ANALISIS PENGGUNAAN GYPSUM, BENTONITE DAN ARANG SEBAGAI ZAT ADITIF UNTUK *SOIL TREATMENT* DALAM SISTEM PENTANAHAN

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Nur Asih

NIM.5301415013

PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Nur Asih
Nim	: 5301415013
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro
Judul	: Analisis penggunaan gypsum, bentonite dan arang sebagai zat aditif untuk *soil treatment* dalam sistem pentanahan

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 29 April 2019

Pembimbing

Drs. Agus Suryanto, M.T

NIP. 196708181992031004

PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul Analisis Penggunaan Gypsum, Bentonite dan Arang Sebagai Zat Aditif untuk *Soil Treatment* Dalam Sistem Pentanahan telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 bulan Mei tahun 2019.

Oleh

Nama : Nur Asih

Nim : 5301415013

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro, S1

Panitia

Ketua	Sekretaris
Dr.-ing Dhidik Prastiyanto, S.T,M.T	Drs. Agus Suryanto, M.T
NIP.197805312005011002	NIP. 196708181992031004

Penguji 1	Penguji 2	Penguji 3/Pembimbing
Drs. Ir. Henry Ananta, M. Pd.,IPM	Drs. Y. Primadiyono, M.T	Drs. Agus Suryanto, M.T
NIP. 195907051986011002	NIP. 196209021987031002	NIP. 196708181992031004

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T.,IPM

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam skripsi ini ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Semarang, 29 April 2019

Yang membuat pernyataan,

Nur Asih

NIM. 530145013

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Berangkat dengan penuh keyakinan, berjalan dengan penuh keikhlasan, jalani dengan penuh kesabaran, dan bertawakal kepada Allah SWT.
- Memperbaiki sholat berarti memperbaiki hidup

PERSEMBAHAN

- Kedua orang tua saya, Muanas dan Parikhati
- Adik saya Muhammad Shofwan Muadzin
- Yang selalu memberikan semangat dan memberikan motivasi, M. Ainul Muttaqin
- Teman-teman PTE UNNES angkatan 2015

ABSTRAK

Nur, Asih. 5301415013. 2019. *Analisis penggunaan gypsum, bentonite, dan arang sebagai zat aditif untuk soil treatment dalam sistem pentanahan.* Skripsi, Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Drs. Agus Suryanto, M.T.

Sistem pentanahan juga merupakan jalur pelepasan arus gangguan kedalam tanah, sehingga berperan penting dalam sistem proteksi. Sebuah bangunan supaya terhindar dari bahaya sambaran petir serta aman ketika terjadi gangguan sistem petanahan dibutuhkan nilai tahanan <5 ohm. Nilai resistansi pentanahan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya resistansi dari elektroda, jenis tanah, jenis elektroda pembumian, suhu, kelembapan, kandungan kimia tanah dan kandungan elektrolit. Untuk dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan menggunakan metode *soil treatment* pada tanah dengan menggunakan zat aditif gypsum, bentonite dan arang.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis penggunaan gypsum, bentonit dan arang, mendapatkan perbandingan nilai resistansi yang kecil namun pH yang baik pula, dan mendapatkan persentase nilai resistansi yang dapat direduksi oleh zat aditif.

Hasil dari penelitian ini adalah penggunaan ketiga buah zat aditif ini masih relatif aman, karena tidak terlalu berpengaruh terhadap pH tanah, kecuali untuk arang karena semakin bertambah arang tanah menjadi asam. Perbandingan zat aditif terbaik ketika penambahan massa arang 0,01 kg, bentonite 0,1 kg dan gypsum 2,6 kg yang menhasilkan nilai resistansi 7,3Ω dan pH 8. Sedangkan hasil pengukuran menunjukkan penambahan zat aditif mampu menurunkan nilai resistasi pada tanah berkerikil dari 26% hingga 72%.

Karena hasil belum memenuhi standart PUIL 2000 maka perlunya memperbanyak variasi zat aditif yang digunakan untuk mencari zat aditif dan massa yang pas dari penggunaan zat aditif. Selain itu, penggunaan arang perlu ditinjau kembali, supaya tidak merusak tanah.

Kata kunci: Sistem pentanahan; *soil treatment;* zat aditif.

PRAKATA

Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih sayang-Nya kepada kita, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan waktu, dengan judul "*Analisis Penggunaan Gypsum, Bentonite, dan Arang sebagai Soil Treatment dalam Sistem Pentanahan*". Skripsi ini disusun sebagai salah satu persayaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaiakan kepada Nabi Muhammad SAW,mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumil akhir nanti. Amin.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis sampaikan rasa terimakasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T.,IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr.-Ing Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
4. Drs. Agus Suryanto, M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dalam menyusun skripsi ini hingga selesai.
5. Drs. Ir. Henry Ananta, M. Pd.,IPM selaku penguji I dan Drs. Yohanes Primadiyono, M.T selaku penguji II yang telah memberikan masukan, perbaikan, tanggapan sehingga menambah kualitas skripsi ini.

6. Kedua orangtua yang telah mendoakan, memberikan dukungan serta restunya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
7. Rekan seperjuangan yang telah memberikan dukungan dan motivasinya kepada penulis.
8. Semua pihak yeng telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan semuanya.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun bagi pembaca untuk kebaikan dan kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti pada khususnya dan bagi semua pihak yang berkepentingan pada umumnya.

