

PEMANFAATAN BENTONIT DAN ABU BATUBARA (*FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*) UNTUK MENURUNKAN RESISTANSI PEMBUMIHAN PADA PEMBUMIHAN *DRIVEN ROD* DAN ELEKTRODA YANG TERLAPISI BETON

(Skripsi)

Oleh

BR BUSAY VIRGI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

THE USE OF BENTONITE AND COAL COMBUSTION PRODUCTS (*FLY ASH AND BOTTOM ASH*) AS GROUNDING ENHANCEMENT MATERIALS ON *DRIVEN ROD* AND CONCRETE ENCASED ELECTRODE GROUNDING SYSTEM

By

BR BUSAY VIRGI

The design of grounding systems are intended as interface between a fault current that flowing in the *down conductor* and the soil mass. Therefore, it takes as small as possible of the grounding resistance value so that the fault current can be quickly discharged into the soil. The grounding resistance affected by the grounding electrode design and the soil resistivity around location of the grounding system. At a very high soil resistivity of the grounding system location mostly done a soil treatment. The other way in an effort to reduce the grounding resistance which is still rarely found especially in Indonesia is by encasing the electrode with concrete

This research was conducted to analyze the application of bentonite and coal combustion products (fly ash and bottom ash) as grounding enhancement materials for soil treatment. The use of concrete encased electrode is to proof that the concrete can be used in the grounding systems. Additive substances replace cement as much as 30% to see the effect of adding additives to the concrete mixture against its grounding resistance value.

The results of the study show that bentonite and coal combustion products (fly ash and bottom ash) as well as the use of concrete encased electrode can obtain smaller grounding resistance compared direct into the soil grounding. Adding additives to the concrete mixture can improve the grounding resistance value of the concrete encased electrode. The value of grounding resistance with fly ash is the best in this study, which results in a reduction of 67%. On the study of the use of the concrete encased electrode, adding the bottom ash to the concrete mixture is the best compared to bentonite and fly ash, which results in a reduction of 65%.

Key Words : *bentonite, fly ash, bottom ash, grounding resistance, concrete encased electrode, soil treatment*

ABSTRAK

PEMANFAATAN BENTONIT DAN ABU BATUBARA (*FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*) UNTUK MENURUNKAN RESISTANSI PEMBUMIAN PADA PEMBUMIAN *DRIVEN ROD* DAN ELEKTRODA YANG TERLAPISI BETON

Oleh

BR BUSAY VIRGI

Perancangan sistem pembumian ditujukan sebagai penghubung antara arus gangguan yang mengalir pada *down conductor* dengan massa tanah. Oleh karena itu, diperlukan nilai resistansi tanah yang kecil agar arus gangguan dapat dengan cepat dialirkan secara merata ke dalam tanah sehingga terhindar dari bahaya kenaikan tegangan. Resistansi pembumian dipengaruhi oleh desain elektroda pembumian dan tahanan jenis tanah di sekitar lokasi sistem pembumian. Pada lokasi pembumian dengan resistivitas tanah sangat tinggi umumnya dilakukan *soil treatment*. Cara lain sebagai upaya menurunkan resistansi pembumian yang masih jarang ditemukan khususnya di Indonesia adalah dengan melapisi elektroda pembumian dengan beton.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pemanfaatan bentonit dan abu batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) sebagai *soil treatment*. Penggunaan elektroda yang terlapisi beton dimaksudkan sebagai pembuktian bahwa beton dapat digunakan dalam sistem pembumian. Zat aditif menggantikan banyak semen sebesar 30% untuk melihat pengaruh penambahan zat aditif ke dalam campuran beton terhadap resistansi pembumiannya.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa bentonit dan abu batubara serta penggunaan elektroda yang terlapisi beton dapat menghasilkan resistansi pembumian yang lebih kecil dibandingkan pembumian langsung ke tanah. Dengan menambahkan zat aditif ke dalam campuran beton dapat memperbaiki resistansi pembumian elektroda yang terlapisi beton. Nilai resistansi pembumian dengan media *fly ash* adalah yang paling baik pada penelitian ini, yaitu menghasilkan reduksi sebesar 67%. Pada elektroda yang terlapisi beton, menambahkan *bottom ash* ke dalam campuran beton adalah yang paling baik dibandingkan penambahan bentonit dan *fly ash*, yaitu menghasilkan reduksi sebesar 65%.

Kata Kunci : *bentonit, fly ash, bottom ash, resistansi pembumian, elektroda yang terlapisi beton, soil treatment*

PEMANFAATAN BENTONIT DAN ABU BATUBARA (*FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*) UNTUK MENURUNKAN RESISTANSI PEMBUMIHAN PADA PEMBUMIHAN *DRIVEN ROD* DAN ELEKTRODA YANG TERLAPISI BETON

Oleh

BR BUSAY VIRGI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **PEMANFAATAN BENTONIT DAN ABU BATUBARA (*FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*) UNTUK MENURUNKAN RESISTANSI PEMBUMIHAN PADA PEMBUMIHAN *DRIVEN ROD* DAN ELEKTRODA YANG TERLAPISI BETON**

Nama Mahasiswa : **BR Busay Virgi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031022

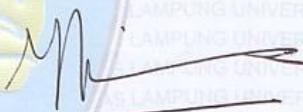
Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing


Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T.
NIP 19710716 200003 1 001


Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T.
NIP 19721219 199903 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro


Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP. 19731128 199903 1 005

22/02 2019

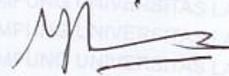
MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

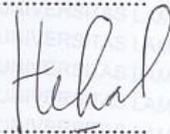
Ketua : Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T.



Sekretaris : Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Januari 2019

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, Februari 2019

Penulis



BR Busay Virgi
NPM. 1315031022

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Bujangga Rahman Busay Virgi dilahirkan di Bandar Lampung Provinsi Lampung pada tanggal 14 September 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Abdul Muis dan Ibu Gusleni.

Penulis menempuh pendidikan formal dan lulus tahun 2006 di SD Negeri 1 Rangai Tri Tunggal, kemudian lulus tahun 2009 di MTs N 1 Tanjung Karang, kemudian lulus tahun 2012 di SMA N 6 Bandar Lampung. Di tahun 2013 penulis mengikuti seleksi bersama masuk perguruan tinggi negeri (SBMPTN) dan diterima di Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Lampung.

Di bangku perkuliahan penulis mengikuti organisasi tingkat jurusan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Fakultas Teknik sebagai anggota divisi sosial periode 2014-2015 dan sebagai anggota divisi hubungan masyarakat periode 2015-2016. Penulis melakukan praktik kerja lapangan (PKL) di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pelabuhan Tarahan 2X8 MW PT. Bukit Asam (Persero) TBK dan membahas mengenai sistem suplai udara *boiler* dengan judul “Penggunaan Inverter *Variable Frequency Drive* Untuk Mengatur Sistem Suplai Udara *Boiler* CFB Di PLTU Pelabuhan Tarahan 2X8 MW PT. Bukit Asam (Persero) TBK.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim
Kupersembahkan Karya ini UNTUK :

Kedua orang tuaku beserta Keluarga

ALMAMATERKU
UNIVERSITAS LAMPUNG

NEGERIKU
NEGARA KESATUAN REPUBLIK INDONESIA

&

PEMBACA SEKALIAN

Motto

“Jika kamu tidak tahu apapun mengenai suatu hal, lebih baik kamu diam saja. Berbicara tentang suatu hal yang tidak kamu ketahui kebenarannya adalah sebuah fitnah.”

— (QS 24: 15-16).

“Education is not the learning of facts, but the training of the mind to think.”

-Albert Einstein

“We’ve added years to life not life to years.”

-George Carlin

“Saatnya mengukir sejarah diri sendiri, bukan hanya membaca sejarah dari orang-orang hebat.”

SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Pemanfaatan Bentonit dan Abu batubara (Fly Ash dan Bottom Ash) Untuk Menurunkan Resistansi Pembumian pada Pembumian Driven Rod dan Elektroda yang Terlapisi Beton*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung;

5. Bapak Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Dr. Henry B.H Sitorus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
7. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama. Terimakasih untuk masukan dan saran-saran dari seminar proposal sampai penyelesaian skripsi ini;
8. Ibu Umi Murdika, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik;
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan;
10. Bapak dan Ibu Staff Laboratorium Terpadu Teknik Elelktro dan juga Staff Administrasi Teknik Elektro Unila;
11. Bapak dan Mamaku terkasih yang telah membesarkanku dan memberikan pendidikan padaku. Terima kasih banyak;
12. Bapak Firman. Terima kasih karena telah membantu dalam pengadaan *fly ash* dan *bottom ash*;
13. Pak Sarwono dan Bang Memen. Terima kasih karena telah membantu dalam pengadaan material untuk membuat beton;
14. Teman-teman Teknik Elektro Unila angkatan 2013, khususnya yang melakukan penelitian di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi. Terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaan yang kalian berikan kepada

penulis, mulai penulis masuk kuliah hingga penulis menyelesaikan skripsi.

Semoga sukses;

15. Seluruh civitas akademika Teknik Elektro Universitas Lampung;

16. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu hingga terselesaikan laporan skripsi ini.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amiin.

Bandarlampung, Februari 2019
Penulis

BR Busay Virgi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Manfaat Penelitian	3
D. Rumusan Masalah.....	3
E. Batasan Masalah	4
F. Hipotesis	4
G. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Sistem Pembedaan.....	7
B. Tahan Jenis Tanah (ρ).....	8
C. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tahanan Jenis Tanah	9
D. Elektroda Pembedaan.....	9
E. <i>Concrete Encased Electrode</i>	11
F. Metode Penanaman Elektroda	12
G. Pengukuran Resistansi Pembedaan	14
H. Bentonit.....	14
I. Beton	16
J. Abu Batubara	18
K. Penelitian yang Telah Dilakukan	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu	23

B. Alat dan Bahan.....	23
C. Pelaksanaan Penelitian.....	24
1. Studi Literatur	24
2. Pengumpulan Alat dan Bahan.....	24
3. Perancangan Pengujian	24
4. Pengukuran Resistansi Pembumian	26
D. Diagram Alir Penelitian	29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Resistansi Pembumian.....	31
1. <i>Soil Treatment</i> Dengan Penambahan Bentonit Dan Abu Batubara	31
2. Penggunaan Elektroda Yang Terlapisi Beton	35
3. Elektroda Yang Terlapisi Beton Dengan Penambahan Zat Aditif	39
B. Efek Penambahan Bentonit Dan Abu Batubara Pada Pembumian <i>Driven Rod</i> Dan Elektroda Yang Terlapisi Beton	45
C. Pengaruh Hujan Terhadap Resistansi Pembumian	53
D. Persentase Perubahan Resistansi Pembumian	57

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	60
B. Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Tahanan jenis tanah.....	9
2.2 Komposisi kimia bentonit	15
2.3 Komposisi kimia semen	17
2.4 Komposisi kimia abu terbang (<i>fly ash</i>)	19
2.5 Komposisi kimi abu dasar (<i>bottom ash</i>).....	19
3.1 Spesifikasi kyoritsu digital <i>earth tester</i> model 4105A.....	27
4.1 Hasil pengukuran <i>soil treatment</i> dengan bentonit dan abu batubara.	31
4.2 Komposisi beton tanpa zat aditif.....	35
4.3 Hasil pengukuran elektroda yang terlapisi beton.....	36
4.4 Komposisi beton dengan penambahan zat aditif.....	40
4.5 Hasil pengukuran elektroda yang terlapisi beton dengan penambahan zat aditif	41
4.6 Efek penambahan zat aditif pada elektroda batang tunggal dan elektroda yang terlapisi beton	45
4.7 Curah hujan selama pengukuran resistansi pembumian	54
4.8 Persentase perubahan resistansi pembumian	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Elektroda pita	10
2.2 Elektroda batang.....	10
2.3 Elektroda pelat	11
2.4 Elektroda yang terlapisi beton.....	11
2.5 Pengukuran tahanan pembumian dengan metode tiga titik	14
2.6 Bentonit dan struktur <i>montmorillonit</i>	15
2.7 Semen portland.....	16
2.8 Agregat (batu pecah dan pasir)	17
2.9 Abu batubara	18
3.1 Kondisi penanaman elektroda pada lubang pembumian.....	26
3.2 Pengukuran pembumian dengan <i>earth tester</i> kyoritsu model 4105A.....	27
3.3 Skematik pengukuran pada elektroda tanpa terlapisi beton.....	28
3.4 Skematik pengukuran pada elektroda yang terlapisi beton.....	28
3.5 Diagram alir penelitian.....	29
4.1 Grafik hasil pengukuran pembumian dengan <i>soil treatment</i>	34
4.2 <i>Mix ratio</i> beton tanpa zat aditif	35
4.3 Grafik hasil pengukuran elektroda yang terlapisi beton	38
4.4 <i>Mix ratio</i> beton dengan penambahan zat aditif	39
4.5 Grafik hasil pengukuran elektroda yang terlapisi beton dengan penambahan zat aditif	44
4.6 Grafik pengaruh lama waktu penanaman terhadap resistansi pembumian ...	49

4.7 Perbandingan resistansi pbumian <i>driven rod</i> dan elektroda yang terlapi beton.....	50
4.8 Grafik resistansi pbumian abu batubara dan bentonit pada pbumian <i>driven rod</i> dan elektroda yang terlapi beton selama pengukuran.....	52
4.9 Pengaruh curah hujan terhadap resistansi pbumian	59
4.10 Grafik persentase perubahan resistansi pbumian	62

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem pembumian memiliki peranan penting untuk melindungi peralatan-peralatan yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga dari gangguan seperti gangguan tanah dan gangguan dari luar, utamanya petir pada sistem tenaga listrik. Gangguan ini berdampak terhadap stabilitas sistem tenaga listrik, merusak peralatan-peralatan listrik dan bahkan membahayakan manusia. Perancangan sistem pembumian ditujukan sebagai penghubung antara arus gangguan yang mengalir pada *down conductor* dengan massa tanah. Oleh karena itu, diperlukan nilai resistansi tanah yang kecil agar arus gangguan dapat dengan cepat dialirkan secara merata ke dalam tanah sehingga terhindar dari bahaya kenaikan tegangan.

Resistansi pembumian yang bernilai kurang dari 5 Ohm adalah yang diperbolehkan di Indonesia sesuai dengan standar PUIL 2000. Dalam perancangan sistem pembumian, elektroda pembumian dan tahanan jenis tanah sangat penting untuk bisa mendapatkan nilai resistansi pembumian yang baik. Nilai tahanan jenis tanah ini memiliki faktor-faktor yang mempengaruhinya, yaitu jenis tanah, kelembapan, temperatur atau suhu tanah dan kadar garam (pH) pada tanah tersebut.

Di lokasi pembumian yang memiliki resistivitas tanah sangat tinggi, dengan sedikit kandungan air, kondisi tanah kering dan berbatu, menjadi masalah dalam melakukan pembumian. Dengan kondisi tanah tersebut, kedalaman dari elektroda pembumian yang dibumikan terbatas sehingga nilai resistansi pembumian menjadi besar. Cara yang umum digunakan untuk tetap menghasilkan resistansi pembumian yang kecil adalah membuat perlakuan pada tanah (*soil treatment*), yaitu dengan menambahkan zat aditif seperti bentonit pada tanah di sekitar elektroda pembumian. Selain bentonit, telah diketahui dari beberapa penelitian bahwa abu terbang sisa pembakaran batubara (*fly ash*) dapat dijadikan zat aditif untuk menurunkan resistansi pembumian. Tentunya hal ini sangat bermanfaat untuk lingkungan mengingat limbah pembakaran batubara yang dihasilkan setiap harinya sangat banyak. Manfaat abu batubara yang telah banyak dipaliekasikan adalah untuk bahan campuran beton.

