injection current of 10 A at a voltage of 12 V, and the corrosion rate material using the potentiodynamic polarization method. The corrosion rate potential range used is from -2 V to 2 V with a scanning speed of 0.035 V/s.

The results and calculations show that the addition of additives affects the value of the real impedance (resistance), the best composition of additives is obtained when the ratio of biochar 75% + fly ash 25% is able to reduce the value of grounding resistance up to 66%. On average, the addition of a mixture of additives can reduce the resistance value in gravel sand soil by 29% to 60%. At a frequency of 50 and 500 Hz, it shows that the electrode is resistive, at a frequency of 5 kHz and 10 kHz it is capacitive, and inductive at a frequency of 50 kHz. All variations in the composition of additives (fly ash and biochar) are able to reduce the corrosion rate of pure soil (1.8147 mm/year). The lowest corrosion rate value is 0.016 mm/year, with a composition of 25% biochar + 75% fly ash.

Keyword: *biochar, corrosion, fly ash, frequency, impedance*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dari masa dahulu hingga saat ini kebutuhan terhadap ketersediaan tenaga listrik meningkat. Mulai tahun 1990, proteksi berupa sistem pentanahan diperlukan pada sistem tenaga listrik karena tegangan dan arus lebih yang meningkat dan jarak jangkauan yang bertambah dapat berpotensi memberikan dampak berbahaya baik bagi manusia maupun hewan. Sistem pentanahan merupakan sistem yang menghubungkan antara penghantar sistem, instalasi, dan badan peralatan dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari bahaya sengatan listrik, dan mengamankan dari bahaya arus/tegangan lebih pada komponen-komponen instalasi (Sumardjati, 2008). Pada dasarnya sistem pentanahan terdiri atas elektroda pentanahan yang digunakan bersama konduktor pentanahan. Pada PUIL 2000, tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak diizinkan melebihi 5 Ω .

Penelitian yang dilakukan Lim *et. al* (2015) menunjukkan bahwa sistem pentanahan yang gagal bekerja dapat membawa efek yang berbahaya, karena dapat menyebabkan potensial tanah ke permukaan meningkat dan *back-flashover* yang berpotensi merusak integritas sistem tenaga dan keselamatan manusia. Gangguan pada sistem pentanahan memberikan banyak dampak yang dapat menurunkan kestabilan sistem tenaga listrik. Jika dilihat dari fungsinya, sistem pentanahan dibagi atas pentanahan titik netral pada sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi untuk mengamankan jaringan, peralatan elektronik dari sambaran petir serta manusia terhadap tegangan sentuh (Sudaryanto, 2016).

Sambaran petir merupakan salah satu penyebab gangguan yang cukup banyak terjadi dalam sistem tenaga listrik dan paling sering mengenai sistem peralatan yang ada di dalam suatu bangunan. Sambaran petir ini merupakan sumber arus impuls berfrekuensi tinggi yang dampaknya akan sangat fatal apabila mengenai peralatan listrik (Hutauruk, 1991). Oleh karena itulah diperlukan suatu sistem perlindungan yang baik sehingga dampak buruk yang diakibatkan oleh sambaran petir tersebut dapat dikurangi dan dihilangkan. Terjadi permasalahan dimana dalam suatu pentanahan adalah seberapa besar impedansi pentanahan tersebut. Besar impedansi pentanahan tersebut sangat dipengaruhi

oleh faktor internal dan eksternal (Grecev, 1997). Contoh dari faktor internal adalah diameter dan panjangnya rod, resistivitas tanah dan konfigurasi sistem pentanahan. Sedangkan contoh dari faktor eksternal adalah bentuk arus dan frekuensi arus yang mengalir.

Pentanahan impedansi tergantung pada fungsi sistem pentanahan. Untuk sistem tenaga listrik, netral dan peralatan dipisahkan. Untuk peralatan, pentanahan impedansi tinggi diperlukan dan untuk perlindungan manusia membutuhkan impedansi rendah. Untuk kondisi frekuensi tinggi, panjang elektroda juga mempengaruhi impedansi pentanahan. Frekuensi tinggi dengan panjang gelombang (λ), harus dibandingkan dengan panjang elektroda (ℓ). Untuk kondisi tersebut, panjang gelombang (λ) lebih pendek, sama atau lebih panjang dari (ℓ) dengan aturan berikut:

1. $\lambda \ll \ell$, arus injeksi, I , pada konfigurasi elektroda akan disebarkan di dalam tanah secara konduksi dan radiasi elektromagnetik.
2. $\lambda = \ell$, arus injeksi, I , pada konfigurasi elektroda akan menyebar secara konduksi, dan radiasi elektromagnetik sangat kecil, tetapi untuk kondisi khusus dapat dihitung.
3. $\lambda \gg \ell$, arus injeksi, I , pada konfigurasi elektroda akan menyebar secara

Salah satu usaha yang dapat dilakukan guna mengurangi tahanan pentanahan adalah dengan memberikan sebuah perlakuan pada tanah atau disebut *soil treatment*. *Soil treatment* merupakan salah satu upaya dalam merubah komposisi kimia tanah untuk memperkecil nilai resistansi pentanahan, yaitu dengan penambahan zat aditif (Pabla, 1991). *Soil treatment* dapat memengaruhi nilai dari tahanan jenis tanah, hal ini sangat berguna pada tanah yang mempunyai tahanan jenis tinggi. *Soil treatment* biasanya dilakukan dengan memberi zat aditif seperti larutan garam, bentonite, arang dan lainnya pada tanah. Zat aditif seperti bentonite memiliki harga relatif mahal, tidak mudah ditemukan, dan tidak banyak tempat yang memiliki bentonite.

Percobaan untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan dengan membandingkan beberapa jenis bahan pereduksi telah dilakukan. Penelitian yang dilakukan Martin, *et. al* (2018) pada tanah ladang menggunakan gypsum untuk memperkecil resistansi. Gypsum digunakan karena mampu menyerap air dan memperbaiki struktur tanah serta memiliki kelarutan yang rendah sehingga tidak mudah hilang. Hasil penelitian menunjukkan penambahan gypsum dengan massa antara 25%-75% pada tiap lubangnya mampu

menurunkan resistansi pentanahan 61%-68%, sedangkan untuk penambahan gypsum 100% pada lubang menunjukkan nilai yang tidak beda jauh dari nilai tahanan pentanahan tanpa menggunakan zat aditif. Hal tersebut dipengaruhi oleh kepadatan gypsum dalam tanah yang menurunkan kemampuan gypsum dalam menyerap air.

Opara *et. al.* (2014) melakukan studi banding antara bentonite dan zat aditif lainnya seperti, kotoran ternak, garam domestik dan arang. Kadar air, kapasitas retensi, kelembaban dan konduktivitas listrik dari masing-masing bahan dipertimbangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kotoran ternak memberikan hasil yang paling baik yaitu menurunkan resistivitas tanah dari 74,94 Ω -m menjadi 8,26 Ω -m diikuti bentonit, 9,25 Ω -m dan garam dan arang 10,87 Ω -m. Kemudian, diamati bahwa kotoran ternak terurai setelah periode waktu tertentu mempengaruhi nilai tahanan tanah. Selain itu, garam domestik larut ke dalam tanah dari waktu ke waktu dan arang merusak elektroda pentanahan sementara tidak ada kerugian signifikan yang ditemukan untuk bentonite.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti melakukan penelitian dengan mengombinasikan zat aditif *biochar* dengan *fly ash* sebagai bahan pereduksi tahanan pentanahan. Sedangkan untuk meminimalisir kekurangan kinerja dari kedua zat aditif, maka dilakukan variasi massa yaitu perbandingan antara *biochar* dan *fly ash* sebesar 0:100%, 25:75%, 50:50%, 75:25%, dan 100:0% sehingga didapatkan data kecenderungan pengaruh zat aditif campuran. Setiap variasi juga ditambahkan air 250 ml untuk mempermudah zat aditif menyerap dalam tanah. Sedangkan elektroda pentanahan diinjeksi dengan arus frekuensi tinggi dengan rentang 50 Hz – 50 kHz menyesuaikan spesifikasi *function generator* yang digunakan (<100kHz) dan karakteristik frekuensi kerja sistem pentanahan petir, peralatan telekomunikasi, dan peralatan elektronik. Adapun judul penelitian pada skripsi ini adalah Analisis Pengaruh Penambahan *Biochar* dan *Fly Ash* Terhadap Kinerja Pentanahan Elektroda Batang Dengan Injeksi Arus Frekuensi Tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan diatas, rumusan masalah penelitian pada skripsi ini adalah:

1. Berapa perbandingan massa zat aditif campuran yang tepat untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan tanah pasir berkerikil
2. Berapa persentase nilai resistansi pentanahan yang dapat direduksi setelah adanya *soil treatment*
3. Bagaimana pengaruh frekuensi terhadap model rangkaian pengetanahan
4. Bagaimana pengaruh penambahan *soil treatment* terhadap laju korosi material elektroda pentanahan

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan-batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Elektroda pentanahan berbentuk batang yang terbuat dari bahan tembaga dengan diameter 1,3 cm dan panjang 1 meter.
2. Kedalaman penanaman elektroda batang dibuat tetap dengan jarak 0,7 meter dari permukaan tanah
3. Diameter tabung pengisian zat aditif dibuat tetap sebesar 30 cm dan terbuat dari material alumunium dengan ketebalan 1 mm.
4. Metode pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode 4 titik konfigurasi *Wenner*.
5. Jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pasir berkerikil.
6. *Biochar* dan *fly ash* yang digunakan dalam kondisi pembasahan (250 ml).
7. Variabel dalam penelitian ini adalah variasi penambahan *biochar* dan *fly ash* (0:100%, 25:75%, 50:50%, 75:25%, dan 100:0%) dan frekuensi yang diinjeksikan 50Hz-50kHz menyesuaikan spesifikasi *function generator* yang digunakan (<100kHz) dan karakteristik frekuensi kerja sistem pentanahan petir, peralatan telekomunikasi, dan peralatan elektronik.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian merupakan jawaban yang ingin dicapai dalam sebuah penelitian. Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai reduksi tahanan pentanahan penggunaan zat aditif *biochar* dan abu terbang (*fly ash*) sebagai soil treatment dalam sistem pentanahan.
2. Mendapatkan persentase nilai resistansi pentanahan yang dapat direduksi setelah adanya *soil treatment*
3. Mendapatkan pengaruh frekuensi terhadap model rangkaian pengetanahan
4. Mendapatkan pengaruh penambahan *soil treatment* terhadap laju korosi material elektroda pentanahan

1.5 Manfaat

Dalam penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai:

1. Bagi Instansi Universitas Brawijaya: Dapat digunakan sebagai khasanah pengembangan khasanah ilmu pengetahuan dan bahan informasi bagi akademisi
2. Bagi Peneliti: Dapat digunakan sebagai sumber referensi dan pengembangan ilmu berikutnya.
3. Bagi Stakeholder lain: Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pembangunan sistem pentanahan.

1.6 Sistematika Kajian

Sistematika kajian yang digunakan dalam pembuatan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika kajian dalam penelitian ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang landasan teori yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan penelitian ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode atau langkah kerja yang akan digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penyusunan skripsi.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan perhitungan, analisis, dan pembahasan berdasar ruang lingkup penelitian dengan berbagai variabel yang diteliti.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Menguraikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dikembangkan dalam laporan penelitian serta saran untuk penelitian kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

Memaparkan terkait sumber-sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada proses penulisan tugas akhir ini dilakukan pencarian informasi dari berbagai penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Hasil penelitian tersebut digunakan sebagai bahan perbandingan, baik dari segi kekurangan maupun kelebihan dari penelitian yang sudah ada. Selain itu, peneliti juga mencari informasi dari buku-buku, jurnal maupun tugas akhir sebelumnya untuk mendapatkan informasi baik berupa kajian teori maupun judul penelitian yang digunakan sehingga didapatkan landasan teori ilmiah.

Erliza Yuniarti dalam penelitiannya pada tahun 2016 yang berjudul “Gypsum sebagai soil treatment dalam mereduksi tahanan pentanahan ditanah ladang”. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 2 jenis elektroda batang yang terbuat dari baja dan tembaga. Perlakuan yang dilakukan pada sistem pentanahan masing-masing 5 yaitu tanpa perlakuan, penambahan gypsum 5kg, 10kg, 15kg, dan 20kg. Hasil penelitian menunjukkan nilai resistansi yang dihasilkan pada baja stainless maupun tembaga cenderung mendekati sama.

Selvam A dan P. Manikandan dalam penelitiannya pada tahun 2016 dengan judul “*Performance analysis of flyash with bentonite in grounding pit*”. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan berbagai metode standar diantaranya wenner 4 titik, *schlumberger palmer*, dan *EB Curdt*. Selain itu, peneliti memvariasikan berbagai panjang elektroda dan waktu pengukuran yaitu 6 bulan sekali dalam 1 tahun, dihasilkan semakin panjang elektroda dan akibat yang ditimbulkan dari penambahan zat aditif menunjukkan semakin bertambah umur pentanahan nilai resistansinya semakin kecil.

Lukong Plus Nyuykonge dan Noel Njonyang dalam penelitiannya pada tahun 2015 dengan judul “*An efficient method for electrical earth reduction using biochar*”. Penelitian dilakukan pada tanah liat kering. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan memvariasikan massa *biochar* 52%, 62% dan 72% serta kedalaman 0.4m, 0.8m, 1m pada 1 elektroda dan juga 2 elektroda yang dipasang secara paralel. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan *biochar* dan 2 elektroda yang dipasang paralel memiliki nilai resistansi lebih kecil dibandingkan dengan sistem pentanahan yang tanpa *biochar* dan yang menggunakan 1 elektroda saja.