Semarang, 29 April 2019

Nur Asih

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL ..... **i**
PERSETUJUAN PEMBIMBING ..... **ii**
PENGESAHAN ..... **iii**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **iv**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **v**
RINGKASAN ..... **vi**
PRAKATA ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
DAFTAR GRAFIK ..... **xiii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 5
1.3 Pembatasan Masalah 5
1.4 Rumusan Masalah 6
1.5 Tujuan 6
1.6 Manfaat 7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI **8**
2.1 Kajian Pustaka 8
2.2 Landasan Teori 12
2.2.1 Sistem Pembumian (*grounding System*) 12
2.2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi pembumian 14
2.2.3 Usaha menurunkan tegangan permukaan tanah 18
2.2.4 Elektroda pentanahan 30
2.2.5 Metode Penanaman elektroda 32
2.2.6 *Earth Tester* 34
2.2.7 *Moisture Tester* ETP 306 35
BAB III METODE PENELITIAN **36**
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 36
3.2 Desain Penelitian 36
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 41
3.4 Parameter Penelitian 42
3.5 Teknik Pengumpulan Data 43
3.6 Kalibrasi Instrumen 46
3.7 Teknik Analisis data 48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **51**
4.1 Deskripsi Data 51
4.2 Analisis Data 52
4.2.1 Hasil Karakterisasi Kandungan Kimia Zat Aditif 52
4.2.2 Hasil Karakterisasi Kandungan Elektrik Zat Aditif 61

4.2.3 Hasil Pengukuran Pentanahan Dengan Variasi Massa Bahan... 66
4.2.4 Nilai Resistansi Yang Dapat Direduksi 84
4.3 Pembahasan 94
BAB V KESIMPULAN 99
5.1 Simpulan 99
5.2 Saran 100
DAFTAR PUSTAKA 101
LAMPIRAN..... 105

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Nilai Tipikal Tahanan Jenis Tanah 17
Tabel 2.2 Perbedaan Sifat Na-Bentonite dan Ca Bentonite 21
Tabel 2.3. Komposisi Kimia Bentonit 21
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Gypsum 29
Tabel 2.5 Spesifikasi *Earth Tester* 34
Tabel 3.1 Alat Pembuatan Sistem Pentanahan 41
Tabel 3.2 Bahan Pembuatan Sistem Pentanahan 42
Tabel 3.3 Spesisfikasi Alat Ukur 46
Tabel 3.4 Kandungan Kimia Bentonite 47
Tabel 3.5 Kandungan Kimia Gypsum 47
Tabel 3.6 Kandungan Kimia Arang 47
Tabel 3.7 Karakterisasi Elektrik Bahan 47
Tabel 3.8 Pengukuran Pentanahan dengan Variasi Bahan 47
Tabel 4.1 Hasil EDX-*Oxide* Arang 54
Tabel 4.2 Hasil EDX-*Oxide* Bentonite..... 57
Tabel 4.3 Hasil EDX-*Oxide* Gypsum..... 60
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Karakterisasi Elektrik Bahan 61
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Pentanahan dengan Variasi Massa Bahan 67
Tabel 4.6 Nilai Yang Diperlukan Untuk Menghitung Regresi Linier Bentonite 72
Tabel 4.7 Nilai Yang Diperlukan Untuk Menghitung Regresi Linier Gypsum.. 74
Tabel 4.8 Nilai Yang Diperlukan Untuk Menghitung Regresi Linier Arang 76
Tabel 4.9 Nilai Yang Diperlukan Untuk Menghitung Regresi Linier Bentonite 78
Tabel 4.10 Nilai Yang Diperlukan Untuk Menghitung Regresi Linier Gypsum 80
Tabel 4.11 Nilai Yang Diperlukan Untuk Menghitung Regresi Linier Arang ... 82
Tabel 4.12 Rekapitulasi Nilai Resistansi Yang Dapat Direduksi Zat Aditif 93

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Sebuk Bantonite 20
Gambar 2.2 Arang Kayu 25
Gambar 2.3 Serbuk Gypsum 28
Gambar 2.4 Sistem Pentanahan Vertikal 32
Gambar 2.5 Sistem Pentanahan Horizontal 33
Gambar 2.6 Sistem Pentanahan Grid 33
Gambar 2.7 *Earth Tester* 34
Gambar 2.8 *Moisture* Tester ETP 306 35
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian 37
Gambar 3.2 Rangkaian Pengukuran Resistansi Bahan 38
Gambar 3.3 Variasi Penambahan Gypsum 39
Gambar 3.4 Variasi Penambahan Bentonite 40
Gambar 3.5 Variasi Penambahan Arang 40
Gambar 3.6 Lubang Pentanahan 44
Gambar 3.7 Desain Pengukuran Pentanahan 45
Gambar 4.1 Hasil Uji SEM Arang Di UPT Laboratorium Terpadu UNDIP 53
Gambar 4.2 Hasil Uji SEM Bentonite Di UPT Laboratorium Terpadu UNDIP 56
Gambar 4.3 Hasil Uji SEM Gypsum Di UPT Laboratorium Terpadu UNDIP .. 59
Gambar 4.4 a) Pengukuran Resistansi Pentanahan dan b) Pengukuran Ph Tanah 66

DAFTAR GRAFIK

Halaman

Grafik 4.1 Hasil Uji EDX Arang Di UPT Laboratorium UNDIP..... 54
Garfik 4.2 Hasil Uji EDX Bentonite Di UPT Laboratorium UNDIP 57
Garfik 4.3 Hasil Uji EDX Gypsum Di UPT Laboratorium UNDIP 59
Grafik 4.4 Pengaruh Penambahan Massa Bentonite Terhadap Nilai Resistansi. 73
Grafik 4.5 Pengaruh Penambahan Massa Gypsum Terhadap Nilai Resistansi... 75
Grafik 4.6 Pengaruh Penambahan Massa Arang Terhadap Nilai Resistansi 77
Grafik 4.7 Pengaruh Penambahan Bentonite Terhadap Ph Tanah..... 79
Grafik 4.8 Pengaruh Penambahan Gypsum Terhadap Ph Tanah..... 81
Grafik 4.9 Pengaruh Penambahan Arang Terhadap Ph Tanah 83