Cara lain sebagai upaya menurunkan resistansi pembumian yang masih jarang ditemukan khususnya di Indonesia adalah dengan melapisi elektroda pembumian dengan beton. Menurut IEEE beton yang terkubur di bawah permukaan tanah memiliki resistivitas antara $30 \Omega m$ sampai $90 \Omega m$. Secara alami beton menyimpan air dan struktur beton yang berpori dapat menjadi jalur masuk bagi mineral-mineral di sekitarnya. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan resistivitas beton dapat diturunkan dengan menambahkan zat aditif seperti bentonit.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis melakukan penelitian dengan memanfaatkan bentonit dan abu batubara untuk menurunkan resistansi pembumian pada elektroda batang tunggal dan elektroda yang terlapis beton. Pada penelitian ini pengukuran

resistansi pembumian dilakukan di tanah dengan resistivitas sedang. Untuk pengukuran nilai resistansi pbumiannya dilakukan dengan metode 3 titik menggunakan *earth tester*. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menghasilkan resistansi pembumian yang baik dan bisa menjadi pilihan alternatif terhadap masalah pembumian.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh penggunaan elektroda yang terlapis beton terhadap penurunan resistansi pembumian.
2. Menganalisis pengaruh penambahan bentonit dan abu batubara pada elektroda batang tunggal dan elektroda yang terlapis beton terhadap resistansi pembumian.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan memanfaatkan abu batubara dan bentonit dapat menghaikkan resistansi pembumian yang lebih kecil dibandingkan pembumian dengan media tanah.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan elektroda yang terlapis beton terhadap resistansi pembumian.
3. Mendapatkan perbandingan resistansi pembumian sebelum dan setelah elektroda yang terlapis beton ditambahkan bentonit dan abu batubara.

D. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara menurunkan resistansi pembumian ?

2. Bagaimana nilai resistansi pembumian yang didapatkan dengan memanfaatkan abu batubara dan bentonit?
3. Bagaimana perbandingan resistansi pembumian sebelum dan setelah elektroda terlapisi beton ?
4. Bagaimana perbandingan resistansi pembumian sebelum dan setelah elektroda yang terlapisi beton ditambahkan bentonit dan abu batubara?

E. Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis elektroda yang digunakan adalah elektroda batang tunggal berbaha besi berlapis tembaga dengan panjang 1 meter.
2. Metode pengukuran resistansi pembumian dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan Metode 3 Titik (*Three Point Method*).
3. Penelitian ini dilakukan pada tanah dengan diameter lubang pembumian sebesar 10 cm dan tinggi 1 m.
4. Proses kimiawi dari campuran bentonit dan abu batubara pada beton tidak dibahas secara terperinci.
5. Banyak zat aditif sebagai pengganti semen adalah 30%.

F. Hipotesis

Perbaikan resistansi pembumian yang paling efektif adalah dengan perbaikan kondisi tanah pada lokasi yang akan dilakukan pembumian. Dengan menambahkan zat aditif seperti bentonit dan abu batubara akan terjadi penurunan resistansi pembumian. Elektroda pembumian yang terlapisi beton akan menghasilkan nilai resistansi yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda pembumian yang

langsung ditanamkan ke dalam tanah. Dengan menambahkan campuran bentonit dan abu pembakaran batubara pada elektroda yang terlapis beton maka akan meningkatkan konduktivitas dan penyerapannya sehingga akan terjadi penurunan resistansi pbumian.

G. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan laporan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I ini menjelaskan apa yang melatarbelakangi dilakukan penelitian dan solusi dari masalahnya. Pada latar belakang ini menjelaskan tentang penelitian secara umum, yaitu perbaikan resistansi pbumian dengan penambahan zat aditif bentonit dan abu batubara pada jenis elektroda batang tunggal dan elektroda yang terlapis beton. Selain itu, pada bab ini juga berisi tentang tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, rumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka dari refrensi-referensi yang berkaitan dengan penelitian dan berisi juga tentang penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III ini berisi mengenai metodologi penelitan yang meliputi kapan dan dimana penelitian dilakukan, alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian dan bagaimana pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV ini berisi data hasil hasil pengukuran resistansi pembumian beserta analisisnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V ini berisi kesimpulan dari hasil yang diperoleh dari penelitian yang mengacu berdasarkan tujuan penelitian dan juga saran untuk penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisi referensi-referensi yang diperoleh dari berbagai sumber dalam menulis laoran skripsi.

LAMPIRAN

Data perhitungan dan data pendukung lainnya dalam pelaksanaan penilitan hingga penulisan laporan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pembumian

Hingga sekitar tahun 1910, sistem tenaga listrik tidak dibumikan karena masih dalam skala kecil dan saat terjadi gangguan fasa ke tanah, arus gangguan masih tergolong kecil. Kebutuhan listrik yang semakin meningkat menyebabkan listrik harus ditransmisikan pada daerah-daerah yang jauh dari pembangkit sehingga dibutuhkan tegangan yang semakin besar. Hal ini berakibat pada arus gangguan yang timbul juga semakin besar dan busur listrik tidak dapat padam sendiri. Ditambah lagi gejala busur tanah, yaitu proses terjadinya pemutusan dan pukulan (*restiking*) dari busur listrik secara berulang-ulang. Gejala ini sangat berbahaya karena akan mengakibatkan tegangan lebih transien yang tinggi dan berdampak pada rusaknya peralatan listrik [1]

Definisi sistem pembumian adalah suatu sistem yang terdiri dari semua peralatan listrik yang saling berhubungan dan terkoneksi dengan tanah pada suatu sistem tenaga listrik. Menurut **IEEE Std 142TM-2007**, tujuan dari sistem pembumian adalah [2] :

1. Mengontrol tegangan yang sehubungan dengan bumi, atau tanah dalam batas yang diizinkan.

2. Menyediakan aliran arus yang memungkinkan mendeteksi koneksi yang tidak diinginkan antara konduktor-konduktor sistem dengan tanah. Deteksi tersebut kemudian dapat menginisiasi pengerjaan perangkat-perangkat otomatis untuk melepaskan sumber tegangan dari konduktor-konduktor sistem.

Resistansi pembumian terukur pada sistem pembumian diusahakan lebih kecil dari 5 Ohm sesuai standar PUIL 2000. Menurunkan resistansi pembumian dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain [2]:

1. Membuat perlakuan pada elektroda pembumian yang digunakan, yaitu bisa dengan menambah jumlah elektroda pembumian dan bisa juga memperpanjang atau menambah kedalaman elektroda pembumian.
2. Membuat perlakuan pada tanah di lokasi pembumian (*soil treatment*)

B. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah dilambangkan dengan ρ (rho), didefinisikan sebagai faktor keseimbangan antara resistansi pembumian dan kapasitansi di sekelilingnya. Tahanan jenis tanah dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [1] :

$$\rho = 2\pi \alpha R_t \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana: ρ = Tahanan jenis tanah rata-rata (ohm-meter)

α = Jarak antara batang elektroda yang terdekat (meter)

R_t = Resistansi pembumian terukur (ohm)

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm per cm³ atau bisa dinyatakan dalam satuan Ohm-cm. Pada Tabel 2.1 diperlihatkan nilai tahanan jenis tanah pada jenis tanah tertentu berdasarkan standar PUIL 2000.

Tabel 2.1 Tahanan jenis tanah [3]

No.	Jenis Tanah	Tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat & tanah ladang	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir & kerikil kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

C. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tahanan Jenis Tanah

Beberapa faktor yang mempengaruhi Tahanan jenis tanah antara lain :

1) Pengaruh kandungan air (kelembapan)

Berdasarkan penelitian oleh Deni Rhamdani (2008) dan Linda Pasaribu (2011), pengaruh kelembapan terhadap tahanan jenis tanah adalah semakin lembap kondisi tanah maka tahanan jenis tanah yang terukur akan semakin kecil [4, 5].

2) Kadar garam tanah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Deni Rhamdani (2008) dan Linda Pasaribu (2011), pengaruh kadar garam (pH) terhadap tahanan jenis tanah adalah semakin tinggi kadar garam atau keasaman semakin tinggi maka tahanan jenis tanah akan semakin kecil [4, 5].