Opara *et. al.* pada tahun 2014 melakukan studi banding antara bentonite dan zat aditif lainnya seperti, kotoran ternak, garam domestik dan arang. Kadar air, kapasitas retensi, kelembaban dan konduktivitas listrik dari masing-masing bahan dipertimbangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kotoran ternak memberikan hasil yang paling baik yaitu menurunkan resistivitas tanah dari 74,94 Ω -m menjadi 8,26 Ω -m diikuti bentonit, 9,25 Ω -m dan garam dan arang 10,87 Ω -m. Kemudian, diamati bahwa kotoran ternak terurai setelah periode waktu tertentu yang menyebabkan pengurangan massa reaksi dan kadar air kotoran dan akibatnya mempengaruhi nilai tahanan tanah. Selain itu, garam domestik larut ke dalam tanah dari waktu ke waktu dan arang merusak elektroda pentanahan sementara tidak ada kerugian signifikan yang ditemukan untuk bentonite.

Jasni *et. al.* pada tahun 2010 dalam penelitiannya menggunakan sabut kelapa gambut, tanah tanam dan debu padi sebagai bahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan alam khususnya tanam-tanah liat merupakan alternatif terbaik untuk menggantikan bentonit sebagai pengisi pentanahan karena memberikan nilai tahanan pentanahan terendah pada akhir percobaan dan secara umum memiliki persentase penurunan tahanan pentanahan yang paling tinggi.

Gomes *et. al.* pada tahun 2010 dalam penelitiannya menggunakan residu industri baja yang terdiri dari oksida besi (Fe_2O_3) sebagai zat aditif pereduksi resistivitas. Ahmad *et. al.* pada tahun 2010 mempelajari potensi penggunaan natrium klorida, natrium tiosulfat, magnesium klorida, tembaga sulfat, dan amonium klorida sebagai zat aditif dalam pentanahan. Chen *et. al.* pada tahun 2006 mempelajari kemungkinan penggunaan *fly ash* sebagai bahan perbaikan sistem pentanahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* setelah stabilisasi tanah menurunkan resistivitas tanah sebesar 35%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *fly ash* dapat digunakan sebagai zat aditif.

2.1 Sistem Pentanahan

Kebutuhan akan adanya tenaga listrik dari waktu ke waktu semakin bertambah. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya yang masih kecil sehingga tidak membahayakan. Kemudian setelah tahun 1990, sistem tenaga listrik memerlukan sistem pentanahan karena tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan yang semakin jauh menimbulkan potensi membahayakan manusia ataupun

hewan. Sistem pentanahan merupakan suatu hantaran yang berfungsi menyalurkan arus lebih kedalam bumi dan memberikan proteksi terhadap manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/ arus abnormal. Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pentanahan adalah tidak timbulnya bahaya tegangan langkah dan tegangan sentuh.

Pada kenyataannya sistem pentanahan sering mendapatkan injeksi arus AC. Maka dari itu, nilai impedansi pentanahan tidak hanya terdiri dari nilai resistansinya saja tetapi terdapat nilai imajiner yang perlu diperhatikan. Nilai imajiner tersebut menunjukkan sifat dari impedansi pentanahan. Perilaku impedansi pentanahan pada suatu sistem pentanahan nilai besarnya berubah-ubah tergantung pada besar kecilnya frekuensi yang diinjeksikan terhadap sistem pentanahan (Ardani, 2002). Kondisi lingkungan juga merupakan salah satu faktor untuk menentukan sistem pentanahan yang akan digunakan (Hakim, 2014). Upaya untuk mendapatkan nilai resistansi tanah yang rendah seringkali dilakukan dengan melakukan treatment suatu penambahan komposisi kimia tanah (Pabla, 1991) dan panjang atau kedalaman batang elektroda pentanahan (Ningrum, 2014). Berdasarkan standarisasi IEEE (142-2007) menyatakan bahwa penurunan tahanan pentanahan jika ditambahkan bahan pereduksi mencapai 15% sampai dengan 90% (Liliana, 2020).

2.2 Resistivitas Tanah

Resistivitas tanah (ρ) adalah faktor keseimbangan antara resistansi pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya. Jenis tanah sangat menentukan nilai resistivitas tanah. Pada kenyataannya nilai resistivitas tanah berbeda-beda tergantung konfigurasi dari tanah tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi resistivitas tanah yaitu: (Suswanto, 2009; 171).

a. Pengaruh Keadaan Struktur Tanah

Komposisi jenis tanah yang tidak homogen membuat sulitnya pengukuran resistivitas tanah, sehingga terdapat dua atau lebih dari satu jenis tanah dengan resistansi yang berbeda. Berikut merupakan nilai resistivitas dari berbagai jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tanah Rawa	Tanah Liat dan Tanah Ladang	Pasir Basah	Kerikil Basah	Pasir dan Kerikil Kering	Tanah Berbatu
Resistivitas Tanah (Ωm)	30	100	200	500	1000	3000

Sumber: PUIL (2000:80)

Nilai resistivitas pada Tabel 2.1 merupakan suatu nilai perkiraan dari resistivitas berbagai jenis tanah. Sangat sulit untuk memastikan bahwa contoh yang diambil dari tanah dalam kondisi yang sama ketika diukur sebagaimana ia ditempatkan.

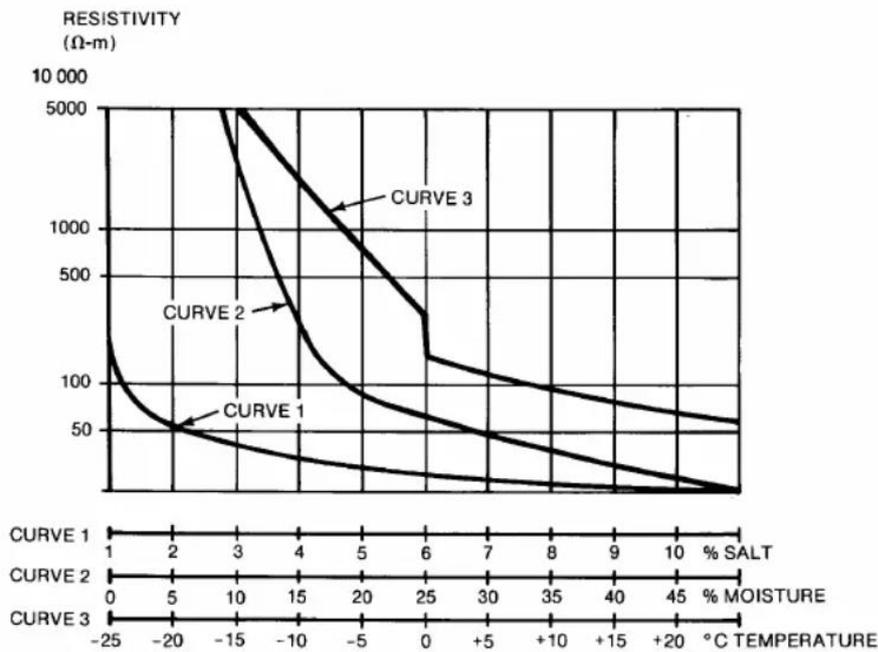
b. Pengaruh Unsur Kimia

Selain jenis tanah, pengaruh kandungan kimia dalam tanah juga ikut berperan menentukan nilai resistansi pentanahan. Pada daerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi umumnya memiliki resistivitas tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut.

c. Pengaruh Temperatur Tanah

Temperatur tanah disekitar elektroda pentanahan juga berpengaruh pada besarnya resistivitas tanah. Pada temperatur dibawah titik beku air (0°C) akan menyebabkan kenaikan harga resistivitas tanah dengan cepat. Air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi sangat rendah. Jika temperatur tanah meningkat, maka air akan berubah menjadi cair, kemudian molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau resistivitas tanah turun.

Adapun Gambar 2.1 menunjukkan hubungan antara resistivitas tanah dengan kelembapan, kandungan garam, dan temperatur tanah.



Gambar 2.1 Pengaruh kelembapan, temperatur, dan kandungan garam terhadap nilai resistivitas tanah

Sumber: IEEE std 80, 2000:50

Dari grafik pada Gambar 2.1 diatas, *curve 1* menunjukkan persentase kandungan garam, *curve 2* menunjukkan persentase kelembapan tanah, dan *curve 3* menunjukkan temperature tanah dalam derajat celcius. Dapat dilihat bahwa dengan konsentrasi kelembapan yang tinggi, maka nilai resistivitas akan turun dengan cepat. Nilai resistivitas tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) (IEEE std 80, 1986: 54).

$$\rho = \frac{2\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- ρ = Nilai resistivitas tanah (Ω.m)
- R = Nilai resistansi tanah dari hasil pengukuran (Ω)
- L_r = Kedalaman penanaman elektroda batang (cm)
- d = Diameter elektroda batang (cm)

Bila arus I masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus 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 kerapatan arus adalah

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2.2)$$

dimana:

J = Kerapatan arus (A/m^2)

r = Jari-jari (m)

I = Arus yang mengalir dalam tanah

Jika ρ adalah tahanan jenis tanah, maka medan dalam tanah pada arah radial dengan jarak r adalah:

$$E_r = J\rho \left[\frac{V}{m} \right]$$

$$\text{Menjadi, } E_r = \frac{1}{2\pi r^2} \rho \left[\frac{V}{m} \right]$$

Geolistrik disebut juga sebagai metode resistivity atau tahanan jenis. Pada dasarnya parameter yang didapatkan berupa nilai potensial (V) dan sebaran resistivitasnya (ρ). Metode geolistrik mampu memetakan dengan baik formasi batuan yang memiliki resistansi besar maupun kecil, besar kecilnya nilai resistansi dipengaruhi oleh porositas dan kandungan fluida. Tanah dapat dikategorikan dalam beberapa kedalaman, top soil berupa tanah dipermukaan yang memiliki ketebalan hingga 2,2 meter hingga bagian terdalam lebih dari 125 meter dibawah permukaan tanah. Setiap kategori kedalaman memiliki litologi yang berbeda dan tentunya nilai resistivitas tanah yang bervariasi pula. Semakin tinggi ketebalan tanah maka semakin rendah nilai resistivitasnya. Kedalaman dan nilai resistivitas tanah ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Tanah pada Berbagai Lapisan

Kedalaman (m)	Litologi
0 – 2,2218	Top Soil
2,2218 – 8,7516	Batu Pasir
8,7516 – 19,737	Pasir
19,737 – 28,293	Batu Pasir Lempungan
28,293 – 35,21	Batu Lempung
35,21 – 43,273	Batu Pasir
43,273 – 96,983	Lempung
96,983 – 125,03	Batu Pasir Kasar (Akuifer)
> 125,03	Batu Pasir Halus

Sumber: Suyono (1978)

Skema sistem pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan nilai resistivitas pentanahan pada kondisi dilapangan ditunjukkan pada Gambar 2.2. Konfigurasi yang digunakan pada metode 4 titik ini adalah konfigurasi *Wenner*, dimana jarak setiap elektroda bernilai sama. Kemudian hasil pembacaan alat ukur arus dan beda potensial akan dikalkulasikan untuk mendapatkan nilai R (V/I). Persamaan resistivitas tanah menggunakan konfigurasi *Wenner* ditunjukkan pada persamaan di bawah.

$$\rho = 2 \pi a R \dots\dots\dots (2.3)$$

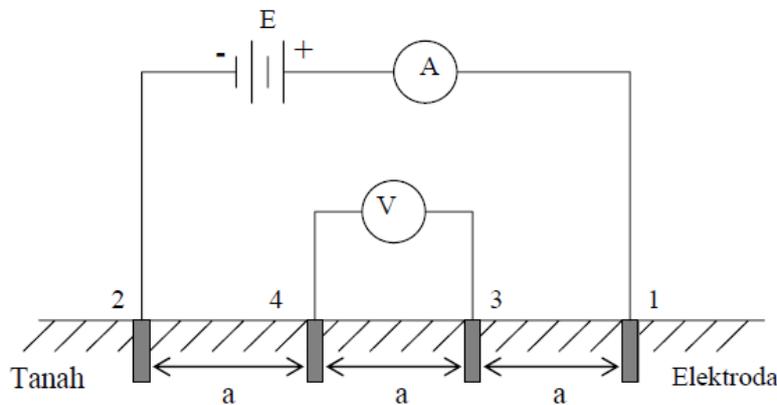
$$\rho = 2 \pi a \frac{V}{I}$$

Keterangan:

ρ = Tahanan Jenis (Ωm)

a = Jarak antar elektroda (cm)

k = Faktor geometri ($2\pi a$)



Gambar 2.2 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Tanah dengan Metode Empat Titik

Konfigurasi *Wenner* memiliki kelebihan dalam ketelitian pembacaan karena memiliki nilai eksentrisitas yang tidak terlalu besar atau bernilai sebesar $1/3$, metode ini juga salah satu metode dengan sinyal yang bagus (Vebrianto, 2016).

2.3 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah elektroda dan bahan metal (umumnya dari bahan tembaga) yang ditanam dalam tanah yang digunakan untuk pentanahan (PUIL, 1977 pasal 330). Elektroda merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sistem pentanahan. Dengan mengatur jenis elektroda yang digunakan, maka dapat diperoleh resistansi yang rendah. Elektroda pentanahan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu elektroda batang, elektroda plat, dan elektroda pita. Terdapat empat variabel elektroda yang mempengaruhi resistansi sistem pentanahan, antara lain:

a. Panjang/ Kedalaman Elektroda

Secara teori, untuk tanah dengan kondisi yang sama, maka semakin dalam penanaman elektroda akan semakin rendah nilai resistivitas tanah karena semakin dekat dengan air tanah yang berpengaruh pada kelembapan tanah yang akan berpengaruh pada konduktivitas. Secara umum, menggandakan panjang elektroda dapat mengurangi tingkat resistansi sebesar 40%.

b. Diameter Elektroda

Penambahan diameter elektroda akan berpengaruh kecil dalam menurunkan resistansi pentanahan. Jika diameter elektroda digandakan, maka resistansi sistem pentanahan hanya akan menurun sebesar 10%.

c. Jumlah Elektroda

Metode lain untuk menurunkan resistansi sistem pentanahan adalah dengan menggunakan banyak elektroda. Lebih dari satu elektroda yang dimasukkan ke dalam tanah dan dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan resistansi yang lebih rendah. Dengan pengaturan jarak yang tepat yakni jarak batang tambahan sama dengan jarak batang yang ditanam, maka akan menyebabkan resistansi pentanahan menurun. Jika pengaturan jarak tersebut diabaikan maka bidang pengaruhnya akan berpotongan dan resistansi tidak akan menurun.