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampitan 1 Surat Usul Pembimbing 105
Lampiran 2 Surat Usul Topik 106
Lampiran 3 Surat Tugas Pembimbing 107
Lampiran 4 Surat Tugas Penguji Seminar Proposal 108
Lampiran 5 Berita Acara Seminar Proposal Skripsi 109
Lampiran 6 Daftar Hadir Peserta Seminar Proposal Skripsi 110
Lampiran 7 Surat Izin Penelitian 112
Lampiran 8 Surat Permohonan Peminjaman Alat Laboratorium 113
Lampiran 9 Hasil Pengujian Kandungan Kimia di Laboratorium Terpadu UNDIP 115
Lampiran 10 Hasil Uji SEM Arang 116
Lampiran 11 Hasil Uji EDX Arang 117
Lampiran 12 Hasil Uji SEM Gypsum 118
Lampiran 13 Hasil Uji EDX Gypsum 119
Lampiran 14 Hasil Uji SEM Bentonite 120
Lampiran 15 Hasil Uji EDX Bentonite 121
Lampiran 16 Dokumentasi Penelitian 122
Lampiran 17 Perhitungan Regresi Linier..... 131

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pentanahan merupakan salah satu alat pengamanan dalam sistem tenaga listrik dari lonjakan listrik dan petir. Sistem pentanahan juga merupakan jalur pelepasan arus gangguan kedalam tanah, sehingga berperan penting dalam sistem proteksi. Sistem pentanahan dibuat untuk menciptakan jalur dengan tahanan yang rendah terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*.

Pentanahan dalam kondisi normal tidak dialiri arus listrik, hal ini bertujuan untuk membatasi antara bagian peralatan yang tidak dialiri arus listrik dan bagian peralatan dengan tanah sampai dengan harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik keadaan normal ataupun dengan gangguan. (Hutauruk. 1987:125). Sebuah bangunan supaya terhindar dari bahaya sambaran petir serta aman ketika terjadi gangguan sistem petanahan dibutuhkan nilai tahanan <5 ohm, sedangkan untuk peralatan elektronik sebesar <3 ohm, bahkan untuk beberapa peralatan akan membutuhkan nilai resistansi sebesar <1 ohm (PUIL 2000 ayat 3.13.2.10). Faktor yang mempengaruhi kestabilan sistem serta keamanan peralatan listrik tetap terjaga adalah sistem pentanahan yang baik, semakin kecil nilai tahanan dari pentanahan maka kemampuan aliran arus ketanah akan semakin besar sehingga arus gangguan tidak akan mengalir ke peralatan elektronik dan merusak peralatan.

Penelitian yang dilakukan Lim et. al (2015) menunjukkan bahwa kegagalan kerja sistem pentanahan dapat memberikan efek yang berbahaya, karena menyebabkan adanya kenaikan potensial tanah ke permukaan dan *back-flashover* yang akan merusak integritas sistem tenaga dan keselamatan manusia. Gangguan pada sistem pentanahan memiliki banyak dampak yang dapat mengurangi kestabilan sistem tenaga listrik. Jika dilihat dari fungsinya, sistem pembumian dibagi atas pembumian titik netral pada sistem tenaga listrik yang berfungsi mengamankan jaringan, peralatan elektronik dari sambaran petir serta manusia terhadap tegangan sentuh (Sudaryanto, 2016:71). Nilai resistansi pentanahan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya resistansi dari elektroda, jenis tanah, jenis elektroda pembumian, suhu, kelembapan, kandungan kimia tanah dan kandungan elektrolit (Sunarto, 2013:54). Pada jenis tanah berkerikil, permukaan elektroda yang mengenai batu dan kerikil akan mempengaruhi besar resistansi pembumian (PUIL 2000 ayat 3.19.1.2). Apabila dilakukan pemasangan elektroda pentanahan pada jenis tanah berkerikil akan mempengaruhi konduktivitas dari elektroda pentanahan sehingga nilai resistansi pentanahan yang dihasilkanpun cukup besar, dan jika tetap dipaksakan akan sangat membahayakan keamanan serta kenyamanan manusia serta peralatan listrik.

Jenis tanah yang ada di Kecamatan Gunungpati ada tiga jenis diantaranya yaitu latosol coklat kemerahan, mediteran coklat tua dan latosol coklat. Namun sebagian besar Kelurahan Sekaran merupakan jenis tanah latosol coklat kemerahan sedangkan sisanya latosol coklat (Huzaini, 2013: 56). Lapisan tanah daerah Gunungpati terbagi atas 4 bagian, yaitu pasiran/batu pasir, lempung/lanau, lempung

basah dan *top soil*. Bagian *topsoil* yang memiliki resitivitas 9,11 Ωm sampai 28,5Ωm terdiri dari berbagai jenis batuan karena letaknya yang mendekati permukaan (Brahmantyo dan Tony, 2014:87). Karena berbagai jenis batuan tersebut, memungkinkan untuk dapat memperbesar nilai resistansi pentanahan.