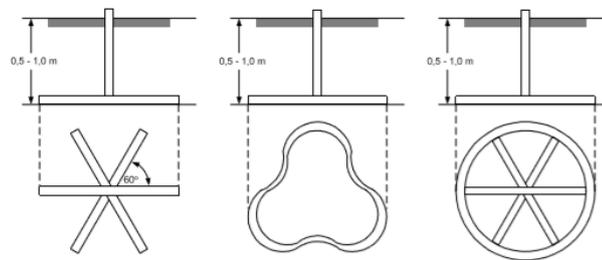
3) Pengaruh Temperatur

Di atas titik beku pengaruh suhu tanah adalah semakin besar suhu tanah, maka semakin rendah resistansi pembumian. Namun pada temperatur di bawah 0° C, air yang terdapat di dalam tanah membeku sehingga tahanan jenis tanah meningkat [2].

D. Elektroda Pembumian

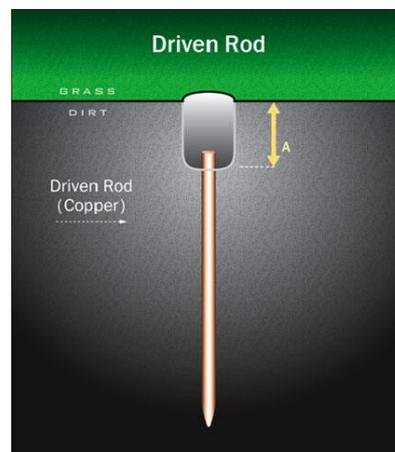
Pembumian adalah proses melakukan koneksi antara peralatan dengan sumber listrik dengan bahan logam yang dibumikan [6] :

- 1) Elektroda pita, merupakan elektroda pembumian yang dapat dibuat dari kawat penghantar yang dipilin. Elektroda pita ditanamkan secara dangkal di dalam tanah antara 0,5 – 1,0 m. Elektroda pita dapat ditanamkan sebagai pita lurus, jala-jala, melingkar, radial atau kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1 [3].



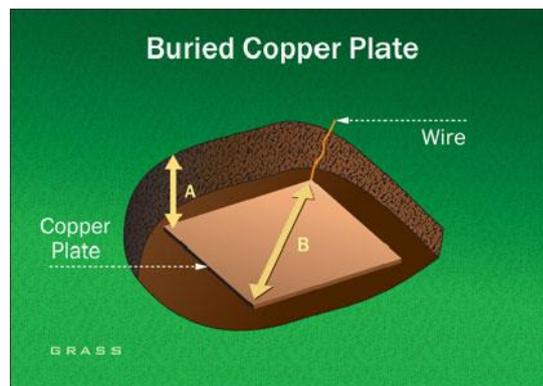
Gambar 2.1 Elektroda pita [3]

- 2) Elektroda batang biasanya memiliki panjang 2,4 m sampai 3 m dan terbuat dari besi dengan dilapisi oleh tembaga. Elektroda batang tunggal banyak diaplikasikan karena tergolong murah dan instalasinya mudah, yaitu ditanamkan secara tegak lurus atau dikenal dengan *driven rod* [6].



Gambar 2.2 Elektroda batang [6]

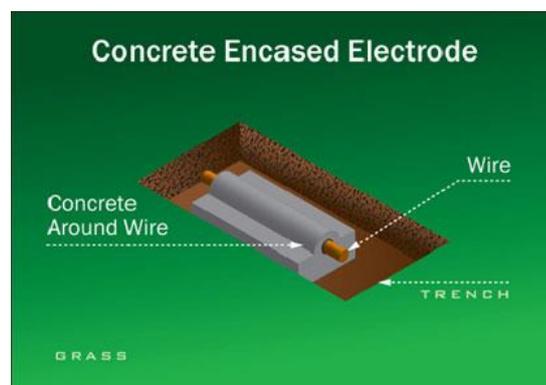
- 3) Elektroda pelat biasanya dibuat dari pelat tembaga tipis dan dibumikan secara sejajar dan mengalami kontak langsung dengan tanah. Penggunaan elektroda pelat kurang ekonomis, karena untuk mendapatkan resistansi pembumian yang sama dengan elektroda batang akan memerlukan massa yang lebih besar [6].



Gambar 2.3 Elektroda pelat [6]

E. Concrete Encased Electrode

NEC (*National Electric Code*) mensyaratkan bahwa elektroda yang terlapisi beton (Gambar 2.4) menggunakan minimum 13 mm batang konduktor dengan panjang 6 meter dan terlapisi beton minimal 5 cm. Keuntungan dari elektroda yang terlapisi beton adalah meningkatkan luas permukaan dan jumlah kontak dengan tanah di sekitarnya.



Gambar 2.4 Elektroda yang terlapisi beton [6]

Elektroda yang terlapisi beton memiliki beberapa kelemahan. Bila terjadi gangguan listrik, arus listrik harus mengalir melalui beton terlebih dahulu sebelum ke tanah. Beton, secara alami, menyimpan banyak air. Apabila elektroda tidak cukup baik menghantarkan lonjakan arus maka suhu pada beton akan naik dan dapat mengakibatkan retaknya beton. Hal ini akan menyebabkan kenaikan resistansi pbumian.

Ada banyak bahan campuran yang dirancang untuk memodifikasi elektroda yang terlapisi beton. Yang paling umum adalah dengan menggabungkan bahan konduktif ke dalam campuran semen dan biasanya bersifat karbon. Keuntungan dari bahan campuran ini adalah cukup efektif dalam mengurangi resistivitas beton sehingga menurunkan resistansi pbumian elektroda yang terlapisi beton. Perbaikan paling signifikan dari cara ini adalah mengurangi penumpukan panas pada beton selama kondisi gangguan, yang dapat meminimalisir kemungkinan uap akan menghancurkan beton.

Yang perlu menjadi perhatian juga mengenai perbaikan elektroda yang terlapisi beton adalah penggunaan karbon dalam campurannya. Karbon dan tembaga memiliki kemuliaan yang berbeda dan akan berkarat dari waktu ke waktu. Banyak dari bahan campuran ini mengklaim memiliki bahan yang dirancang untuk mengurangi percepatan korosi tembaga yang disebabkan oleh penambahan karbon ke dalam campuran. Akan tetapi, penelitian jangka panjang yang dilakukan untuk menguji klaim ini masih sedikit [6].

F. Metode Penanaman Elektroda

1) Sistem pbumian *driven rod*

Pada lapisan tanah yang tidak keras *driven rod* sangat efektif karena instalasinya dilakukan dengan menancapkan secara tegak lurus ke dalam tanah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Blattner (1995) dan Wiwik Purwanti Widianingsih (2011) tentang perbaikan resistansi pembumian. Mendapatkan hasil bahwa semakin dalam batang elektroda dibumikan maka akan semakin menurunkan resistansi pembumian [7, 8].

Resistansi pembumian pada sistem pembumian *driven rod* dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [1]:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{4l}{\alpha} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

ρ = tahanan jenis tanah (ohm)

π = 22/7 atau 3,14

l = panjang elektroda (m)

α = jari-jari elektroda (m)

2) Sistem pembumian grid

Bentuk dari pembumian grid dapat dibuat berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang. Impedansi pembumian yang kecil dapat dihasilkan dengan sistem pembumian grid sehingga distribusi gradient tegangan lebih merata. Dengan begitu manusia yang berada di sekitarnya lebih aman dari bahaya tegangan langkah.

3) Sistem pembumian *counterpoise*

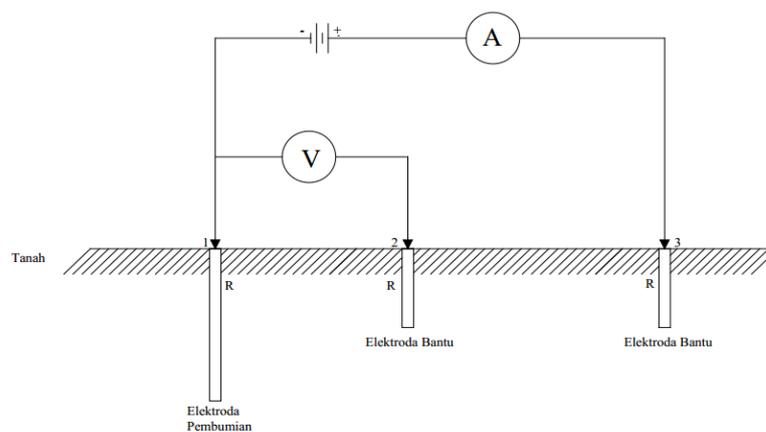
Sistem pembumian *counterpoise* dilakukan dengan menanamkan konduktor secara sejajar ke dalam tanah beberapa puluh centimeter. Sistem

pembumian *counterpoise* biasanya diaplikasikan pada lokasi pembumian dengan lapisan tanah yang keras dan berbatu atau daerah yang memiliki tahanan jenis tinggi [1].