Bahan elektroda pentanahan yang sering digunakan adalah tembaga atau baja yang digalvanis atau dilapisi tembaga, selama kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain. Ukuran standar minimum elektroda dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Ukuran-ukuran Minimum Elektroda Pentanahan

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi Dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1.	Elektroda Pita	Pipa baja 100 mm ² setebal minimal 3 mm	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² tebal minimal 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2.	Elektroda Batang	<ul style="list-style-type: none"> • Pipa baja 25 mm • Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 • Batang profil lain yang setaraf 	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	

3.	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm, luas 0,5 – 1 m ²	Pelat tembaga tebal 2 mm, luas 0,5 – 1 m ²
----	-----------------	--	---

Sumber: PUIL, 2000.

Dimensi elektroda pentanahan yang digunakan akan berpengaruh pada besar tahanan pentanahan. Tabel 2.3 menunjukkan ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan dan dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan yang akan digunakan.

2.4 Konduktor Pentanahan

Konduktor yang digunakan untuk pentanahan harus memiliki beberapa persyaratan antara lain:

- Memiliki daya hantar jenis yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya
- Memiliki kekerasan secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kekuatan fisik
- Tahan terhadap peledakan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan terkena magnitude arus gangguan dalam waktu yang lama
- Tahan terhadap korosi

Elektroda pentanahan yang umum digunakan berasal dari bahan tembaga, baja, maupun plat besi yang digalvanisasi agar elektroda nya tidak mudah korosi. Berikut merupakan sifat konduktivitas beberapa logam murni yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Konstanta Bahan Penghantar

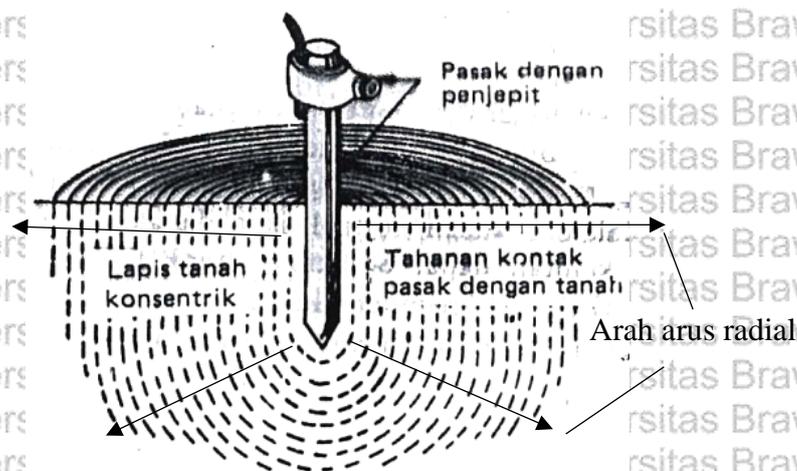
No	Material	Konduktivitas	Tm	Kr
1	Copper, annealed soft-drawn	100,0	1083	7,00
2	Copper, commercial hard-drawn	97,0	1084	7,06
3	Copper-clad steel wire	40,0	1084	10,45
4	Copper-clad steel rod	20,0	1084	14,64
5	Aluminium EC Grade	61,0	657	12,12
6	Aluminium 5005 Alloy	53,5	652	12,41
7	Aluminium 6201 Alloy	52,5	654	12,47
8	Steel 1020	10,8	1510	15,95

9	Stainless clad steel rod	9,8	1400	14,72
10	Zinc-coated steel rod	8,6	419	28,96
11	Stainless Steel 304	2,4	1400	30,05

Sumber: IEEE std 80 (1986: 44)

2.5 Metode Penanaman Elektroda Pentanahan Batang

Pada sebuah sistem pentanahan yang menggunakan elektroda batang memiliki persebaran arus yang dapat dimodelkan sebagai *spherical*, setengah ellips atau setengah tabung. Arus akan mengalir menuju tegangan nol yaitu di titik tak terhingga. Apabila kedalaman elektroda dibandingkan dengan jari-jari yang tak terhingga maka elektroda batang dapat dianggap sebagai sebuah bola yang memiliki pusat yang sama dengan sebuah bola yang memiliki jari-jari yang sangat besar. Elektroda dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah akan menghantarkan arus ke semua arah. Suatu elektroda pentanahan yang ditanam di tanah yang terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, berupa elektroda batang pentanahan yang tegak lurus dengan permukaan tanah.



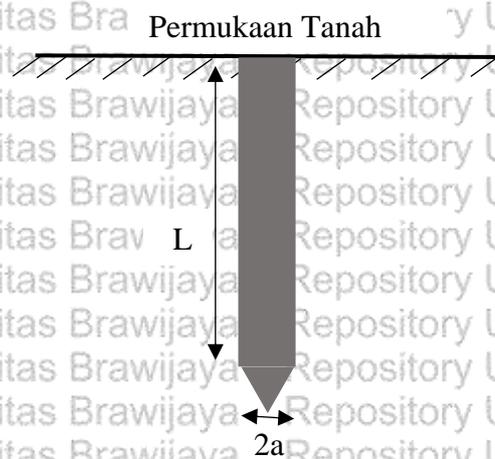
Gambar 2.3 Komposisi resistansi pentanahan jenis elektroda batang

Sumber: Hutauruk, T, S. (1991)

Lapisan tanah terdekat dengan elektroda batang dengan sendirinya memiliki permukaan paling kecil, sehingga memiliki nilai tahanan yang paling besar. Lapisan berikutnya karena lebih luas dibanding lapisan sebelumnya, maka akan memberikan nilai tahanan yang lebih kecil. Demikian seterusnya sehingga pada suatu jarak tertentu

dari elektroda pentanahan, lapisan tanah tidak menambah besarnya tahanan tanah sekeliling elektroda, jarak ini disebut daerah tahanan efektif (Pabla, 1991).

Pentanahan pada peralatan agrdu induk yang sering digunakan adalah sistem pentanahan grid, rod, dan gabungan antara keduanya yakni grid dan rod (Henry, 2008: 103). Pentanahan sistem rod dilakukan dengan menanamkan elektroda batang secara tegak lurus dengan permukaan tanah. Pada dasarnya sistem pentanahan rod yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang rendah sehingga memungkinkan arus gangguan dengan cepat terdistribusi ke tanah. Jika resistansi jenis tanah terlalu tinggi dengan satu elektroda batang, maka dapat digunakan beberapa elektroda batang pentanahan yang saling dihubungkan sehingga tercapai hasil yang sesuai. Pada penanaman elektroda batang tunggal tegak lurus dengan permukaan tanah digunakaan elektroda berbentuk silinder. Jika diasumsikan elektroda batang memiliki panjang L dan jari-jari a yang ditanam tegak lurus permukaan tanah yang ditunjukkan Gambar 2.4 (Riva, 2015: 13).



Gambar 2.4 Penanaman elektroda batang tegak lurus terhadap tanah

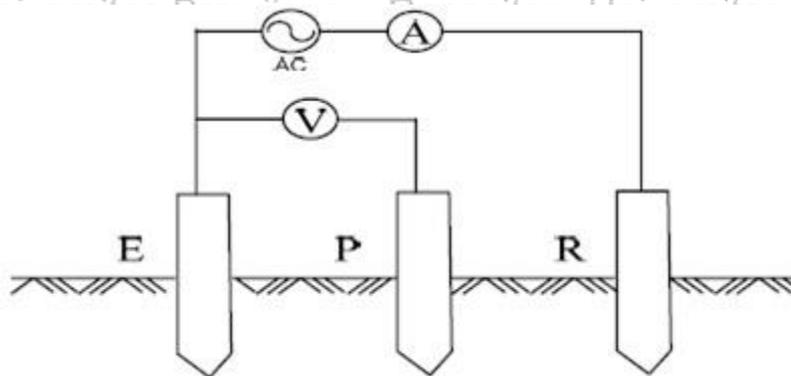
Apabila elektroda ditanam lebih dalam ke tanah maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam tahanan berkurang 40%. Namun, bertambahnya diameter pasak secara material tidak akan mengurangi tahanan secara signifikan. Dua kali lipat diameternya, hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10% (Pabla, 1991).

Rumus *Dwight* menunjukkan, bahwa tahanan elektroda pentanahan ke tanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan

tanah. Tahanan tanah merupakan faktor penting yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda harus ditanam agar peroleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat dan berubah menurut iklim. Tahanan tanah ini terutama ditentukan oleh kandungan elektrolit didalamnya, kandungan air, mineral-mineral dan garam-garam. Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan tiap tahunnya.

2.6 Pengukuran Resistansi Pentanahan Metode 3 Titik

Untuk mengukur resistansi pentanahan dilakukan dengan metode 3 titik yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Metode 3 titik yang digunakan biasa disebut dengan metode *fall of potential* yang merupakan metode yang paling umum digunakan.



Gambar 2.5 Pengukuran Resistansi Tanah Metode 3 titik

Sumber: Riva (2015)

Dalam metode 3 titik ini, kedalaman elektroda batang (e) yang ditempatkan dalam tanah yang akan diuji. Dua elektroda batang lainnya yakni elektroda batang (P) dan (R) yang dikenal sebagai elektroda bantu ditanam segaris pada kedalaman maksimal 15 cm. Elektroda arus (R) berfungsi untuk mengalirkan arus dalam tanah. Elektroda tegangan (P) harus terletak diantara elektroda batang uji (E) dan elektroda batang arus (C). Metode ini membandingkan nilai beda potensial antara elektroda (E) dan (P) dengan arus yang mengalir melalui elektroda (R) ke elektroda (E). Sehingga diperoleh nilai resistansi tanah adalah sebagai berikut:

$$R_{PE} = \frac{V}{I}$$

2.7 Sifat Kimia *Flyash*

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah padat hasil pembakaran batubara. Salah satu penghasil terbesar dari abu terbang ini adalah pembakaran batubara dalam PLTU. Abu terbang memiliki unsur-unsur kimia yang bila terlarut oleh air akan menjadi konduktor listrik yang baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ruliyani (2011) abu terbang memiliki potensi untuk meningkatkan daya hantar listrik tanah. Abu terbang mengandung unsur kimia yang dapat menghantarkan listrik. Umumnya abu terbang bersifat alkali, sehingga tidak menyebabkan korosi dengan logam. Abu terbang memiliki unsur-unsur kimia yang jika terlarut dalam air, dapat menjadi konduktor yang baik. Unsur-unsur kimia tersebut adalah Ca, Ba dan K. Umumnya abu terbang bersifat alkalinitas tinggi dengan variasi pH berkisar 8 samapai 12. Sifat alkalinitas yang tinggi dapat memperkecil resiko korosi pada logam. Hasil uji material abu terbang PLTU Paiton ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Hasil Uji X-Ray *Flourescence Fly Ash*

Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Al	4,60	Ni	0,02
Si	13,10	Cu	0,68
S	0,40	Sr	0,80
K	0,97	Mo	1,00
Ca	24,00	In	0,07
Ti	0,92	Ba	0,71
V	0,05	Eu	0,40
Cr	0,10	Fe	51,17
Mn	0,76	Hg	0,54

Sumber: Adelfani, 2018

Tabel 2.5 menunjukkan bahwa abu terbang memiliki unsur-unsur kimia yang jika terlarut dalam air, dapat menjadi konduktor yang baik. Unsur-unsur kimia tersebut adalah Ca, Ba dan K yang masing-masing memiliki konsentrasi 24%, 0,71%, dan 0,97%. Umumnya abu terbang bersifat alkalinitas tinggi dengan variasi pH berkisar 8 samapai 12. Sifat alkalinitas yang tinggi dapat memperkecil resiko korosi pada logam.

Abu terbang kelas C berasal dari PLTU Paiton. Abu terbang kelas C merupakan abu terbang yang memiliki kandungan CaO yang cukup tinggi. Fly ash tipe C bersifat

cementitious dan *pozolan*. Tingginya kadar CaO dan sifat *cementitious* mengakibatkan jika terkena air atau kelembaban mengeras dalam waktu kurang lebih 45 menit. Ca merupakan unsur kimia yang bila diberi air dapat menjadi penghantar listrik yang baik.

2.8 Sifat Kimia *Biochar*

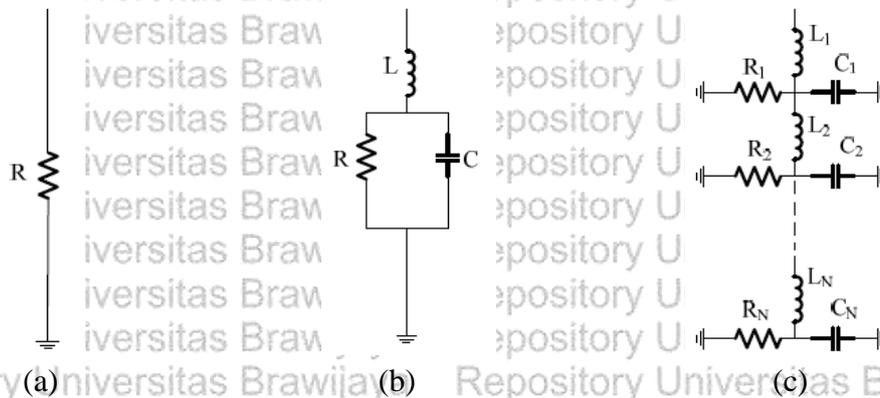
Menurut Lehmann dan Joseph (2009), *biochar* diproduksi dari bahan-bahan organik limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kakao, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri yang sulit terdekomposisi, yang dibakar secara tidak sempurna (*pyrolysis*) atau rendah oksigen pada suhu yang tinggi 500-700 °C. *Biochar* yang terbentuk dari pembakaran ini akan menghasilkan karbon aktif, yang mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon anorganik (Lehmann, 2009). Kualitas senyawa organik yang terkandung dalam *biochar* tergantung pada asal bahan organik dan metode karbonisasi. Dengan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdapat di dalamnya, *biochar* cocok digunakan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya tanah marginal (Hunt *et al.*, 2010).