Beberapa peneliti untuk dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan menggunakan metode *soil treatment* pada tanah dengan menggunakan zat aditif. *Soil treatment* merupakan salah satu upaya dalam merubah komposisi kimia tanah untuk memperkecil nilai resistansi pentanahan, yaitu dengan penambahan zat aditif (Pabla.1991:155). Penelitian yang dilakukan Martin, dkk (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 dalm menyerap air. Penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2018) menggunakan arang kayu sebagai zat aditif dalam sistem pentanahan. Pemilihan arang kayu dikarenakan kandungan karbon aktif yang besar dalam arang kayu mampu meningkatkan daya serap air selain itu juga karena bersifat higroskopis sehingga dapat meningkatkan konduktivitas atau daya hantar listrik dari suatu tanah. Hasil penelitian dengan variasi diameter lubang 20 cm, 30 cm dan 40 cm tidak menunjukkan hasil ataupun perubahan yang signifikan

dikarenakan ukuran partikel yang besar yaitu sekitar 1-2 cm^3 dan menyebabkan kontak antara partikel arang dengan elektroda maupun arang dengan tanah menjadi lebih lambat sehingga mempengaruhi resitivitas tanah. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Sunarto (2013) menggunakan bentonite sebagai zat aditif dalam menurunkan resistansi pentanahan serta memvariasikan diameter lubang 10 cm dan 15 cm. Pemilihan bentonit karena memiliki kemampuan menyerap dan menahan air dalam waktu yang lama. Hasil penelitian yang ditunjukkan dengan adanya penambahan bentonite, mampu menurunkan resistansi pentanahan hingga 37%.

Hasil dari ketiga penelitian memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihan dari ketiga zat aditif tersebut memiliki daya serap yang tinggi terhadap air, oleh karenanya akan dicoba dilakukan untuk sistem pentanahan pada jenis tanah berkerikil. Sedangkan kekurangannya, gypsum tidak bisa menyerap air dengan baik apabila penggunaannya yang terlalu banyak sedangkan arang akan menghambat kontak arang dengan elektroda apabila ditanam dengan partikel yang besar. Selain itu, penelitian sebelumnya juga belum membahas mengenai perubahan kimia yang terjadi pada tanah setelah adanya zat aditif tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti berinisiatif melakukan penelitian dengan mencampurkan ketiga jenis zat aditif yang digunakan oleh peneliti sebelumnya namun dengan tetap memperhatikan perubahan kimia yang terjadi. Sedangkan untuk meminimalisir kekurangan kinerja dari ketiga zat aditif, maka dilakukan variasi massa yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%,70% dari kedalaman lubang dan untuk arang akan dibuat menjadi serbuk untuk memperkecil

partikelnya, setiap variasi juga ditambahkan air 300 ml untuk mempermudah zat aditif menyerap dalam tanah. Adapun judul penelitian pada skripsi ini adalah Analisis Penggunaan Gypsum, Bentonite dan Arang sebagai Zat Aditif untuk *Soil Treatment* dalam Sistem Pentanahan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, identifikasi penelitian pada skripsi ini adalah:

1.2.1 Bagian atas tanah yang ada di Kecamatan Gunungpati terdiri dari berbagai jenis batuan yang memungkinkan dapat memperbesar nilai resistansi;

1.2.2 Penggunaan zat aditif belum diteliti secara detail mengenai pengaruh kimia yang ditimbulkan untuk jangka pendek atau jangka panjangnya.

1.3 Pembatasan Masalah

Supaya penelitian dapat terfokus dan mendalam maka dari permasalahan yang ada maka dibatasi variabelnya. Adapun batasan dari permasalahan penelitiannya sebagai berikut:

1.3.1 Jenis tanah yang akan digunakan sebagai objek penelitian adalah tanah berkerikil;

1.3.2 Pentanahan diberi perlakuan khusus dengan bantuan zat aditif;

1.3.3 Zat aditif yang digunakan dalam penelitian yaitu gypsum, bentonite dan arang.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang ada, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

1.4.1 Bagaimana analisis penggunaan zat aditif gypsum, bentonit dan arang sebagai *soil treatment* dalam sistem pentanahan?

1.4.2 Berapa perbandingan massa zat aditif campuran yang tepat untuk menghasilkan nilai tahanan tanah yang lebih kecil dan pH yang baik?

1.4.3 Berapa persentase nilai resistansi pentanahan yang dapat direduksi setelah adanya *soil treatment*?

1.5 Tujuan

Tujuan penelitian merupakan jawaban atau sasaran yang ingin dicapai penulis dalam sebuah penelitian. Oleh sebab itu, tujuan penelitian ini adalah:

1.5.1 Menganalisis penggunaan gypsum, bentonit dan arang sebagai *soil treatment* dalam sistem pentanahan pada tanah berkerikil.

1.5.2 Membandingkan massa zat aditif yang berbeda tiap lubangnya supaya mendapatkan *soil treatment* yang tepat, untuk mengetahui nilai resistansi yang lebih kecil namun dengan pH yang baik pula.

1.5.3 Mendapatkan persentase nilai resistansi pentanahan yang dapat direduksi setelah adanya *soil treatment.*

1.6 Manfaat

Penelitian yang penulis lakukan ini diharapkan memberikan manfaat secara teoretis maupun praktis.

a. Manfaat Teoritis

Manfaat secara teoretis adalah diharapkan mampu memperkaya teori-teori berkaitan dengan macam-macam perlakuan yang digunakan untuk memperkecil nilai tahanan resistansi pentanahan.

b. Manfaat Praktis

1. Universitas Negeri Semarang, yaitu memperkaya hasil-hasil penelitian berkaitan dengan macam-macam perlakuan yang digunakan untuk memperkecil nilai tahanan resistansi pentanahan.
2. Peneliti, yaitu hasil penelitian ini tentunya memberikan wawasan ilmu pengetahuan dan pengalaman serta dapat dijadikan rujukan bagi peneliti selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Proses penulisan skripsi ini menggali informasi dari berbagai penelitian-penelitian sebelumnya yang 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 skripsi sebelumnya untuk mendapatkan informasi yang ada sebelumnya baik dari segi teori maupun judul yang digunakan untuk mendapatkan landasan teori ilmiah.