G. Pengukuran Resistansi Pembumian

Berdasarkan **IEEE Std 142TM-2007**, ada beberapa metode yang digunakan untuk mengukur resistansi pembumian dari suatu elektroda pembumian. Macam-macam metode yang digunakan untuk mengukur resistansi pembumian antara lain Metode 3 titik atau Metode *Fall of Potential*, Metode 4 titik dan Metode rasio [2].

Pada Gambar 2.5 diperlihatkan terdapat tiga buah batang elektroda, di mana batang elektroda pertama merupakan batang elektroda yang diukur resistansi pembumiannya dan untuk batang-batang elektroda kedua dan ketiga berfungsi sebagai batang elektroda bantu.

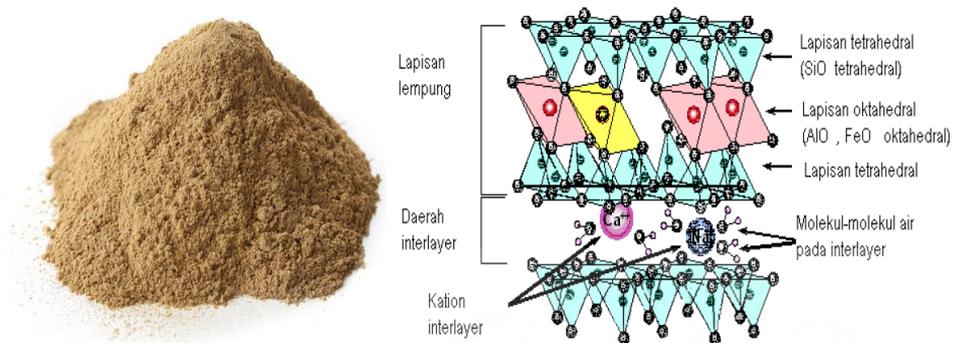


Gambar 2.5 Pengukuran resistansi pembumian dengan metode tiga titik

H. Bentonit

Bentonit adalah endapan karang yang dibentuk dari perubahan tempat dari abu vulkanis, komposisi terbesar bentonit terdiri dari tanah liat *montmorillonit* dengan

rumus kimia secara umum $(Mg,Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$. Bentuk fisik bentonit dan struktur *montmorillonit* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bentonit dan struktur *montmorillonit*

Pada struktur *montmorillonit* terdapat lapisan lempung yang terdiri dari lapisan tetrahedral dan lapisan oktahedral kemudian. Dan terdapa pula daerah interlayer. Dimana tempat penyerapan molekul-molekul air terjadi pada lapisan ini. Bentonit dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu Na-bentonit dengan kemampuan mengembang delapan kali lipat bila dicelupkan ke dalam air dan membentuk suspensi kental dengan pH 8,5-9,8. Dan Ca-bentonit dengan sifat kurang mengembang bila dicelupkan ke dalam air dan suspensinya memiliki pH 3-7. Unsur-unsur kimia yang terkandung pada kedua bentonit tersebut diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia bentonit [9]

Komposisi kimia	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO ₂	61,3-61,4	62,12
Al ₂ O ₃	19,8	17,33
Fe ₂ O ₃	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na ₂ O	2,2	0,50
K ₂ O	0,4	0,55
H ₂ O	7,2	7,22

I. Beton

Secara umum beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, selebihnya diisi agregat. Sifat beton ditentukan oleh bahan-bahan untuk membuat beton juga teknik pencampuran, mengaduk dan memadatkannya. Campuran semen dan air membentuk pasta semen yang apabila mengeras memiliki struktur berpori atau poros, yaitu ruang kosong diantara agregat dan jika poros ini saling berhubunga beton dapat memiliki sifat permeabilitas [10].

Permeabilitas beton adalah kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton. Untuk perbandingan air dan semen yang sama saat membuat beton, butiran semen yang lebih kasar cenderung menghasilkan poros beton lebih tinggi dibandingkan butiran semen yang lebih halus [11].

Bahan pembentuk beton antara lain :

1. Semen portland



Gambar 2.7 Semen portland

Gambar 2.7 memperlihatkan bentuk fisik dari semen portland. Semen dapat digambarkan sebagai bahan yang memiliki kemampuan untuk merekatkan pecahan-pecahan mineral menjadi padatan yang kompak. Semen yang

memiliki sifat pengerasan dengan kehadiran air lewat reaksi kimia disebut semen hidrolis. Yang termasuk dalam semen hidrolis salah satunya, yaitu semen portland dengan kandungan utama kapur dan silikat. Perkiraan terhadap komposisi kimia semen portland disajikan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Komposisi kimia semen [11]

Senyawa	Persentase (%)
Batu kapur (CaO)	60-67
Pasir silikat (SiO ₂)	17-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	0.5-6
Magnesia (MgO)	0.5-4
Alkali (Na ₂ O)	0,3-1.2
Sulfur (SO ₃)	2-3,5

2. Agregat

Untuk memproduksi beton kualitas baik, biasanya agregat dikelompokkan menjadi dua bagian menurut ukurannya. Pertama, yaitu berukuran diameter tidak lebih besar dari 4 mm untuk agregat halus yang dapat berupa pasir. Dan yang kedua, yaitu berukuran setidaknya diameter 5 mm untuk agregat kasar bisa berupa kerikil atau batu *split* [11].

Pada gambar 2.8 menunjukkan pemakaian bahan agregat untuk beton pada penelitian ini, yaitu batu pecah dan pasir.



Gambar 2.8 Agregat (batu pecah dan pasir)

3. Air

Air bukan hanya cairan yang digunakan untuk membuat beton, namun berpengaruh terhadap baik atau buruknya beton. Untuk bereaksi dengan semen, hanya dibutuhkan air sebanyak 25% dari berat semen, namun pada prakteknya sulit memakai nilai perbandingan air dan semen (FAS) tersebut karena beton sulit untuk dipadatkan [10].

J. Abu Batubara

Pada pembangkit listrik dengan konsumsi batubara dalam jumlah besar, dihasilkan abu batubara dalam jumlah besar pula. Abu yang terkumpul oleh *electrostatic precipitators* (ESP) disebut *fly ash*. Abu dasar terbentuk saat partikel abu meleleh dan melekat pada dinding tungku pembakaran (*furnace*). Partikel-partikel yang lebih besar ini menggumpal dan jatuh ke *hopper* yang terletak di dasar tungku pembakaran (*furnace*). Dari pembakaran batubara, *fly ash* dihasilkan sebanyak (0% hingga 90% dan *bottom ash* sekitar 10% hingga 20%.



Gambar 2.9 Abu batubara

Gambar 2.9 memperlihatkan bentuk fisik dari abu batubara, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel *fly ash* sangat halus, sebagian besar berbentuk bola dan diameternya sekitar 10 μm dan dapat bervariasi dari $<1 \mu\text{m}$

hingga lebih dari 150 μm . *Fly ash* sering difungsikan sebagai *filler*, yaitu pengikat sekaligus pengisi beton dan juga mengurangi porositas sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada *dry bottom ash* terdapat *friable* partikel, yaitu kerak batubara yang berbentuk seperti kembang (*pop-corn*). Partikel ini mudah hancur akibat pemadatan dan berpori sehingga memiliki tingkat penyerapan yang tinggi. [12].

Unsur kimia yang terkandung pada *fly ash* diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.4 Komposisi kimia abu terbang (*fly ash*).