Biochar cenderung memiliki kemampuan yang tinggi untuk menahan dan menyerap air, memiliki banyak pori yang mayoritas terlapisi dengan ion mineral yang mudah untuk diubah selama produksi *biochar* sehingga mampu meningkatkan level konduktivitas. *Biochar* mampu bertahan di dalam tanah selama ratusan tahun. Sifat-sifat tersebut menjadikan *biochar* cocok digunakan sebagai upaya peningkatan kualitas sistem pentanahan karena *biochar* dapat memperkecil serta meminimalkan fluktuasi tahanan tanah dalam jangka waktu yang cukup lama. Bahan utama untuk pembuatan *biochar* adalah limbah-limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kakao, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri.

2.9 Parameter Distribusi *Vertical Grounding Rod* Pada Frekuensi Tinggi

Elektroda pentanahan harus menyediakan jalur arus gangguan ke tanah. Jalur arus ini mengalir sebagai arus bocor yang didistribusikan di sepanjang elektroda pentanahan. Pada resistivitas tanah yang seragam, arus mengalir dalam segmen batang tanah dan didistribusikan di tanah pada frekuensi daya. Pada frekuensi rendah, impedansi diwakili

oleh resistor tunggal, dan pada frekuensi tinggi, diwakili dengan RLC yang disamakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (Grcev, 2005).



Gambar 2.6 Pengaruh frekuensi terhadap model rangkaian elektroda pengetanahan
(a) Model RLC pada frekuensi rendah, (b) rangkaian ekivalen pada frekuensi tinggi, (c) parameter distribusi pada frekuensi tinggi

Pada Gambar 2.6 (a), ketika frekuensi rendah diinjeksikan, sifat impedansi pentanahan adalah resistif. Karena rangkaian ekivalen terdiri dari resistor. Pada frekuensi rendah, induktor akan berperan sebagai *low pass filter*, sehingga induktor meloloskan frekuensi rendah dan dianggap *short*, kemudian kapasitor yang merupakan *high pass filter* dapat dianggap rangkaian *open* karena melakukan *blocking*.

Ketika elektroda pentanahan diinjeksi arus frekuensi tinggi, pemodelan rangkaian ekivalen terdiri dari induktor (L) seri dengan resistor (R) dan kapasitor (C) yang diparalel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 (b). R, L, dan C dibentuk sebagai N segmen dimana setiap model rangkaian RLC disebut segmen (R_i, L_i, C_i) pada Gambar 2.6 (c). Berdasarkan penelitian Leonid Grcev (2005), nilai R, C, dan L dapat dihitung pada persamaan dibawah ini.

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

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\log \frac{2l}{r}}$$

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \log \frac{2l}{r}$$

Dimana,

R = Resistansi tanah (Ω)

ϵ_r = Permittivitas tanah (F/m)

C = Kapasitansi tanah (F) μ_o = Permeabilitas (H/m)
 L = Induktansi tanah (H) l = Panjang elektroda (m)
 ρ = Resistivitas tanah (Ω .m) r = Jari-jari elektroda (m)
 ϵ_o = Permittivitas (F/m)

Pada frekuensi tinggi, induktor bukan merupakan fungsi frekuensi, karena komposisi tanah dan konfigurasi elektroda tidak berubah oleh frekuensi injeksi. Hanya resistivitas dan permitivitas yang akan berubah dengan injeksi frekuensi.

$$Z = j\omega L + \left(\frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} \right)$$

$$Z = Z \cos \varphi + j \cdot Z \sin \varphi$$

$$Z \cos \varphi = \frac{R}{1 + [\omega RC]^2}$$

$$Z \sin \varphi = j \cdot \omega \left\{ \frac{L - R^2 C + (\omega RC)^2 L}{1 + [\omega RC]^2} \right\}$$

Pada metode diagnosis impedansi pentanahan dijelaskan bahwa sistem pentanahan memiliki fungsi untuk mengamankan sistem tenaga listrik, peralatan dari arus petir. Metode diagnosis impedansi digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik impedansi dari sistem yang digunakan (Hanifah, 2014). Pada Tabel 2.6 dapat dijelaskan fungsi pentanahan dan arus yang harus diamankan serta frekuensi kerja pada sistem masing-masing.

Tabel 2.6 Rentang arus dan frekuensi kerja pentanahan

Fungsi Pentanahan	Arus (A)	Frekuensi (Hz)
Sistem Tenaga Listrik	≤ 15	50
Bodi Peralatan	≤ 100	50
Sistem Netral	0 – 50k	50
Peralatan medis, elektronik, dan telekomunikasi	< 4	$< 10M$
Proteksi Petir	0 – 100k	$< 1M$

Sumber: Anggoro, 2012

2.10 Laju Korosi

Menurut Sidiq (2013), korosi adalah proses dimana terjadinya penurunan kualitas pada suatu material yang dapat disebabkan oleh reaksi kimia antara suatu bahan logam dengan unsur lain yang terdapat di lingkungan sekitarnya. Menurut Hidayat (2015), terdapat factor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi pada permukaan logam, diantaranya:

1. Kontak langsung antara logam dengan H₂O dan O₂

Korosi yang terjadi di permukaan logam merupakan proses yang terdiri dari reaksi redoks. Oksigen dari udara yang larut dalam air akan mengalami reduksi, sementara air memiliki fungsi sebagai media berlangsungnya reaksi redoks pada korosi.

2. Kandungan zat pengotor

Zat pengotor pada permukaan logam dapat mengakibatkan reaksi reduksi yang terjadi bertambah sehingga dapat menyebabkan jumlah atom logam yang teroksidasi menjadi lebih banyak.

3. Kontak dengan elektrolit

Adanya kandungan elektrolit yang terdapat pada larutan seperti garam dalam air laut dapat mempercepat laju korosi karena dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya reaksi tambahan.

4. Temperatur

Temperatur yang terdapat pada lingkungan berpengaruh pada kecepatan reaksi redoks pada proses terjadinya korosi. Semakin tinggi temperature pada lingkungan maka semakin cepat juga terjadinya korosi.

5. Keasaman (pH)

Kecepatan korosi semakin tinggi apabila terjadi pada kondisi lingkungan yang bersifat asam, yaitu dengan kondisi pH < 7. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katoda.

Laju korosi merupakan kecepatan rambat maupun kecepatan penurunan kualitas yang terjadi pada suatu bahan terhadap waktu. Pada perhitungan laju korosi, satuan yang paling umum digunakan adalah mm/ tahun (standar internasional) atau mill/ year (mpy, standar British) (Afandi, 2015). Kategori ketahanan korosi pada suatu material secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kategori laju korosi

Kategori Ketahanan Korosi	mpy (mils/ tahun)	Laju Korosi			
		$\mu\text{m}/\text{tahun}$	nm/ jam	pm/ detik	mm/ tahun
Istimewa	<1	<25	<2	<1	<0,02
Baik Sekali	1-5	25-100	2-10	1-5	0,02-0,1
Baik	5-20	100-500	10-50	5-20	0,1-0,5
Cukup	20-50	500-1000	50-150	20-50	0,5-1
Kurang	50-200	1000-5000	150-500	50-200	1-5
Tidak Diterima	>200	>5000	>500	>200	>5

Sumber: Afandi (2015)

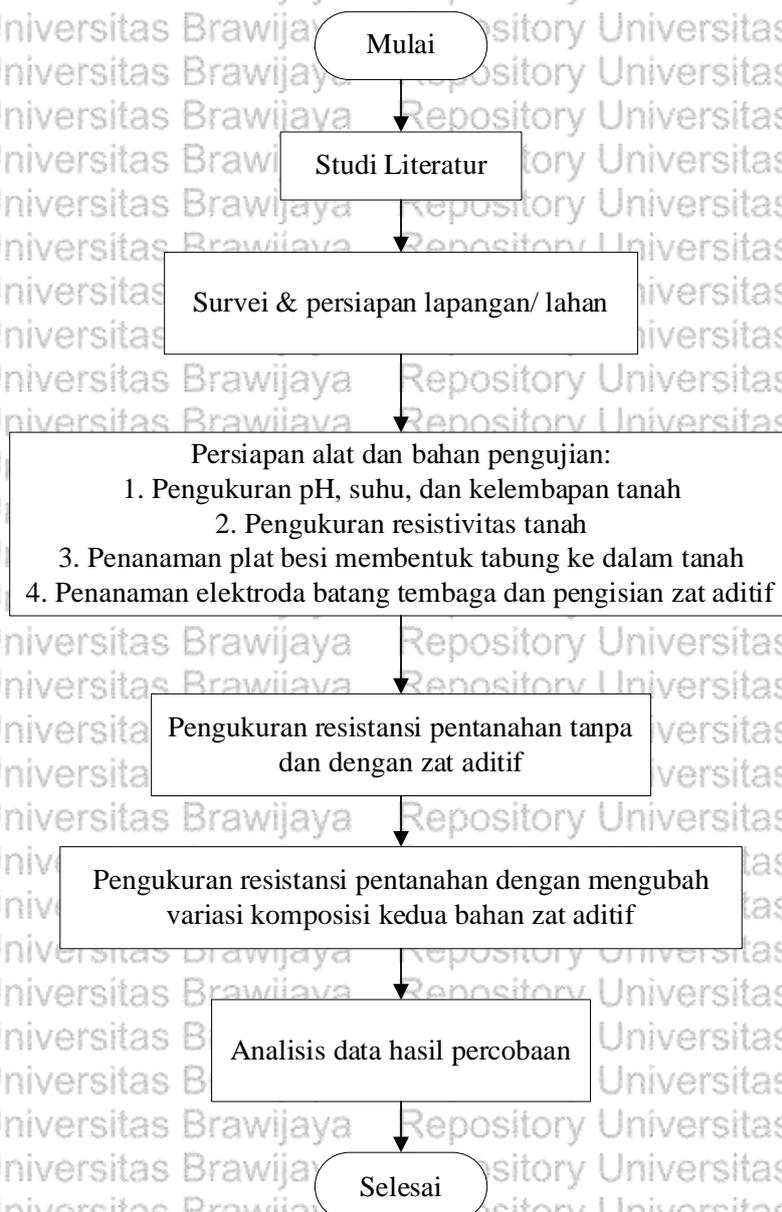




BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan untuk mencapai tujuan dari penyusunan skripsi ini memiliki langkah-langkah seperti yang ditunjukkan Gambar 3.1.

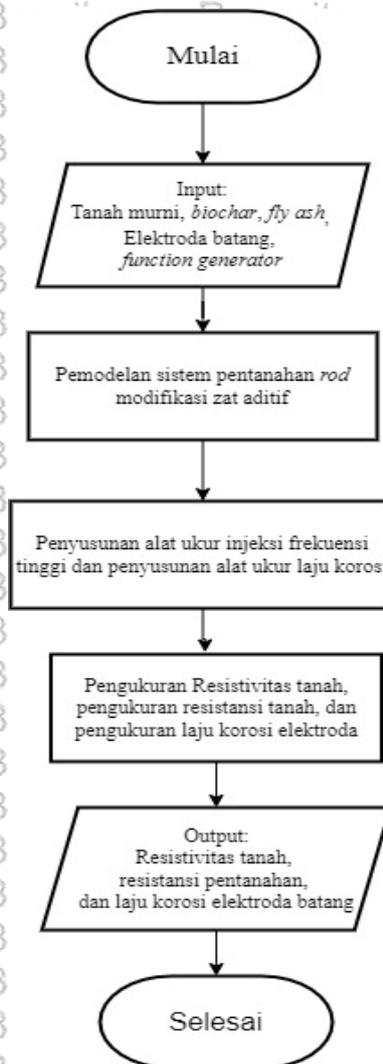


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Pada Gambar 3.1 Dapat ditunjukkan diagram alir penelitian yang diawali dengan survei lapangan dan persiapan alat dan bahan berupa pengukuran kondisi tanah yang meliputi pH, suhu, kelembapan tanah, serta pengukuran resistivitas tanah yang digunakan. Kemudian Menanam tabung alumunium dan elektroda batang diikuti dengan menambahkan zat aditif ke dalam tanah. Setelah itu, dilakukan pengukuran resistansi pentanahan dengan variasi injeksi frekuensi dan komposisi zat aditif campuran. Kemudian, didapatkan hasil analisis dari penelitian ini yaitu resistivitas tanah, resistansi pentanahan, dan laju korosi material elektroda batang.

3.2 Diagram Alir Penyelesaian Masalah

Metode penelitian yang akan digunakan untuk mencapai penyelesaian masalah dalam penelitian ini memiliki langkah-langkah seperti yang ditunjukkan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir penyelesaian masalah

Proses penyelesaian masalah dalam penelitian dimulai dari input beberapa bahan yang digunakan, kemudian dilakukan pemodelan system pentanahan dengan modifikasi zat aditif. Setelah itu, penyusunan alat ukur metode 3 titik dengan injeksi frekuensi tinggi dan penyusunan alat ukur laju korosi elektroda. Dilanjutkan dengan pengukuran resistivitas tanah, pengukuran resistansi tanah, dan pengukuran laju korosi elektroda. Dari hasil pengukuran didapatkan data berupa resistivitas tanah, impedansi pentanahan, dan laju korosi material elektroda batang.