1. R Pratama dan WS Saputra dalam *International Symposium on Materials and Electrical Engineering* (ISMEE) tahun 2017, dengan judul "*Analysis of Additional Bentonite and Salt for Improving the Resistance of Electrode Rods".* Penelitian ini dilakukan pada tanah liat dengan melakukan perbandingan antara pemberian zat aditif dengan tidak memberikan zat aditif. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan kedalaman sistem pentanahan yaitu 80 cm dan 110 cm dari permukaan tanah. Serta waktu pengukuran yang dilakukan menjadi tiga sesi yaitu siang jam 12.00, sore jam 16.00 dan malam jam 20.00. Hasil penelitian ini menunjukkan kedalaman elektroda sistem pentanahan dan penggunaan zat aditif berpengaruh terhadap nilai resistansi sitem pentanahan.

2. Yousif El-Tous dan Salim A. Alkhawaldeh dengan judul "*an efficient method for earth resistance reduction using the dead sea water*" tahun 2014. Pada penelitian ini menggunakan 1 batang elektroda dan 2 batang elektroda yang dipasang secara paralel, variasi yang digunakan adalah jarak atau kedalaman batang pentanahan 52%, 62% dan 72%. Selain itu juga membandingkan perlakuan pentanahan yang dicampur air laut saja dengan pencampuran antara air laut dengan batu bara. Penelitian dilakukan pada tanah liat kering. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan kedalaman elektroda dan penambahan zat aditif berpengaruh dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan.
3. Lukong Plus Nyuykonge dan Noel Njongyang 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 0.4 m, 0.8m, 1m pada 1 elektroda dan juga 2 elektroda yang dipasang secara paralal. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan biochar dan 2 elektroda yang dipasang paralel memiliki nilai resistansi lebih lecil dibandingkan dengan sistem pentanahan yang tanpa biochar dan yang menggunakan 1 elektroda saja.
4. N. H. Shuhada, N.A. Ahmad dan Z. Adzis dalam penelitiannya pada tahun 2016 dengan judul "*Grounding enhancement material using bentonite*" dilakukan pada tanah laterit dan gabut. Pengukuran resitivitas tanahnya menggunakan metode *wenner* 4 titik. Penelitian ini dilakukan dengan

memvariasikan massa bentonite di masing-masing jenis tanahnya yaitu, tanpa bentonite, 50 gram, 150 gram dan 250 gram bentonite. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak massa dari bentonite resistansinya akan semakin kecil.

5. 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.
6. 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.
7. Ishak Kasim, David Hana Hertog dan Dean Corio dengan judul "Analisis penambahan larutan bentonite dan garam untuk memperbaiki tahanan pentanahan elektroda plat baja dan batang" pada tahun 2016. Penelitian

dilakukan dengan menggunakan 2 buah elektroda yaitu elektroda batang dan elektroda plat, penambahan larutan garam dan bentonite pada masing-masing elektroda divariasikan menjadi 3kg, 5kg dan 8kg yang dilakukan secara terpisah dengan variasi kedalaman 20cm-100cm. Hasil penelitian menunjukkan pemakaian larutan bentonite lebih baik dari larutan garam, karena laju penurunan resistansi pada larutan bentonite mencapai 54% sedangkan larutan garam hanya 47%.

Berdasarkan beberapa kajian pustaka diatas, dapat dilihat bahwa penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya menunjukkan laju penurunan nilai resistansi masih sekitar $\pm$ 50%. Kelemahan dari studi literatur yang ada, belum ditunjukkan efek dari penggunaan zat aditif yang digunakan terhadap tanah disekitar sistem pentanahan tersebut. Oleh karena itu, penggunaan zat aditif yang dicampur akan dicoba untuk menurunkan nilai resistansi pentanahan pada jenis tanah berkerikil sebagai bentuk perlakuan khusus dalam sistem pentanahan (*soil treatment*), namun dengan tetap memantau perubahan sifat kimia pada tanah untuk mengantisipasi kemungkinan yang terjadi pada jangka pendek ataupun jangka panjangnya. Supaya resistansi pentanahan yang dihasilkan kecil, tapi juga tidak merusak tanah. Jenis tanah berkerikil memiliki kandungan air yang relatif cukup hanya saja kerikilnya dapat memperbesar tahanan pentanahan. Adapun zat aditif yang digunakan pada penelitian skripsi ini adalah dengan pencampuran tiga buah zat aditif untuk menurunkan resistansi pentanahan, yang terdiri dari gypsum, bentonite dan arang. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dari peneliti sebelumnya, dimana peneliti membuat variasi injeksi dengan mengubah

massa gypsum dan komposisi bentonite serta arang tetap. Setelah diketahui nilai resistansi terendah berdasarkan variasi komposisi gypsum peneliti menggunakannya untuk dilakukan pengukuran kembali dengan beda injeksi melalui perubahan massa bentonite. Selanjutnya, kedua hasil pengukuran juga digunakan untuk memvariasikan injeksi melalui penambahan massa arang. Beda massa yang digunakan adalah pada kedalaman lubang 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60 % dan 70% pada tiap lubangnya dengan kedalaman lubang 150 cm. Alasan penggunaan zat aditif kurang dari 100% karena menurut Martin, dkk 2018 peggunaan zat aditif 100% pada beberapa zat aditif akan menyebabkan menurunnya kemampuan material campuran dalam menyerap air. Sedangkan pemantauan perubahan kimia pada tanah yaitu untuk mengetahui perubahan kualitas tanah yang dilihat dari pH tanahnya, supaya apabila digunakan untuk keperluan pertanian kita tahu kondisi tanahnya baik atau tidak.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Pembumian (*grounding system)*