Parameter Analisis	Satuan	Hasil Analisis
Silika (SiO_2)	% wt	50,00-75,00
Iron (Fe_2O_3)	% wt	3,00-7,00
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	% wt	10,00-33,00
Kalsium Oksida (CaO)	% wt	1,00-3,00
Magnesium Oksida (MgO)	% wt	0,50-1,50
Natrium Oksida (Na_2O)	% wt	0,60-3,50
Kalsium Oksida (K_2O)	% wt	0,20-0,70

Sumber : Data Analisis Abu Batubara PLTU PT. Bukit Asam (Persero)

Sedangkan unsur kimia yang terkandung pada abu dasar batubara (*bottom ash*) diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.5 Komposisi kimia abu dasar (*bottom ash*) [13].

Senyawa	Persentase
SiO_2	21,92%
Al_2O_3	16%
MgO	7,9%
CaO	22,98%
SO_3	11,85%
Fe_2O_3	16,47%

K. Penelitian yang Telah Dilakukan

Dalam kaitannya dengan penelitian yang penulis lakukan, beberapa penelitian yang pernah dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut:

- Tanton Y, Tengku. “Pengaruh Kombinasi Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton Terhadap Sifat Mekanis”, 2017. Penelitian ini menguji pengaruh kombinasi limbah *fly ash* dan *bottom ash* terhadap kuat tekan, serapan, porositas, permeabilitas, penyusutan beton, waktu ikat semen. Persentase limbah *fly ash* adalah 15% dari berat semen. Sedangkan limbah *bottom ash* adalah 15% dari berat pasir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 15% *fly ash* dan 15% *bottom ash* cenderung menurunkan kuat tekan, *workability*, dan susut beton. Pengujian permeabilitas cenderung menaikkan angka permeabilitas sebesar 1,84 cm dari beton normal, yaitu 1.12 cm. Pengujian absorpsi dan porositas cenderung menaikkan nilai absorpsi dan porositas dibandingkan dengan beton normal [12].
- Siow Chun Lim, “*Preliminary Results of the Performance of Grounding Electrodes Encased in Bentonite-Mixed Concrete*”, 2012. Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan bentonit dan semen untuk bahan membuat beton sebagai media pembumian. Jumlah semen digantikan oleh bentonit sebanyak 10 %, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70%. Hasil dari penelitian ini adalah pada campuran bentonit sebanyak 20% didapatkan resistansi pembumian yang sangat tinggi pada awal pengukuran, akan tetapi setelah bulan pertama resistansi pembumian terukur menjadi stabil dan cenderung lebih rendah. Pencampuran bentonit dengan semen di bawah 30% memiliki resistansi lebih rendah dibandingkan campuran beton biasa. Sedangkan pencampuran bentonit dengan semen di atas 30% malah sebaliknya menghasilkan resistansi pembumian yang lebih tinggi [14].

- S.D. Chen. “*An Experimental Study on the Electrical Properties of Fly Ash in the Grounding System*”, 2006. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek penggunaan abu terbang (*fly ash*) batubara terhadap resistansi pembumian. Dalam penelitian ini, *fly ash* digunakan sebagai bahan utama zat pereduksi. Konsentrasi semen, air dan garam yang berbeda dicampurkan dengan *fly ash* pada tabung plastik untuk mengukur resistivitasnya. Dari hasil pengukuran resistivitas zat pereduksi, dengan penambahan garam maka resistivitasnya menurun drastis. Sementara hasil pengukuran resistansi pembumian dengan zat pereduksi menunjukkan hasil penurunan lebih dari 35 % dibandingkan tanpa zat pereduksi [15].
- Tronchoni, Alex dkk. “*Transient Evaluation of Grounding Encased in Concrete: a Study Based on Real Measurements in Power Systems Configurations*”, 2017. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pembumian yang terlapis beton. Fokus dari penelitian ini adalah analisis impedansi surja dan reduksi resistansi statis pada sistem pembumian. Hasil dari penelitian menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 54,64% untuk resistansi statis dan penurunan rata-rata sebesar 53,74% untuk impedansi surja pembumian pada resistivitas tanah sekitar 300 Ωm . Pada pengukuran resistivitas tanah tinggi, yaitu di saluran transmisi 69 kV didapatkan penurunan rata-rata 85% resistansi pembumian statis pada resistivitas tanah berkisar antara 1054 Ωm sampai 2080 Ωm [16].
- Selvam A. “*Performance Analysis of FlyAsh With Bentonite In Grounding Pit*”, 2016. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan resistansi

pembumian yang kecil dengan memanfaatkan *fly ash* dan bentonit. Lubang pembumian dibuat dengan ukuran 2ft X2ft X8ft Pada lubang tersebut ditambahkan *fly ash* 500 kg dan 500 kg bentonit yang telah tercampur dengan air. Pengukuran resistansi pembumian dilakukan dengan beberapa metode , yaitu metode 4 titik, metode Schlumberger-Palmer, metode *fall of potential* , dan metode E.B Curdt's. Hasil yang didapatkan dari pengukuran adalah bahwa *fly ash* dapat digunakan untuk menurunkan resistansi pembumian. Metode pembumian pada penelitain ini bisa digunakan untuk menara transmisi tegangan tinggi yang terletak antara stasiun pembangkit dan GI [17].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada tanah di sekitar halaman Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Waktu pengukuran resistansi pbumian dilakukan di bulan Mei 2018.

B. Alat dan Bahan

Beberapa alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Satu set alat ukur pbumian yaitu *Digital Earth Resistance Tester* merk Kyoritsu dengan model 4105A, 2 buah pasak besi, dan juga 3 buah kabel digunakan untuk mengukur resistansi pbumian melalui batang elektroda pbumian yang telah ditanam.
2. Linggis, sekop, pacul, bor biopori, ember, timbangan dan peralatan lainnya digunakan untuk proses pembuatan lubang pbumian, pencampuran bahan adukan beton sampai ke penanaman elektroda ke dalam lubang pbumian.
3. Batang elektroda pbumian yang terbuat dari bahan besi berlapis tembaga sebanyak 8 batang dengan panjang 1 meter dan diameter 14 milimeter. Meteran digunakan untuk mengukur ukuran lubang pbumian dan mengukur jarak pasak besi pada saat menggunakan *earth tester*.

4. Bentonit dan abu batubara (*fly ash* dan *bottom ash*).
5. Semen, pasir, kerikil, dan air digunakan untuk membuat beton.

C. Pelaksanaan Penelitian

Dalam penyelesaian tugas akhir ini ada beberapa langkah kerja yang dilakukan diantaranya :

1. Studi Literatur

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi atau bahan materi baik dari buku, jurnal, maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini.

Materi tersebut diantaranya mengenai:

- a. Sistem Pembedaan
- b. *Concrete Encased Electrode*
- c. Karakteristik Beton
- d. Karakteristik Bentonit
- e. Karakteristik Abu Batubara

2. Pengumpulan Alat dan Bahan

Sebelum pengujian resistansi pembedaan, dilakukan pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian. Alat dan bahan pada penelitian ini, yaitu yang tertera pada sub-bab B. Setelah alat dan bahan terkumpul maka dilakukan tahapan selanjutnya.

3. Perancangan Pengujian

Sebelum dilakukan pengambilan data , diperlukan perancangan pengujian yaitu dengan membuat lubang pembedaan, mencampurkan bahan untuk adukan beton, dan melakukan penanaman elektroda pembedaan.