3.3 Studi Literatur

Penelitian ini dibuat dengan memanfaatkan beberapa literatur yang diperoleh dari buku referensi, jurnal internasional, maupun hasil penelitian sebelumnya yang serupa. Studi literatur dapat berupa media cetak dan media elektronik.

3.4 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang akan diamati. Adapun variabel penelitian sebagai berikut:

1. Berapa besar pengaruh penambahan komposisi campuran *biochar* dan *flyash* terhadap penurunan nilai resistansi pentanahan pada elektroda berbentuk batang.
2. Berapa besar pengaruh injeksi frekuensi elektroda batang terhadap nilai resistansi pentanahan.
3. Berapa besar pengaruh penambahan *biochar* dan *flyash* terhadap laju korosi elektroda batang.

3.5 Perencanaan Penelitian

Langkah-langkah dalam perencanaan penelitian untuk mencari karakteristik pengaruh penambahan *biochar* dan *flyash* terhadap resistansi pentanahan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan tempat pengujian

Pengujian dilakukan pada satu tempat penggalian dengan tujuan agar data yang diambil pada ketebalan penanaman elektroda pada kondisi tanah yang sama.

2. Mempersiapkan *biochar* dan *fly ash*

Ukuran partikel *biochar* dan *flyash* dibuat seragam dengan menggunakan ayakan, agar nilai resistansi kontak antara permukaan elektroda batang dan tanah disekitarnya menjadi sangat kecil dan dapat diabaikan.

3. Mempersiapkan model elektroda pentanahan

Elektroda batang dengan bahan tembaga dengan dimensi 1 meter, diameter 1,3 cm. Panjang elektroda dipilih sebesar 1 meter karena penelitian yang menggunakan 1 jenis tanah (*top soil*) sehingga dapat mengabaikan pengaruh sifat keberagaman zat penyusun tanah, seperti penjelasan pada sub bab 2.2. Kemudian tabung pentanahan menggunakan material alumunium dengan ketebalan 1 mm. Material alumunium dipilih karena merupakan jenis konduktor yang baik dengan konduktivitas material sebesar 0,4 Mega mho / cm. Selain itu daya Tarik alumunium lebih rendah dibandingkan tembaga, sehingga alumunium mudah untuk dibentuk menjadi tabung.

4. Mempersiapkan peralatan injeksi frekuensi tinggi

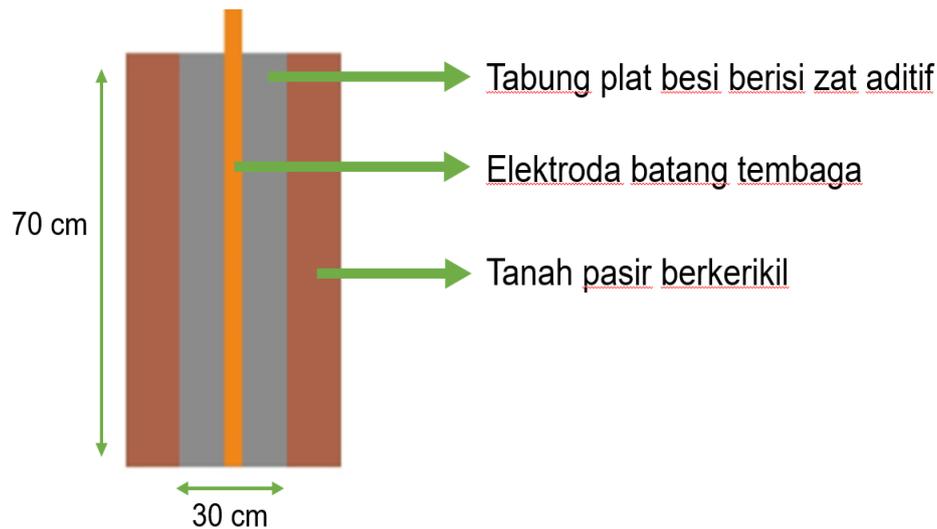
Peralatan yang dibutuhkan dalam injeksi frekuensi berupa *function generator* dan osiloskop digital sebagai alat pengukuran.

5. Metode Pengukuran

Dalam penelitian ini menggunakan metode 4 titik untuk mengukur resistivitas pentanahan dan metode 3 titik dengan injeksi arus frekuensi tinggi untuk mengukur resistansi pentanahan.

3.6 Objek Uji

Pada penelitian ini objek uji yang digunakan untuk mencari karakteristik pengaruh penambahan *biochar* dan *flyash* terhadap nilai resistansi pentanahan adalah elektroda batang. Elektroda batang ini ditanam dalam tanah bersama dengan *biochar* dan *flyash*. Variabel yang diubah-ubah pada objek uji ini adalah injeksi frekuensi dan komposisi zat kimia. Susunan elektroda batang dan zat aditif ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Susunan Elektroda Batang dengan Zat Aditif sebagai objek uji

3.7 Alat Ukur

Rangkaian pengukuran terdiri dari elektroda batang, *function generator*, osiloskop, dan resistor ($R=1\text{ k ohm}$). *Function generator* digunakan untuk memberikan injeksi frekuensi. Rentang injeksi frekuensi dari 50Hz – 50kHz dengan 10 Vpp. Sinyal osiloskop (Ch1) menampilkan sinyal tegangan pada R (V1) dan sinyal Ch2 adalah sinyal potensial (V2) antara elektroda uji dan elektroda bantu. Sudut fasa dapat dihitung dari perbedaan fasa antara sinyal Ch1 dan Ch2. Selain itu, terdapat alat pengukuran kelembapan, suhu, dan pH tanah yang digunakan. Peralatan utama yang digunakan berupa osiloskop dan *function generator* ditunjukkan Gambar 3.4



(a)



(b)

Gambar 3.4 Peralatan utama pengukuran (a) Osiloskop Digital dan (b) *function generator*

3.8 Penentuan Resistivitas Tanah

Metode pengukuran yang dipergunakan adalah metoda empat titik seperti Gambar 3.2. Bila arus I masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus 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 kerapatan arus seperti pada persamaan 2.2.

Metode empat titik ini menggunakan alat ukur dengan empat terminal atau *probe* yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak yang seragam, satu dengan lainnya. Keempat *probe* tersebut selanjutnya dihubungkan dengan kabel ke alat ukur berupa *digital earth resistance tester*. Metode empat titik ini jarak antar *probe* nilainya sebesar 20 kali dari kedalaman penancapannya. Pada penelitian ini *probe* ditancapkan dengan kedalaman 10 cm, maka jarak antar *probenya* sebesar $10 \times 20 \text{ cm} = 200 \text{ cm}$ atau sebesar 2 m. Jadi jarak antar probe pada penelitian ini menggunakan 6 meter. Hasil pengujian metode 4 titik dimasukkan dalam persamaan 2.3. Dalam pengukuran metode 4 titik ini menggunakan power supply 12 V 10 A dan AVO meter yang ditunjukkan gambar 3.5



(a)

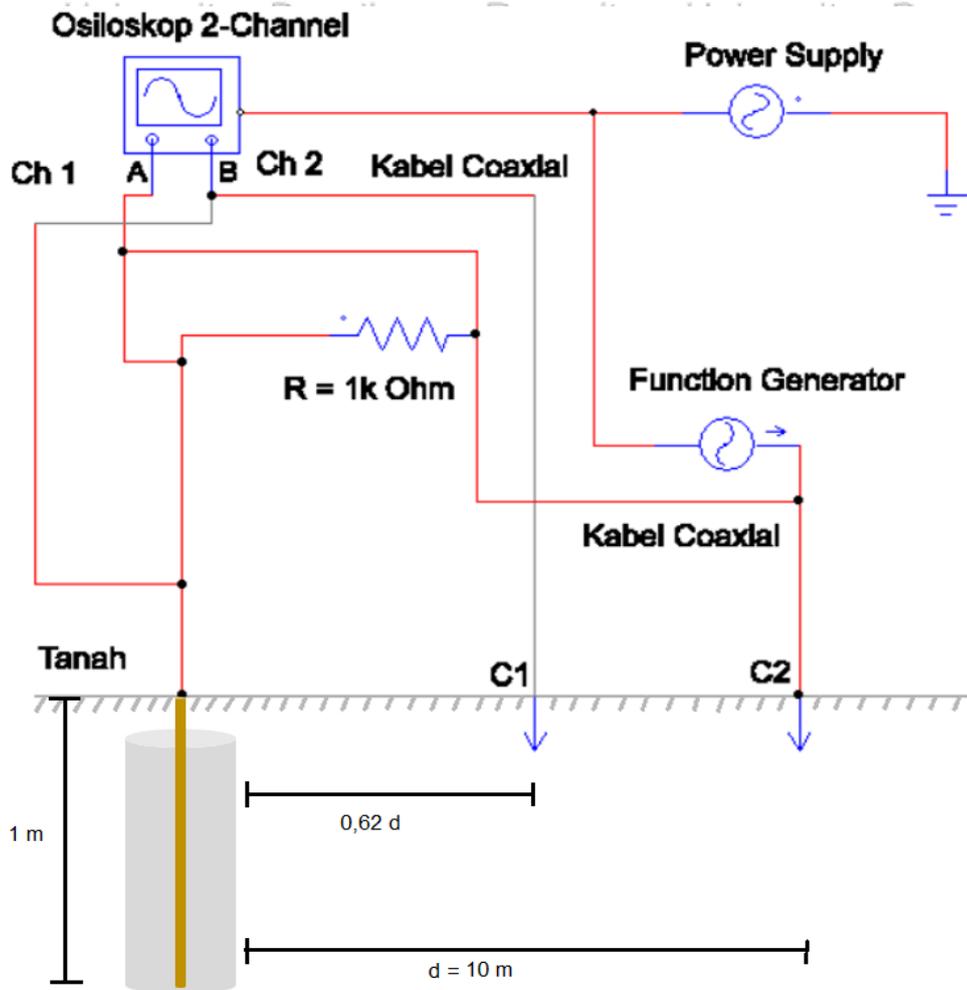


(b)

Gambar 3.5 Alat pengukuran resistivitas tanah metode 4 titik (a) *power supply* (b) AVO meter

3.9 Rangkaian Pengukuran Resistansi *Biochar* dan *flyash*

Biochar dan *flyash* digunakan sebagai media untuk memperkecil nilai resistansi pentanahan. Resistivitas *Biochar* dan *flyash* ditentukan dengan cara memasukkan partikel kedua zat kedalam tabung berbahan plat aluminium setelah itu dihubungkan dengan osiloskop seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengukuran resistansi pentanahan dengan injeksi frekuensi tinggi

Metode yang digunakan untuk mengukur impedansi pentanahan adalah metode 3 titik (*fall of potential*) karena nilai pengujian dapat diandalkan, sesuai dengan IEEE 81, operator memiliki kendali penuh atas pengaturan pengujian, dan cocok untuk penggunaan system elektroda sederhana (1 atau 2 elektroda) (Megger, 2010). Metode ini menggunakan tiga elektroda yaitu elektroda uji (C0), elektroda bantu (C1), dan elektroda luar (C2). Dua elektroda (C1 dan C2) ditanam ke dalam tanah, membentuk garis lurus dengan C0 (Gambar 6). *Function generator* digunakan untuk menginjeksikan arus (I) melalui elektroda luar (C0 dan C2). Tegangan (V) diukur dari potensial antara C0 dan C1, sehingga nilai impedansi pentanahan dapat dihitung dengan elektroda adalah V/I .

Rangkaian pengukuran terdiri dari elektroda batang, generator fungsi, osiloskop, dan resistor ($R = 100k \text{ ohm}$). Rentang injeksi frekuensi dari $50 \text{ Hz} - 50 \text{ kHz}$ dengan 10 Vpp . Sinyal osiloskop (Ch1) menampilkan sinyal tegangan pada R ($V1$) dan sinyal Ch2 adalah sinyal potensial ($V2$) antara C0 dan C2. Sudut fasa dapat dihitung dari perbedaan

fasa antara sinyal Ch1 dan Ch2. Arus (I) didapatkan dari V_1/R . Tegangan (V) didapatkan dari V2, sehingga nilai dari tahanan pentanahan dapat dihitung melalui $Z = V/I$.

3.10 Pengukuran Laju Korosi

Penambahan zat aditif berupa *biochar* dan *fly ash* pada sistem pentanahan memberikan dampak berupa perubahan nilai pH, kandungan H₂O dan O₂, dan potensi kandungan elektrolit. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi terjadinya korosi pada suatu material. Korosi pada suatu material elektroda pentanahan akan memengaruhi besar tahanan pentanahan, sehingga dibutuhkan data pendukung berupa pengujian laju korosi pada penggunaan paduan kedua zat aditif.

Satuan yang paling umum digunakan adalah mm/tahun (standar internasional) atau *mill/year* (mpy, standar British) (Afandi, 2015). Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh data laju korosi adalah metode polarisasi potensiodinamik. Polarisasi merupakan selisih antara potensial elektroda dan potensial korosi bebas yang disebabkan karena logam tidak dalam keadaan setimbang. Pada pengujian ini digunakan tiga elektroda yang direndam dalam larutan elektrolit. Jenis elektroda yang digunakan yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda bantu (*auxiliary electrode*), dan elektroda acuan (*reference electrode*) (Bardal, 2004). Kemudian hasil laju korosi akan diamati melalui perangkat computer menggunakan *software* AutoLab PG STAT 204. Alat pengujian laju korosi material elektroda ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Alat ukur laju korosi AutoLab PG STAT 204

3.11 Analisis dan Pembahasan

Analisa data adalah pengolahan data yang telah dikumpulkan dengan metode yang diperoleh dari literatur yang ada. Analisis data dan pembahasan dilakukan dengan megnacu pada rumusan masalah.