Sistem pembumian merupakan suatu hantaran yang berfungsi mrnyalurkan arus lebih kedalam bumi dan memberikan proteksi terhadap manusia dari sengatan listrik. Sistem pembumian pada rumah akan bekerja ketika ada gangguan dan menyalurkannya kedalam tanah, sedangkan pada jaringan sistem pembumian akan melewati arester terlebih dahulu untuk memutuskan aliran arus listrik. Perencanaan pembumian memiliki beberapa standar yang berlaku, diantaranya:

1. Tahanan pembumian harus memenuhi persyaratan yang diinginkan untuk keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah merupakan bahan konduktor yang baik, tahan terhadap korosi dan memiliki daya tahan yang kuat.
3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah yang ada di sekelilingnya.
4. Tahanan pembumian harus baik terhadap berbagai musim.
5. Biaya pemasangannyapun serendah mungkin.

Sistem pentanahan yang baik harus memiliki nilai tahanan sekecil mungkin. Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi nilai tahanan sistem pentanahan diantaranya yaitu tahanan jenis tanah, kelembaban, temperatur, dimensi konduktor dan juga dipengaruhi oleh kedalamaan konduktor. Dibuatnya sistem pentanahan tentunya memiliki fungsi dan tujuan pembuatannya, adapuan tujuan dari sistem pentanahan antara lain (Hutauruk, 1991):

1) Mengalihkan arus gangguan supaya masuk kedalam tanah yang berasal dari surja hubung ataupun surja petir;
2) Melindungi manusia dari peralatan yang dalam kondisi normal tidak dialiri arus listrik namun berpotensi mengalirkan arus listrik jika terjadi gangguan;
3) Membatasi gangguan dari fasa-fasa yang tidak terganggu ketika terjadi gangguan;
4) Menjaga kinerja peralatan agar sistem dapat berjalan dengan baik.

Metode-metode yang digunakan dalam mereduksi nilai resistansi pentanahan untuk elektroda batang pembumian, telah direkomendasikan menurut IEEE Std. 142-1982 yaitu:

1) Penambahan jumlah batang pembumian
2) Memperpanjang ukuran batang pembumian
3) Membuat perlakuan terhadap tanah (*soil treatment*) terbagi atas:
    a. Metode bak ukur (*Countainer Method*)
    b. Metode parit (*Trench Method*)
4) Menggunakan batang pembumian khusus
5) Metode kombinasi

2.2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi pembumian

Tahanan pembumian suatu elektroda tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

a. Tahanan elektroda pembumian beserta sambungan pengelasan pada elektroda itu sendiri;
b. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah;
c. Tahanan Penghantar (BC);
d. Tahanan dari massa tanah di sekitar elektroda pembumian.

Berdasarkan ketiga komponen tersebut, tahanan pembumian merupakan besaran yang memiliki pengaruh besar terhadap resistansi pembumian jika dibandingkan dengan tahanan elektroda. Nilai tahanan dalam sistem pembumian diharapkan serendah mungkin. Elektroda pembumian yang ditanam dalam tanah langsung memberikan nilai tahanan pentanahan serendah mungkin, namun hal

tersebut jarang ditemui. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan:

1) Faktor Internal

a. Bentuk elektroda.

Elektroda terbagi menjadi beberapa bentuk diantaranya yaitu jenis batang, pita dan plat.

b. Janis bahan dan ukuran elektroda

Pemilihan elektroda pentanahan berdasarkan konduktivitas serta sifat korosi bahan. Ukuran elektroda yang dipilih mempunya kontak paling efektif dengan tanah. Sedangkan prinsip dasar untuk memperkecil resistansi tanah adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin, sesuai dengan rumus:

$$R = P.\ L/A \qquad (2.1)$$

dengan :

R = Resistansi Pembumian

P = Resistnsi Jenis Tanah

L = Panjang Lintasan arus pada tanah

A = Luas penampang lintasan arus pada tanah

c. Jumlah atau konfigurasi elektroda

Pemasangan pentanahan bisa dilakukan dengan memvariasikan jumlah elektroda yaitu dengan cara memparalelnya. Penambahan elektroda dilakukan jika penggunaan satu buah elektroda hasil nilai resistansinya tidak memenuhi standar. Pada PUIL 2000-3.19.1.4 dinyatakan bahwa

apabila hasil pengukuran belum mencapai 5Ω, maka batang elektroda ditambah, dengan jarak 2 kali panjang elektroda.

d. Kedalaman pemancangan atau penanaman didalam tanah

Kedalaman pemancangan elektroda sendiri tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah diantaranya yaitu kondisi tanah kering dan berbatu, namun adapula ada yang cukum ditanam secara dangkal untuk jenis tanah seperti tanah rawa, tanah liat dan lain-lain.

2) Faktor Eksternal

a. Sifat geologis (karakteristik) tanah

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

1. Beberapa data yang didapat dari survei geofisika dapat digunakan untuk membatu mengidentifikasi lokasi pertambangan, kedalaman batu-batuan dan kejadian geologi lainnya;
2. Tahanan jenis mempunyai pengaruh langsung terhadap korosi pipa-pipa bawah tanah. Apabila tahanan jenis semakin meningkat maka aktivitas korosi akan semakin meningkat pula;
3. Tahanan jenis lapisan tanah mempunyai pengaruh langsung dalam sistem pembumian. Ketika merencanakan sistem pembumian, sebaiknya dicari lokasi yang mempunyai tahanan jenis tanah yang terkecil agar tercapai instalasi pembumian yang paling ekonomis.

Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) tahanan jenis tanah dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Nilai Tipikal Tahanan Jenis Tanah

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

(Sumber : PUIL 2000 3.18.3.1 hal 80)

b. Komposisi zat kimia dalam tanah

Pada daerah dengan tingkat curah hujan yang tinggi biasanya memiliki tahanan tanah tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larus bersama air hujan, dengan demikian untuk memperoleh pembumian yang efektif maka penanaman elektroda pada kedalaman yang lebih dalam. Selain itu juga derajat keasaman (pH) dalam tanah juga mempengeruhi, dimana semakin asam tanah maka semakin mudah menghantarkan arus petir kedalam tanah.

c. Kandungan air tanah

Tahanan jenis tanah akan dipengaruhi oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembapan tanah jika konduktivitas tanah semakin besar maka tahanan jenis tanah semakin kecil (Deni Rhamdani (2008) dan Linda Pasaribu (2011) dalam Sahala,2018)). Tahanan pembumian tidaklah konstan karena terjadi perubahan musim dan kadar air dalam tanah. Kelembapan tanah/besar kecilnya konsentrasi air dalam tanah sangat mempengaruhi harga tahanan tanah. Semakin banyak kandungan air semakin kecil tahanan tanahnya. Begitu juga sebaliknya tanah yang kering dengan konsentrasi air dibawah 10% mempunyai tahanan jenis tanah yang besar sekali.

d. Temperatur tanah

Temperatur tanah yang ada disekitar elektroda pembumian juga berpengaruh terhadap nilai tahanan tanah. (Setiono, 2016). Efek temperatur yang dihadapi dalam tahanan jenis tanah hampir tidak ada diatas titik beku. Pada 0°C, air yang terdapat dalam tanah mulai membeku sehingga tahanan jenis tanah meningkat. Penelitian yang dilakukan oleh Deni Rhamdani (2008) dan Linda Pasaribu (2011) dalam Sahala (2018) mengenai analisa pengaruh temperatur terhadap tahanan tanah dsiperoleh kesimpulan semakin tinggi nilai temperatur tanah maka tahanan tanah akan semakin tinggi.

2.2.3 Usaha Menurunkan Tegangan Permukaan Tanah

2.2.3.1 Perlakuan kimiawi tanah

Metode yang umum digunakan untuk menurunkan teganagan permukaan tanah adalah dengan menurunkan tahanan jenis tanah, karena tegangan berbanding terbalik dengan tahanan. Ada beberapa zat aditif yang digunakan untuk menurunkan tahanan jenis tanah dan terbukti secara langsung dapat menuruunkan tahanan pentanahan. Selain itu juga ada beberapa jenis garam yang secara alami terkandung dalam tanah bersifat konduktif dan menurunkan tahanan jenis tanahnya. Penambahan zat aditif harus diperhitungkan secara cermat karena ada jenis zat aditif yang apabila digunakan secara berlebihan dapat bersifat korosif. Bahan yang digunakan untuk menurunkan nilai tahanan jenis tanah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Bentonite

Bentonite merupakan jenis tanah liat yang memiliki kandungan montmorillonit dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, *feldspars* dan mineral lainnya (Vitanesa, et al. 2017). Bentonite bersifat menyerap air dan menahan air pada strukturnya, hal ini disebabkan adanya lapisan lempung yang terdiri dari tetrahedral dan oktahedral sedangkan lapisan interlayer terdapat molekul air dan kation-kation, pada lapisan interlayerlah terjadi penyerapan air. Bentonit berbeda dari lempung lainnya karena hampir seluruhnya (sekitar 75%) merupakan mineral *monmorillonit* (mempunyai luas lebih besar serta memiliki daya serap tinggi terhadap air). Bentonite digunakan dalam elektroda pentanahan untuk membantu menurunkan resitivitas tanah. Rendahnya resitivitas diperoleh dari proses elektrolisis antara air, Na_2O (soda), K_2O (kalium), CaO (kapur), MgO (Magnesium) dan garam mineral lainnya yang mengionisasi membentuk elektrolit kuat. Rumus kimia secara umum dari bentonite adalah $Al_2O_3.4SiO_2.H_2O$ (Bahri, 2014:64), sedangkan bentuk fisik bentonite dapat dilihat pada gambar 2.1. Bentonite sering digunakan sebagai usaha memperbaiki tahanan pentanahan karena memiliki sifat (Andini, 2016: 46) :

1) Memiliki sifat tahanan jenis yang sangat rendah dan stabil;
2) Bentonite dapat mengembang menjadi beberapa kali lipat bila dicelupkan kedalam air dan dapat menahan air pada strukturnya;
3) Memiliki harga yang ekonomis;
4) Bentonite tidak menyebabkan korosi pada elektroda;

5) Bentonite tidak mudah hancur karena bentonite merupakan bagian dari tanah liat itu sendiri.

Gambar 2.1 Serbuk Bentonit
Sumber : Putri, 2017

Berdasarkan tipenya, bentonite dibagi menjadi dua macam yaitu Na bentonite dan Ca bentonit.

a. Na-bentonite

Na-bentonite merupakan jenis mineral *montmorilonit* dengan partikel air tunggal (*single water layer particle*), serta memiliki Na^+ yang dapat dipertukarkan. Na-bentonite memiliki daya pengembang hingga delapan kali jika dicelupkan kedalam air, dan tetap terdispersi kedalam air. Bentonite mempunyai pH sekitar 8,5 sampai 9,8 (www.gsmsds.com). Selain itu juga bentonite ini akan mempertahankan kandungan air yang telah diserapnya.

b. Ca-bentonite

Berbeda dengan Na-bentonite, ca-bentonite ini memiliki daya pengembang yang kurang dan memiliki pH sekitar 4,0 hingga 7,1 (bersifat asam) serta memiliki daya tukar ion yang cukup besar.