- a. Pembuatan lubang pembedaan

Pembuatan lubang pembumian dilakukan agar terdapat ruang untuk menanamkan elektroda. Lubang pembumian dibuat pada kedalaman 1 m dan diameter 10 cm dengan menggunakan bor biopori. Terdapat 8 lubang yang dibuat pada penelitian ini.

b. Pencampuran bahan untuk adukan beton

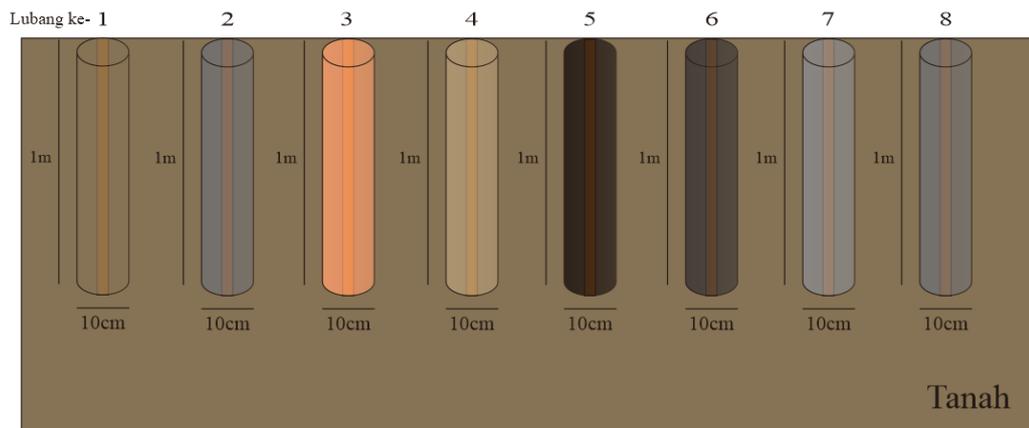
Pengadukan beton dilakukan secara manual. Adukan beton dibuat dengan komposisi bahan 1:2:4 untuk masing-masing materialnya yaitu semen, pasir, dan kerikil. Penambahan zat aditif untuk campuran beton dilakukan dengan menggantikan banyak semen berdasarkan beratnya. Beton yang akan dibuat pada penelitian ini adalah dengan bahan sebagai berikut :

- Adukan beton tanpa zat aditif.
- Adukan beton dengan campuran bentonit 30 % dari banyak semen.
- Adukan beton dengan campuran *fly ash* 30 % dari banyak semen.
- Adukan beton dengan campuran *bottom ash* 30 % dari banyak semen.

c. Penanaman batang elektroda pembumian

Masing-masing lubang dimasukkan satu batang elektroda pembumian dan ditambahkan bahan yang berbeda. Lubang 1 ditambahkan tanah, lubang 2 untuk elektroda yang terlapsi beton, lubang 3 ditambahkan bentonit, lubang 4 untuk elektroda yang terlapsi beton bercampur bentonit 30 %, lubang 5 ditambahkan *fly ash*, lubang 6 untuk elektroda yang terlapsi beton bercampur *fly ash* 30 %, lubang 7 ditambahkan *bottom ash*, lubang 8 untuk elektroda yang terlapsi beton bercampur *bottom ash* 30 %.

Pada Gambar 3.1 diperlihatkan kondisi penanaman elektroda pada masing-masing lubang pembumian yang dibuat.



Gambar 3.1 Kondisi penanaman elektroda pada lubang pembumian

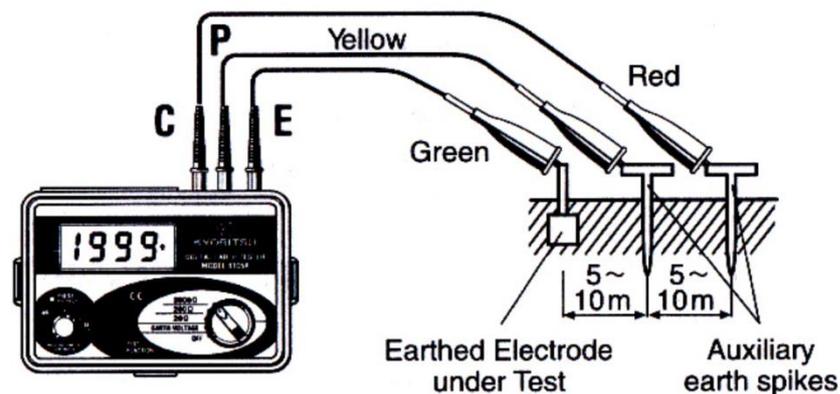
4. Pengukuran Resistansi Pembumian

Pengukuran resistansi pembumian pada masing-masing lubang pembumian dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Digital Earth Tester* Kyoritsu model 4105A dengan menggunakan metode 3 titik.

Pengukuran resistansi pembumian dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini:

- a. Menghubungkan panel berwarna hijau pada elektroda pembumian yang akan di ukur, panel berwarna kuning pada elektroda bantu 1 dan panel berwarna merah pada elektroda bantu 2.
- b. Elektroda pembumian dan elektroda bantu harus satu garis.
- c. Untuk memastikan bahwa baterai masih dapat digunakan, baterai dapat dicek dengan cara melihat indikator baterai pada layar LCD. Jika pada layar LCD muncul indikator baterai maka baterai tersebut sudah harus diganti.
- d. Mengukur tegangan tanah (*Earth voltage*) dengan cara sebagai berikut :
 - Set *selector switch* pada posisi V, besar tegangan E_v dibaca pada galvanometer.

- Bila $E_v < 3$ volt, pengukuran resistansi pembumian dapat dilakukan.
 - Bila $E_v > 3$ volt, pengukuran resistansi pembumian tidak dapat dilakukan.
 - Jarak elektroda E dan P memiliki nilai maksimal yang perlu diperhatikan yaitu 5-10 m.
- e. Set *selector switch* pada posisi 2000Ω kemudian tekan tombol *Press to test* dan memutar kekanan sampai lampu indikator pengukuran menyala. Menurunkan *set selector switch* pada posisi 200Ω dan 20Ω saat nilai resistansi semakin rendah. Nilai yang dibaca tersebut adalah harga resistansi pembumian yang diukur (R_p).



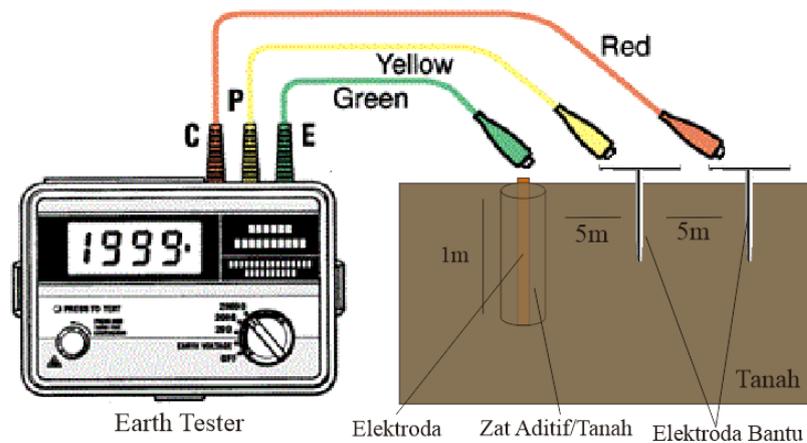
Gambar 3.2 Pengukuran pembumian dengan *earth tester* kyoritsu model 4105A

Tabel 3.1 Spesifikasi kyoritsu digital *earth tester* model 4105A

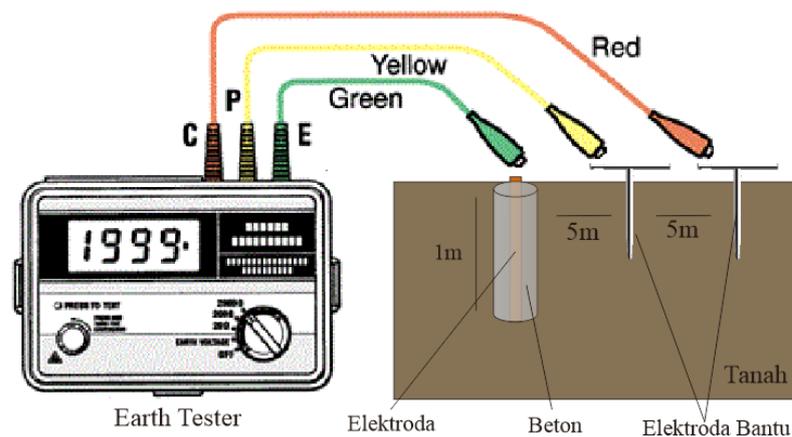
Range	Measuring Range	Accuracy
Earth Voltage	0 – 199.9 V	$\pm 1.0\%$ rdg ± 4 dgt
Earth Resistance	20 Ω	$\pm 2.0\%$ rdg $\pm 0.1 \Omega$ (0 – 19.99 Ω)
	200 Ω	$\pm 1.0\%$ rdg ± 3 dgt (above 20 Ω) (Auxiliary earth resistance 100 $\Omega \pm 5\%$) (Earth Voltage 3V or less)
	2000 Ω	0 – 1999 Ω