3.12 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Dari analisis dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan yang merupakan intisari dari penulisan skripsi ini dan disertakan pula saran untuk mengembangkan penelitian ke depan yang terkait dengan permasalahan ini.





BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Sifat Tanah

Sebelum melakukan pengukuran resistansi pentanahan, maka perlu dilakukan pengukuran sifat kimia tanah sebagai berikut:

4.1.1 Pengukuran pH, Temperatur, dan Kelembapan Tanah

Pengukuran kondisi awal tanah dilakukan dengan menggunakan *soil meter* sehingga mendapatkan hasil pH tanah, temperature, dan kelembapan tanah yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil dari pengukuran tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Sifat kimia tanah pH, suhu, dan kelembapan tanah

Parameter	Hasil Pengukuran
pH	6,5
Temperatur	33 °C
Kelembapan tanah	55 %

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki karakteristik berupa derajat keasaman (pH) sebesar 6,5 yang artinya tanah dalam kondisi sedikit asam. Kemudian suhu dan kelembapan tanah sebesar 33 °C dan 55% pada pengukuran dengan kedalaman 15 cm.

4.1.2 Penentuan Resistivitas Tanah

Pengukuran resistivitas tanah dilakukan menggunakan metode 4 titik seperti yang dijelaskan pada bab 3 sebelumnya. Hasil dari pengukuran tersebut didapatkan nilai beda potensial dan arus pada elektroda uji. Untuk hasil yang mendekati akurat, pengambilan data dilakukan berulang kali. Berikut merupakan hasil pengambilan data arus dan beda potensial dari pengukuran metode 4 titik.

Tabel 4.2 Arus dan beda potensial pengujian metode 4 titik

No	Arus (A)	Beda Potensial (V)
1	0,61	0,35
2	0,55	0,33
3	0,53	0,34
4	0,55	0,34
Rata-rata	0,56	0,34

Dari hasil pengukuran didapatkan rata-rata nilai arus dan beda potensial yakni 0,56 A dan 0,34 V. Kemudian nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan resistivitas tanah menggunakan konfigurasi *Wenner*.

$$\rho = 2 \pi a \frac{V}{I}$$

$$\rho = 2 \times 3,14 \times 100 \times \frac{0,34}{0,56}$$

$$\rho = 381,28 \Omega\text{m}$$

Jadi nilai resistivitas tanah di lapangan hasil pengukuran adalah 381,28 Ωm

4.2 Pengukuran Kadar air, dan Kerapatan Zat Aditif

4.2.1 Penambahan Kadar Air dalam Zat Aditif

Pengukuran untuk menentukan kadar air dilakukan dengan melakukan penyemprotan dengan volume air terukur yang sama yakni 250 ml. Setiap variasi komposisi zat aditif campuran memiliki massa total zat sebesar 2000 gram. Kadar air dari zat aditif ditentukan melalui persamaan di bawah.

$$\text{Kadar Air (KA)} = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\%$$

$$\text{KA} = \frac{2200 - 2000}{2000} \times 100\%$$

$$\text{KA} = 10 \%$$

Sehingga, persentase kadar air yang digunakan pada zat aditif adalah 10%.

4.2.2 Penentuan Kerapatan Partikel Zat Aditif dalam Kondisi Pembasahan

Kerapatan partikel zat aditif ditentukan karena mempengaruhi volume media yang ditambahkan sehingga sifat media menjadi lebih konduktif. Ukuran partikel zat aditif dikondisikan sama, yakni dalam ukuran 32 mesh atau sebesar 0,5mm.

Kerapatan partikel zat aditif dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah.

$$\text{Kerapatan Partikel (K)} = \frac{m}{v}$$

$$K = \frac{2200}{49500}$$

$$K = 0,044 \text{ gram/cm}^3$$

4.3 Pengukuran Resistansi Pentanahan Injeksi Frekuensi Tinggi

4.3.1 Resistansi Pentanahan Tanpa *Soil Treatment*

Pada pengujian pertama, elektroda batang ditanam pada kedalaman 70 cm tanpa mendapatkan perlakuan (tanah murni). Kemudian elektroda batang diberi injeksi arus AC dengan frekuensi antara 50 Hz- 50 kHz. Terdapat pergeseran sudut fasa pada frekuensi tertentu yang dinyatakan dalam α ($^{\circ}$). Saat α bernilai negatif, maka arus mendahului tegangan, sebaliknya jika α bernilai positif, maka arus tertinggal dari tegangan. Hasil pengukuran yang terbaca pada osiloskop digital ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian sistem pentanahan tanah murni

f (Hz)	Z (Ω)	α ($^{\circ}$)	Z cos α (Ω)	Z sin α (Ω)	Sifat
50	406,3	0	406,3	0	Resistif
500	320,0	0	320,0	0	Resistif
5000	248,3	-10	244,6	-43,1	Kapasitif
10000	166,7	-20	156,6	-57,0	Kapasitif
50000	88,7	36	71,7	52,1	Induktif

Pada frekuensi 50 Hz dan 500 Hz elektroda dimodelkan seperti rangkaian pada Gambar 2.6 (a), dimana bersifat resistif. Kemudian pada frekuensi 5 kHz hingga 50 kHz elektroda dimodelkan seperti rangkaian pada Gambar 2.6 (b). Pada pengujian resistansi tanah murni, nilai resistansi (impedansi *real*) terukur mencapai 406,3 ohm dan nilai impedansi imajiner tertinggi mencapai 52,1 ohm. Nilai minus dan positif pada impedansi imajiner dapat dilihat pada metode diagnosis impedansi pentanahan yang menunjukkan jika hasil Z sin α negatif maka bersifat kapasitif, sedangkan jika hasil Z sin α positif maka bersifat induktif.

Pada Tabel 4.3 menunjukkan adanya sifat resistif, induktif, dan kapasitif. Hal ini menunjukkan bahwa sifat tanah yang digunakan tidak berupa tahanan murni akan tetapi adanya permitivitas dan permeabilitas. Secara teori permitivitas tidak bersifat konstan, tetapi tergantung adanya dari komposisi tanah, kelembaban, dan tentu saja frekuensi arus yang diinjeksikan ke tanah. Permitivitas tanah akan menurun seiring dengan penambahan frekuensi. Induktansi (L) lebih dipengaruhi oleh panjang konduktor yang ditanam dan sifat permeabilitas tanah, seperti halnya sifat induktansi

yang lain bahwa makin panjang konduktor yang ditanam, maka makin besar nilai induktansi sistem pentanahannya.

4.3.2 Resistansi Pentanahan dengan *Soil Treatment*

Media sisipan ditambahkan ke dalam silinder dengan volume 49500 cm^3 . Zat aditif yang digunakan memiliki beberapa variasi komposisi campuran, komposisi *fly ash* dan *biochar* yang digunakan berturut-turut sebesar 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100. Selanjutnya dilakukan pengukuran resistansi pentanahan dengan mengubah injeksi frekuensi dari 50Hz hingga 50kHz.

Hasil dari pengukuran resistansi pentanahan beberapa variasi komposisi zat aditif tertera pada osiloskop digital yang ditunjukkan pada tabel di bawah.

1. *Fly ash* 100 %

Pada pengujian menggunakan zat aditif *fly ash* 100%, hasil impedansi *real* terendah bernilai 25,8 ohm dan tertinggi bernilai 220 ohm. Kemudian pengukuran impedansi imajiner memiliki nilai terendah sebesar -32,4 ohm dan tertinggi sebesar 10,9 ohm. Elektroda pentanahan bersifat resistif saat diinjeksikan frekuensi 50 dan 500 Hz, kapasitif saat memiliki nilai $Z \sin \alpha$ negatif, yakni saat frekuensi 5 kHz dan 10 kHz. Kemudian bersifat induktif saat diberi injeksi frekuensi 50 kHz. Hasil pengukuran impedansi pentanahan dengan komposisi zat aditif 100% *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pengujian sistem pentanahan (*fly ash* 100%)

f (Hz)	Z (Ω)	α ($^\circ$)	Z cos α	Z sin α	Sifat
50	220,0	0	220,0	0	Resistif
500	213,3	0	213,3	0	Resistif
5000	168,0	-8	166,4	-23,4	Kapasitif
10000	117,7	-16	113,1	-32,4	Kapasitif
50000	28,0	23	25,8	10,9	Induktif

2. *Biochar* 50% + *fly ash* 50%

Pada pengujian menggunakan zat aditif *biochar* 50% + *fly ash* 50%, hasil impedansi *real* terendah sebesar 26,2 ohm dan tertinggi bernilai 203 ohm. Kemudian pengukuran impedansi imajiner memiliki nilai terendah sebesar -36,3 ohm dan tertinggi sebesar 14,5 ohm. Elektroda pentanahan bersifat resistif saat diinjeksikan frekuensi 50 Hz dan 500 Hz, kapasitif saat memiliki nilai $Z \sin \alpha$ negatif, yakni saat frekuensi 5 kHz dan 10 kHz. Kemudian bersifat induktif saat diberi injeksi frekuensi

50 kHz. Hasil pengukuran impedansi pentanahan dengan komposisi zat aditif *biochar 50% + fly ash 50%* ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil pengujian sistem pentanahan (*Biochar 50% + fly ash 50%*)

f (Hz)	Z (Ω)	α ($^\circ$)	Z cos α	Z sin α	Sifat
50	185,0	0	185,0	0	Resistif
500	203,0	0	203,0	0	Resistif
5000	151,3	-6	150,5	-15,8	Kapasitif
10000	117,3	-18	111,6	-36,3	Kapasitif
50000	30,0	29	26,2	14,5	Induktif

3. *Biochar 100%*

Pada pengujian menggunakan zat aditif *biochar 100%*, hasil impedansi *real* terendah sebesar 37,4 ohm dan tertinggi bernilai 310 ohm. Kemudian pengukuran impedansi imajiner memiliki nilai terendah sebesar -28,3 ohm dan tertinggi sebesar 12,1 ohm. Elektroda pentanahan bersifat resistif saat diinjeksikan frekuensi 50 Hz dan 500 Hz, kapasitif saat memiliki nilai Z sin α negatif, yakni saat frekuensi 5 kHz dan 10 kHz. Kemudian bersifat induktif saat diberi injeksi frekuensi 50 kHz. Hasil pengukuran impedansi pentanahan dengan komposisi zat aditif *biochar 100%* ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil pengujian sistem pentanahan (*Biochar 100%*)

f (Hz)	Z (Ω)	α ($^\circ$)	Z cos α	Z sin α	Sifat
50	310,0	0	310,0	0	Resistif
500	224,7	0	224,7	0	Resistif
5000	137,0	-3	136,8	-7,2	Kapasitif
10000	148,3	-11	145,6	-28,3	Kapasitif
50000	39,3	18	37,38	12,1	Induktif

4. *Biochar 25% + fly ash 75%*

Pada pengujian menggunakan zat aditif *biochar 25% + fly ash 75%*, hasil impedansi *real* terendah sebesar 33,3 ohm dan tertinggi bernilai 251 ohm. Kemudian pengukuran impedansi imajiner memiliki nilai terendah sebesar -25,4 ohm dan tertinggi sebesar 16,9 ohm. Elektroda pentanahan bersifat resistif saat diinjeksikan frekuensi 50 Hz dan 500 Hz, kapasitif saat memiliki nilai Z sin α negatif, yakni saat frekuensi 5 kHz dan 10 kHz. Kemudian bersifat induktif saat diberi injeksi frekuensi

50 kHz. Hasil pengukuran impedansi pentanahan dengan komposisi zat aditif *biochar* 25% + *fly ash* 75% ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil pengujian sistem pentanahan (*biochar* 25% + *fly ash* 75%)

f (Hz)	Z (Ω)	α ($^{\circ}$)	Z cos α	Z sin α	Sifat
50	251,0	0	251,0	0	Resistif
500	211,0	0	211,0	0	Resistif
5000	159,3	-8	157,8	-22,2	Kapasitif
10000	112,7	-13	109,8	-25,3	Kapasitif
50000	37,3	27	33,3	16,9	Induktif

5. *Biochar* 75% + *fly ash* 25%

Pada pengujian menggunakan zat aditif *biochar* 75% + *fly ash* 25%, hasil impedansi real terendah sebesar 23,9 ohm dan tertinggi bernilai 227 ohm. Kemudian pengukuran impedansi imajiner memiliki nilai terendah sebesar -17,9 ohm dan tertinggi sebesar 10,2 ohm. Elektroda pentanahan bersifat resistif saat diinjeksikan frekuensi 50 Hz dan 500 Hz, kapasitif saat memiliki nilai $Z \sin \alpha$ negatif, yakni saat frekuensi 5 kHz dan 10 kHz. Kemudian bersifat induktif saat diberi injeksi frekuensi 50 kHz. Hasil pengukuran impedansi pentanahan dengan komposisi zat aditif *biochar* 75% + *fly ash* 25% ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil pengujian sistem pentanahan (*biochar* 75% + *fly ash* 25%)

f (Hz)	Z (Ω)	α ($^{\circ}$)	Z cos α	Z sin α	Sifat
50	227,0	0	227,0	0	Resistif
500	205,3	0	205,3	0	Resistif
5000	158,3	-4	157,9	-11,0	Kapasitif
10000	114,3	-9	112,9	-17,9	Kapasitif
50000	26,0	23	23,9	10,2	Induktif

4.4 Analisis Resistansi Pentanahan Injeksi Frekuensi Tinggi

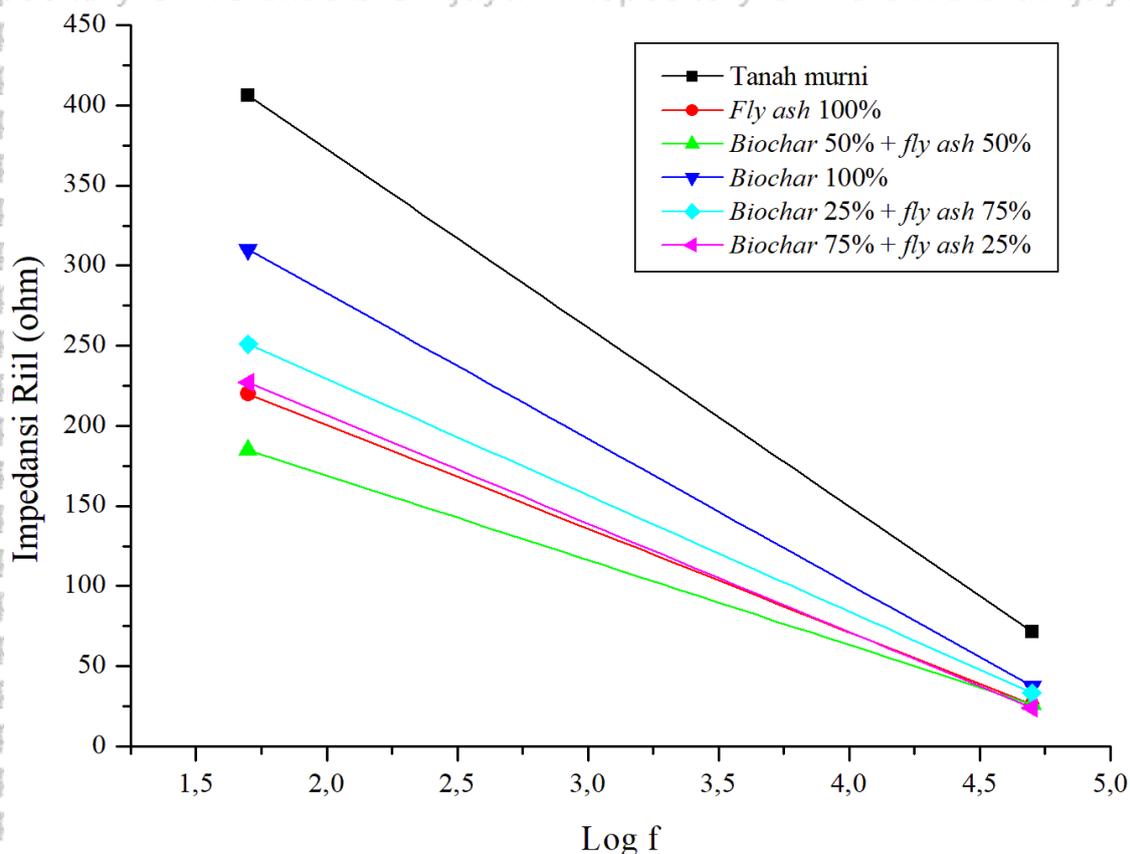
Hasil pengukuran resistansi dengan variasi komposisi zat aditif (*fly ash* dan *biochar*) dibandingkan dengan hasil pengukuran resistansi pentanahan tanpa perlakuan (tanah murni). Nilai impedansi yang didapatkan terdiri dari nilai real dan imajiner. Hal tersebut sesuai dengan persamaan impedansi di bawah ini.

$$Z = R_{\text{il}} + jI_{\text{majiner}}$$

$$Z = Z \cos \alpha + j \cdot Z \sin \alpha$$

Dimana resistansi pentanahan diperoleh dari nilai $Z \cos \alpha$, sedangkan impedansi imajiner ($j, Z \sin \alpha$) digunakan untuk menentukan sifat konduktor saat diinjeksi frekuensi tertentu.

Adapun hasil perbandingan antara masing-masing perlakuan ditunjukkan pada grafik di bawah. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penambahan zat aditif dengan berbagai variasi komposisi dapat mereduksi impedansi real pentanahan.



Gambar 4.1 Kurva Impedansi riil ($Z \cos \alpha$) terhadap log frekuensi

Penurunan resistansi pentanahan pada masing-masing variasi komposisi zat aditif (*fly ash* dan *biochar*) ditunjukkan pada Tabel 4.9 di bawah ini. Pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa pada frekuensi yang sangat tinggi (50 kHz) mampu memengaruhi sifat resistif elektroda sehingga didominasi oleh sifat induktif (reaktansi). Penurunan resistansi pentanahan tertinggi sebesar 66,64% yakni pada paduan *biochar* 75% + *fly ash* 25%. Kemudian penurunan nilai resistansi pentanahan terkecil pada saat komposisi zat aditif *Biochar* 100% dengan injeksi frekuensi 10 kHz.

Tabel 4.9 Penurunan Nilai Resistansi Pentanahan Seluruh Variasi Perlakuan

Frekuensi (Hz)	Penurunan Nilai Resistansi Pentanahan									
	<i>Fly ash</i> 100%		<i>Biochar</i> 50% + <i>fly ash</i> 50%		<i>Biochar</i> 100%		<i>Biochar</i> 25% + <i>fly ash</i> 75%		<i>Biochar</i> 75% + <i>fly ash</i> 25%	
	Ω	%	Ω	%	Ω	%	Ω	%	Ω	%
50	186,3	45,9	221,3	54,5	96,3	23,7	155,3	38,2	179,3	44,1
500	106,7	33,3	117,0	36,6	95,3	29,8	109,0	34,1	114,7	35,8
5000	78,2	31,9	94,1	38,5	107,8	44,1	86,8	35,5	86,6	35,4
10000	43,5	27,8	45,0	28,7	11,0	7,0	46,8	29,9	43,7	27,9
50000	45,9	64,1	45,5	63,4	34,4	47,9	38,5	53,6	47,8	66,6

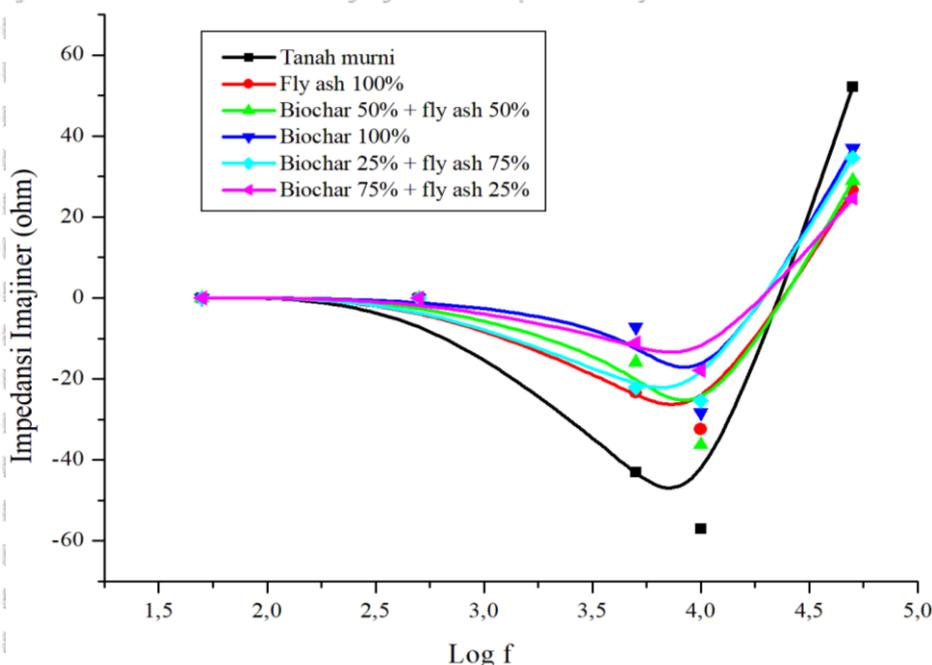
Tabel 4.10 menunjukkan bahwa penambahan zat aditif pada tanah dapat mereduksi impedansi real hingga 59,1% dari impedansi real tanah murni. Penurunan impedansi real terkecil pada saat injeksi frekuensi 10 kHz yakni reduksi sebesar 42,4% dari impedansi real tanah murni. Adapun hasil Penurunan impedansi real rata-rata pada setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Penurunan impedansi real rata-rata seluruh variasi perlakuan

No	Frekuensi (Hz)	Rata-rata reduksi	
		Ohm	Persen (%)
1	50	167,7	41,3
2	500	108,5	33,9
3	5000	90,7	37,1
4	10000	38,0	24,3
5	50000	42,4	59,1

Secara teori permitivitas tidak bersifat konstan, tetapi tergantung adanya dari komposisi tanah, kelembaban, dan tentu saja frekuensi arus yang diinjeksikan ke tanah. Permitivitas tanah akan menurun seiring dengan penambahan frekuensi. Induktansi (L) lebih dipengaruhi oleh panjang konduktor yang ditanam dan sifat permeabilitas tanah, seperti halnya sifat induktansi yang lain bahwa makin panjang konduktor yang ditanam, maka makin besar nilai induktansi sistem pentanahannya.

Gambar 4.2 menunjukkan adanya sifat induktif dan kapasitif. Pada frekuensi tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak bersifat induktif, sedangkan pada di frekuensi rendah lebih bersifat kapasitif. Hal ini menunjukkan bahwa sifat zat aditif tidak hanya tahanan murni akan tetapi adanya permitivitas dan permeabilitas. Nilai minus dan positif pada impedansi imajiner dapat dilihat pada metode diagnosis impedansi pentanahan yang menunjukkan jika hasil $Z \sin \alpha$ negatif maka bersifat kapasitif, sedangkan jika hasil $Z \sin \alpha$ positif maka bersifat induktif.



Gambar 4.2 Kurva Impedansi imajiner ($Z \sin \alpha$) terhadap log frekuensi

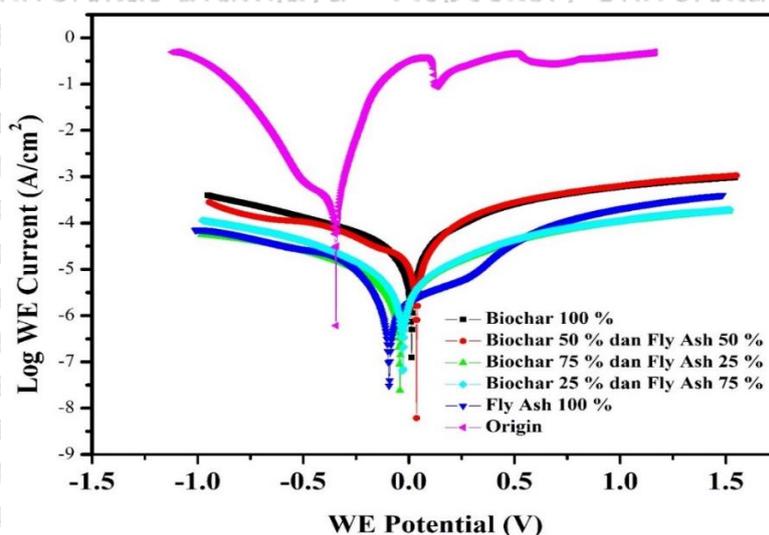
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada setiap frekuensi injeksi terdapat penurunan tahanan pentanahan. Saat injeksi frekuensi rendah (50 Hz) dimana merupakan frekuensi kerja pada sistem tenaga listrik, titik netral sistem, dan bodi peralatan elektroda cenderung bersifat resistif murni. Hal tersebut sesuai dengan teori rangkaian parameter distribusi pada frekuensi tinggi, dimana ketika frekuensi rendah diinjeksikan, sifat impedansi pentanahan adalah resistif. Karena rangkaian ekuivalen terdiri dari resistor. Pada frekuensi rendah, induktor akan berperan sebagai *low pass filter*, sehingga inductor meloloskan frekuensi rendah dan dianggap *short*, kemudian kapasitor yang merupakan *high pass filter* dapat dianggap rangkaian *open* karena melakukan *blocking*.

Kemudian pada injeksi frekuensi menengah (5 kHz dan 10 kHz) dimana merupakan frekuensi kerja dari peralatan elektronik, elektroda cenderung bersifat kapasitif. Hal tersebut dikarenakan pada rangkaian ekivalen elektroda nilai reaktansi kapasitif lebih rendah dibanding nilai resistansi murni, sehingga sesuai dengan gambar 2.6 (b) arus akan melewati kapasitor dibanding melewati resistor.

Pada proteksi petir, dimana frekuensi kerja yang berlaku memiliki karakteristik 10 – 350 *microsecond* dengan sambaran pertama yang memiliki frekuensi sebesar lebih dari 30 kHz. Hal tersebut dapat dilihat pada pengujian dengan injeksi frekuensi 50 kHz, dimana elektroda batang cenderung bersifat induktif. Hal tersebut

4.5 Analisis Laju Korosi Elektroda

Gambar 4.3 merupakan *tafel plot* yang terbentuk pada saat melakukan pengujian laju korosi. Kurva yang terbentuk menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan zat aditif membuat kurva yang terbentuk cenderung bergeser kearah kanan. Hal ini menunjukkan bahwa potensial korosi (*WE Potential*) cenderung bergeser ke kanan atau kearah pasif seiring dengan adanya penambahan zat aditif. Menurut Kumari & Mujumdar (2017), pergeseran ke kanan atau ke arah pasif menunjukkan bahwa terjadi peningkatan aktivitas penahanan elektron yang menyebabkan korosi dimana aktivitas korosi menjadi pasif.