Sumber : *Instruction Manual Digital Earth Resistance Tester*

Berikut ini adalah rangkaian skematik pengukuran resistansi pembumian :



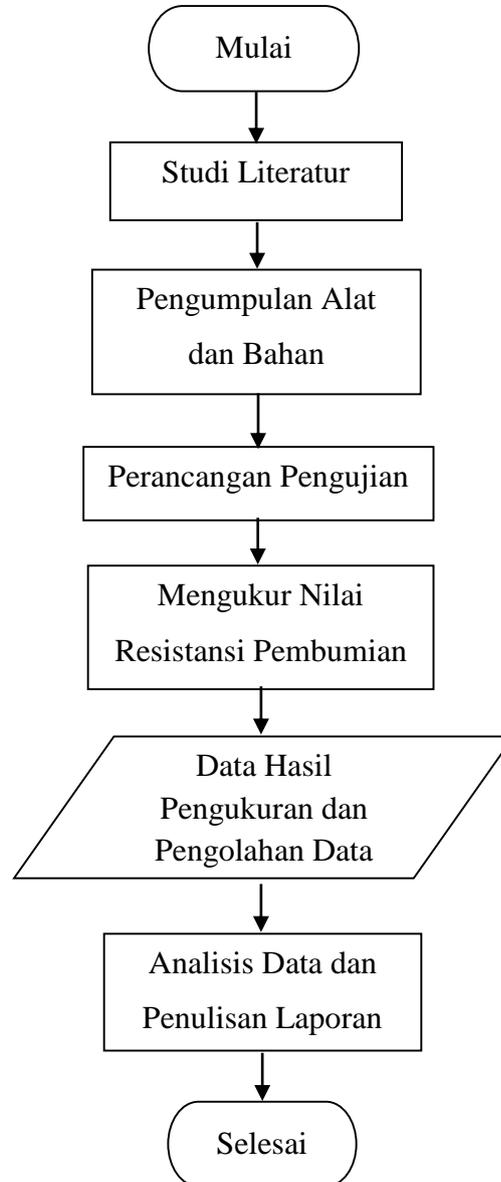
Gambar 3.3 Skematik pengukuran pada elektroda tanpa terlapsi beton



Gambar 3.4 Skematik pengukuran pada elektroda yang terlapsi beton

Gambar 3.3 menunjukkan skematik dalam melakukan pengukuran resistansi pembumian pada elektroda tanpa terlapsi beton. Sedangkan pada Gambar 3.4 menunjukkan skematik pengukuran resistansi pembumian pada elektroda yang terlapsi beton. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali dalam sehari di setiap lubang pembumian pada pukul 07.00 dan 17.00 WIB. Lama pengukuran dilakukan selama satu bulan penuh secara berturut-turut untuk melihat perubahan resistansi pembumian pada kedelapan lubang pembumian.

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data pengukuran nilai resistansi pembumian maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan memanfaatkan bentonit dan abu batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) dapat menghasilkan resistansi pembumian yang lebih kecil dibandingkan pembumian langsung ke tanah. Namun abu dasar batubara(*bottom ash*) kurang dianjurkan untuk digunakan sebagai media pembumian karena nilai resistansi pembumian dari *bottom ash* sangat fluktuatif dan sangat bergantung pada kondisi tanah.
2. Penggunaan elektroda yang terlapis beton dapat menghasilkan resistansi pembumian yang lebih kecil dibandingkan pembumian langsung ke tanah. Dengan menambahkan zat aditif ke dalam campuran beton terbukti dapat memperbaiki resistansi pembumian elektroda yang terlapis beton.
3. Nilai resistansi pembumian dengan media *fly ash* adalah yang paling baik pada penelitian ini, yaitu menghasilkan reduksi sebesar 67%. Pada elektroda yang terlapis beton, menambahkan *bottom ash* ke dalam campuran beton adalah yang paling baik dibandingkan penambahan bentonit dan *fly ash*, yaitu menghasilkan reduksi sebesar 65%.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai pembumian dengan media abu batubara dan juga penambahan zat aditif pada elektroda yang terlapisi beton sebaiknya dilakukan dengan memperhatikan saran berikut:

1. *Fly ash* dapat dicampurkan dengan zat aditif lain untuk mendapatkan resistansi pembumian yang lebih baik.
2. *Bottom ash* pada penelitian ini adalah yang paling baik untuk di tambahkan ke dalam campuran beton. Untuk itu bisa divariasikan banyak *bottom ash* yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Ataupun dapat juga menggunakan zat aditif lain untuk ditambahkan ke dalam campuran beton.
3. Menggunakan *soil tester* agar semua parameter atau faktor-faktor yang mempengaruhi nilai resistansi jenis tanah seperti kelembapan dan suhu tanah bisa terukur dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutaeruk, T.S. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Erlangga.
- [2] IEEE Std 142™-2007. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Jakarta.
- [4] Pasaribu, Linda. 2011. Studi Analisis Pengaruh Jenis Tanah, Kelembaban, Temperatur, dan Kadar Garam Terhadap Resistansi Pembumian Tanah. (Tesis). Universitas Indonesia. Jakarta.
- [5] Rhamdani, Deni. 2008. Analisis Resistansi Tanah Berdasarkan Pengaruh Kelembaban, Temperatur, dan Kadar Garam. (Skripsi). Universitas Indonesia. Jakarta.
- [6] Stockin, David R dan Esparza, Michael A. 2006. Grounding systems. Section 24, Standard Handbook for Electrical Engineers. McGraw-Hill.
- [7] Blattner, C.J. 1980. Prediction of soil resistivity and ground rod resistance for deep ground electrodes. IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol-PAS-99, No.5.

- [8] Widyaningsih, Wiwik Purwati. 2011. Perbaikan Resistansi Pembumian dengan Menggunakan Bentonit. Politeknik Negeri Semarang. Semarang.
- [9] Badan Litbang Energi dan Sumber Daya Mineral. 2002. Kamus Pengolahan Mineral dan Batu Bara. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- [10] Tjokrodimuljo, K. 1996. Teknologi Beton. Nafiri. Yogyakarta.
- [11] Neville, A.M. 1995. Properties of Concrete. The English Language Book Society and Pitman Publishing. London.
- [12] Tanton Y, Tengku. 2017. Pengaruh Kombinasi *Fly Ash* Dan *Bottom Ash* Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton Terhadap Sifat Mekanis. Jurnal JOM F TEKNIK Volume 4 No. 1.
- [13] Karo-Karo, Pulung. Sembiring, Simon. 2008. Karakteristik Abu Hasil Pembakaran Batubara Bukit Asam Sebagai Bahan Keramik. Jurnal ILMU DASAR, Vol. 9 No. 2.
- [14] S. C. Lim, C. Gomes, M. Z. A. Ab. Kadir & S. D. Buba. 2012. Preliminary Results of the Performance of Grounding Electrodes Encased in Bentonite-Mixed Concrete. International Conference on Lightning Protection, 1-5.
- [15] Chen, S.D., Chen, L.H., Cheng, C.K. and Chen, J.F. 2006. An experimental study on the electrical properties of fly ash in the grounding system. International Journal of Emerging Electric Power Systems, 7(2).
- [16] Tronchoni, Alex. Gazzana, Daniel. Dias, Guilherme. Chouhy Leborgne, Roberto. Bretas, Arturo & Telló, Marcos. 2017. Transient Evaluation of Grounding Encased in Concrete: a Study Based on Real Measurements in Power Systems Configurations. International Conference on Power Systems Transients. Seoul.

- [17] Selvam A, P.Manikandan. 2016. Performance Analysis of Flyash With Bentonit In Grounding Pit. 3rd International Conference on Electrical Energy Systems.