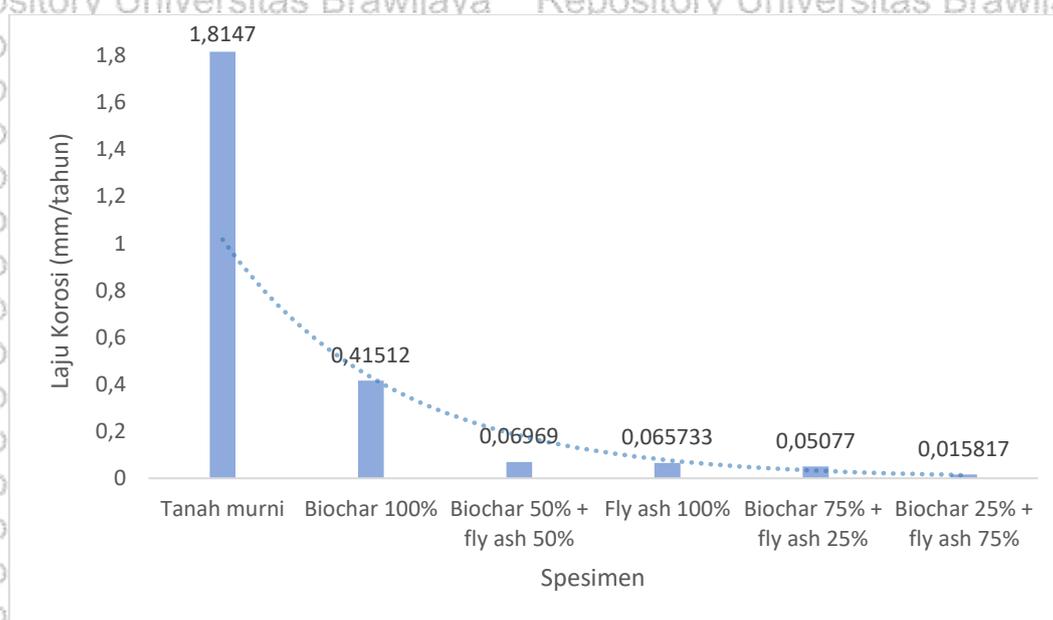


Gambar 4.3 *Tafel plot* laju korosi penambahan zat aditif

Pada *tafel plot* berwarna ungu (tanah murni) terdapat penurunan arus korosi sesaat yang menyebabkan terlihat adanya *ripple* pada grafik. Hal tersebut berarti pada daerah

pasif terlihat laju korosi seolah-olah berhenti, rapat arus anodik tidak bertambah dengan meningkatnya potensial, yang diartikan mulai terbentuknya pasivasi. Daerah pasif mempresentasikan daerah potensial dengan laju korosi yang lambat dikarenakan terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam. Lapisan pasif adalah produk korosi dan lapisan ini melindungi logam dibawahnya karena lapisan ini menjadi penghalang (*barrier*) yang mencegah lingkungan korosif kontak dengan logam dibawah lapisan pasif.

Analisis laju korosi pada elektroda tembaga dilakukan dengan uji polarisasi laju korosi untuk mendapatkan data laju korosi pada elektroda dengan perlakuan penambahan zat aditif pada tanah berupa *biochar* dan *fly ash*, pengujian dilakukan dengan variasi komposisi zat aditif 0:100%, 25:75%, 50:50%, 75:25%, dan 100:0%. Pengujian pada laju korosi menggunakan perangkat PGSTAT 204. Penurunan laju korosi setelah adanya penambahan zat aditif ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh komposisi zat aditif terhadap nilai laju korosi

Penggunaan arang menjadikan tanah ber-pH sedikit asam, dalam hal ini meskipun mampu menurunkan resistansi pentanahan dengan baik, tapi jika dibiarkan lama-kelamaan dalam kondisi basah kandungan kimia arang akan membuat tembaga menjadi korosi yang bisa memperbesar nilai resistansi. Tabel 4.11 menunjukkan hasil polarisasi potensi dinamik elektroda tembaga yang telah diberi perlakuan penambahan zat aditif.

Tabel 4.11 Parameter Polarisasi Potensiodinamik Paduan *biochar-fly ash*

Spesimen	Ba (V/dec)	Bc (V/dec)	J_{corr} (A/cm ³)	I_{corr} (A)	Corrosion rate (mm/tahun)
Tanah Murni	0,37936	0,069169	$8,00 \times 10^{-5}$	$3,2 \times 10^{-4}$	1,8147
<i>Biochar</i> 100%	-5,2593	0,47371	$1,83 \times 10^{-5}$	$7,32 \times 10^{-5}$	0,41512
<i>Biochar</i> 50% + <i>fly ash</i> 50%	0,56185	0,61197	$3,07 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-5}$	0,069691
<i>Fly ash</i> 100%	0,27056	0,171	$2,90 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-5}$	0,065733
<i>Biochar</i> 75% + <i>fly ash</i> 25%	0,65695	0,82234	$2,24 \times 10^{-6}$	$8,95 \times 10^{-6}$	0,050767
<i>Biochar</i> 25% + <i>fly ash</i> 75%	0,25298	2,7319	$6,97 \times 10^{-7}$	$2,79 \times 10^{-6}$	0,015817

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa nilai laju korosi elektroda tembaga dengan perlakuan penambahan zat aditif dengan komposisi 25% *biochar* dan 75% *fly ash* paling rendah dibanding dengan komposisi yang lain. Nilai laju korosi elektroda tembaga paling kecil sebesar 0,016 mm/ tahun. Kemudian nilai laju korosi terbaik berturut-turut dengan komposisi 75% *biochar* 25% *fly ash*, 100% *fly ash*, 50% *biochar* 50% *fly ash*, dan 100% *biochar*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *biochar* dan *fly ash* mampu menghambat degradasi material yang ditimbulkan akibat peristiwa elektrokimia. Hasil penambahan zat aditif masuk kedalam kategori baik-baik sekali.

Berdasarkan nilai potensial korosi pada elektroda tembaga yang terdapat penambahan zat aditif menunjukkan bahwa elektroda dengan penambahan 75% *fly ash* + 25% *biochar* memiliki nilai potensial korosi yang paling rendah dibanding komposisi yang lain. Adanya penambahan zat aditif pada elektroda menyebabkan kerapatan arus listrik yang mengalir pada elektroda semakin rendah sehingga nilai i_{corr} juga semakin rendah. Kemudian, seluruh perlakuan dapat mereduksi nilai laju korosi dari tanah murni. Nilai laju korosi tersebut mengalami penurunan hingga 1,79 mm/tahun.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan data hasil penelitian, didapatkan kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Analisis Pengaruh Penambahan *Biochar* dan *Fly Ash* Terhadap Kinerja Pentanahan Elektroda Batang Dengan Injeksi Arus Frekuensi Tinggi bahwa:

1. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan penambahan zat aditif sangat mempengaruhi nilai impedansi riil (resistansi) pentanahan. Namun, jika dilihat dari hasil dan efeknya paduan komposisi zat aditif terbaik didapat ketika perbandingan yang terbaik *Biochar* 75% + *fly ash* 25% yang mampu menurunkan nilai resistansi pentanahan hingga 66%.
2. Hasil pengukuran menunjukkan penambahan paduan zat aditif dengan injeksi arus frekuensi 50 Hz – 50 kHz mampu menurunkan nilai resistansi pada tanah berkerikil sebesar 24% hingga 59%.
3. Dari hasil impedansi imajiner pada frekuensi tinggi (50 kHz) menunjukkan bahwa lebih banyak bersifat induktif sedangkan pada di frekuensi rendah (500 dan 50 Hz) lebih bersifat resistif dan di frekuensi menengah (5 kHz dan 10 kHz) bersifat kapasitif. Hal ini menunjukkan bahwa sifat tanah pasir berkerikil tidak hanya tahanan murni akan tetapi adanya permitivitas dan permeabilitas.
4. Seluruh variasi komposisi zat aditif (*fly ash* dan *biochar*) mampu menurunkan nilai laju korosi yang dimiliki oleh tanah murni. Nilai laju korosi yang paling rendah sebesar 0,016 mm/tahun yakni pada paduan *Biochar* 25% + *fly ash* 75%, sedangkan nilai laju korosi awal (tanah murni) sebesar 1,81 mm/tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, adapun saran yang dapat diberikan untuk peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Dapat dilakukan variasi pengaruh perubahan diameter ataupun kedalaman lubang penanaman elektroda batang untuk menurunkan resistansi, selain itu bisa juga dilakukan dengan memvariasikan lebih banyak lagi zat aditif.

2. Dapat dilakukan penelitian menggunakan injeksi arus frekuensi sangat tinggi dalam orde Mega hingga Giga.
3. Dapat dilakukan pengujian pengaruh injeksi frekuensi tinggi pada ketahanan korosi elektroda pentanahan.



DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. K., Arief, I. S., Amiadji. 2015. Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1, 1-5.
- Anggoro.B., Kudrat,S., Ngapuli,I., Parouli.P., dan Dicky,I. 2007. *The Physical Treatment Soil Characteristic For Groundings System On Madiun And Surabaya Region*. Majalah IPTEK Vol. 18, No. 1
- Anggoro, B. Kodrat, S. 2002. Kontur potensial tanah disekitar konduhor Pengetanahan dengan Injeksi berfrekuensi. FOSTU : Yogyakarta.
- Ardani, I., Anggoro, B., Kudrat, S., Sinisuka, N.I. dan Parouli, M.P. 2002. Perilaku Impedansi Pengetanahan Batang Konduktor Terhadap Injeksi Arus Bolak-Balik, FOSTU, Yogyakarta.
- A. Selvam, P. Manikandan. 20016. *Performance Analysis of Fly Ash with Bentonite in Grounding Pit. International Conference Electrical Energy System*. 58-61.
- Bardal, E. 2004. *Corrosion and Protection*. New York: Springer Verlag London Limited.
- Gomes, C., Lalitha, C., Priyadarshane, C. 2010. *Improvement of Earthing Systems with Backfill Materials. 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*.
- Grecev, L. Helimbach, M. 1997. *Frequeuncy Dependent and Transient Characteristics of Substation Grounding Systems*. IEEE Transaction on Power Delivery.
- Hakim, D., Rio. 2014. *Characteristics Study of Vertical Configuration Grounding System with Two Layer Modified Using Type of Different Soil for Variation Diameter and Frequency Injection, Power Engineering*
- Hanifah, N, (2014). *Characteristic Study Of Two-Layer Vertical Grounding System For Variation Of Length Rod And High Frequency Injection Current (100khz-14mhz)*. *Power Engineering and Renewable Energy International Conference*.
- Hutauruk, T S. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, edisi ke 2. Penerbit Erlangga :Jakarta.
- IEEE Std 80. 1986. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Jasni, J., Siow, L. K., Ab Kadir, M. Z., dan Wan Ahmad, W F. 2010. *Natural Materials as Grounding Filler for Lightning Protection System. 2010. 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*

Kumari, R., Majumdar, J.S. 2017. *Studies on Corrosion Resistance and Bioactivity of Spray Deposited Hydroxylapatite (HA) based TiO₂ and ZrO₂ dispersed composite coatings on titanium alloy (Ti-6Al-4V) and the same after post spray heat treatment. Applied Surface Science. Vol. 420. 935-943.*

Lehmann, J. dan S. Joseph. 2009. *Biochar Environment Management. Earthscan. London. hlm 416.*

Liliana, L dan Setiawan, D. 2020. A Guideline on Designing a Safe and Appropriate Grounding System: A Review of Selected Papers. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 469, no. 1,

Lim, Siow Chun, Chandima Gomes, M Zainal A.A.K, G. Nourirad, dan Z.A Malek. 2015. *Behavior of backfill materials for electrical grounding system under hight voltage condition. Journal of engineering science and technology, 10(6). 811-826.*

Martin, Yul, Dikpride Despa, dan Lusmeilia Afriani. 2018. Pengaruh Pencampuran Gypsum Sebagai Zat Aditif untuk Penurunan Nilai Resistansi Grounding pada Elektroda Batang Tunggal. *Seminar Nasional Teknik Elektro, 98-102.*

Megger. 2010. *Getting Down to Earth. A practical guide to earth resistance testing. 72-73. 1-866-254-0962*

Ningrum, Hanifah N.K. and Anggoro, Bambang. 2014. *Characteristics Study of Two Layer Vertical Grounding System Variation Length Rod and High Frequency Injection (100kHz-14MHz). Power Engineering and Removable Ebetty (ICEPERE) International Conference, Bali-Indonesia*

Nyungkonge, Lukong P dan Noel Djongyang. 2015. *An Efficient Method for Electrical Earth Resistance Reduction Using Biochar. International of Energy and Power Engineering. 4(2): 65-70.*

Opara, F.K., Nduka, O.S., Iloka, N.C., Amaizu P.C., Onyebuchi M.A. 2014. *Comparative Deterministic Analysis of Bentonite, Pig Dung and Domestic Salt and Charcoal Amalgam as Best Resistance Reducing Agent for Electrical Earthing Applications. International Journal of Scientific & Engineering Research, 5(10), 575-584.*

Pabla, A.S. dan Abdul, Hadi. 1991. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Penerbit Erlangga, edisi-1.*



PUIL. 2000. *Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Jakarta: Yayasan PUIL.

Ruliyani, F. 2011. *Sifat-sifat Kimia Tanah di Sekitar Landfill Abu Terbang (Fly Ash) PLTU Suralaya*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Sudaryanto. 2016. Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pembumian pada Tanah Basah, Tanah Berpasir dan Tanah Ladang. *Journal of Electrical Technology*, 1(1).

Vebrianto, S. 2016. *Eksplorasi Metode Geolistrik*. Malang: Universitas Brawijaya Press. ISBN 978-602-203-937-2.

Yuniarti, Erliza. 2016. Gypsum Sebagai *Soil Treatment* dalam Mereduksi Tahanan Pentanahan di Tanah Langsung. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Universitas Muhammadiyah Jakarta. 1-7, 8 November 2016.





LAMPIRAN

Lampiran 1 Penanaman elektroda batang modifikasi



Lampiran 2 Pembentukan tabung alumunium



Lampiran 3 Pengukuran laju korosi



Lampiran 4 Pengujian alat ukur injeksi frekuensi tinggi