Perbedaan sifat antara Na-bentonite dan Ca-Bentonite adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Perbedaan Sifat Na-Bentonite dan Ca-Bentonite

No	Sifat fisik	Na-Bentonite	Ca-Bentonite
1	Daya mengembang	Sangat baik	Tidak baik
2	Kekuatan dalam keadaan basa	Sedang	Tinggi
3	Perkembangan daya ikat	Sedang	Cepat
4	Kekuatan tekan	Tinggi	Sedang
5	Daya tekan terhadap penyusutan	Tinggi	Rendah
6	Daya mengalirkan pasir	Sedang	Sangat baik
7	Warna dalam keadaan kering	Putih atau crem	Abu-abu, biru, kuning, coklat
8	Perbandingan Na dan Ca	Tinggi	Rendah
9	Ph suspense koloidal	8,5-9,8	4-7

(Sumber: Sukandarrumidi. 1999)

Menurut Opara et.al 2014, jenis bentonite yang digunakan untuk keperluan pentanahan adalah sodium bentonite (Na-bentonite), karena dapat mengembang lebih dari jenis kalsium dan juga memiliki kemampuan resistansi yang lebih baik.

Bentonit memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

a) Sifat kimia bentonite

Unsur-unsur kimia yang ada dalam bentonit diperlihatkan pada tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Bentonit

Komposisi kimia	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO_2	61,3-61,4	62,12
Al_2O_3	19,8	17,33
Fe_2O_3	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na_2O	2,2	0,50
K_2O	0,4	0,55
H_2O	7,2	7,22

Sumber : http//www.tekmira.esdm.go.id/data/bentonit

Struktur bangun lembaran bentonit terdiri dari 2 lapisan tetrahedral yang disusun unsur utama Silika (O, OH) yang mengapit satu lapisan oktahedral yang disusun oleh unsur M (O,OH) (M = Al, Mg, Fe). Struktur utama bentonit selalu

bermuatan negatif walaupun pada lapisan oktahedral ada kelebihan muatan positif yang akan dikompensasi oleh kekurangan muatan positif pada lapisan oktahedral (Alexandre dan Dubois, 2000). Hal ini terjadi karena terjadinya substitusi isomorfik ion-ion, yaitu pada lapisan tetrahedral terjadi substitusi ion Si^{4+} oleh Al^{3+} , sedangkan lapisan oktahedral terjadi substitusi ion Al^{3+} oleh Mg^{2+} dan Fe^{2+}. Ruang dalam lapisan bentonit dapat mengembang dan diisi oleh molekul-molekul air dan kation-kation lain.

Kandungan kimia pada bentonite bersifat higroskopis, hal tersebut disebabkan oleh pembentukan larutan kimia dari unsur penyusunnya dalam bentonite ketika dilarutkan dalam air (Opara et.al. 2014). Seperti halnya dengan Natrium yang bereaksi dengan uap air dalam tanah untuk membentuk Natrium hidroksid (NaOH). NaOH bertanggungjawab dalam penyalinan hygro dari bahan kimia bentonite. Sifat higroskopisnya membuat bentonite dapat menarik air yang tersedia dalam tanah dan sekitarnya untuk mempertahankan karakteristik yang menguntungkan. Pembentukan Natrium hidroksida higroskopis ini sangat penting, karena atom natrium pertama kali bergabung dengan oksigen, berikut reaksi kimianya:

$$Na_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow Na_2O_{(s)}$$

Persamaan 1 : Reaksi kimia Natrium dan gas oksigen

Oksida ini menyerap air dari udara untuk membentuk natrium hidroksida yang sangat higroskopis.

$$Na_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow 2NaOH_{(aq)}$$

Persamaan 2: Reaksi kimia natrium oksida dan air

Bentuk natrium hidroksida ini bereaksi lebih lanjut dengan kelebihan karboksi (IV) oksida, CO_2 di udara untuk membentukgaram natrium trisokarbonat (IV).

$$2NaOH_{(aq)} + CO_{2(g)} \longrightarrow Na_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$

Persamaan 3: reaksi kimia natrium hidroksida dengan karbondioksida

Dikarenakan CO_2 berlebih, natrium karbonat juga terbentuk maka akan bereaksi dengan natrium hidrogen trioksokarbonat (IV).

$$Na_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} \longrightarrow 2NaHCO_{3(s)}$$

Persamaan 4 : pembentukan natrium hidrogen trioksokarbonat (IV)

Natrium hidrogen karbonat terurau pada pemanasan untuk membentuk natrium karbonat anhidrat (Na_2CO_3).

$$2NaHCO_{3(s)} \longrightarrow Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(g)} + CO_{2(g)}$$

Persamaan 5 : dekomposisi natrium hidrogen karbonat

Natrium trioksokarbonat (IV) membentuk garam dengan kadar tinggi yang sangat basa, membuat konduksi listrik ditanah menjadi lebih mudah.

$$Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow Na_2CO_3.10H_2O_{(s)}$$

Persamaan 6: Pembentukan garam alkali

Pentingnya sifat higroskopis dan alkali dari bentonit ini memungkinkannya menyerap kelembapan dari tanah sehingga mengurngi resitivitas tanah karena kelembapan dapat membentuk jalur penghantar ditanah. Hal tersebut menjadikan bentonit sebagai bahan yang ideal dalam mengurangi resistansi tanah sebagai aplikasi pembumian listrik (Opara, et.al. 2014).

b) Sifat elektrik bentonite

Sifat elektrik bentonite dalam kondisi kering dan basah untuk resitivitas natrium bentonite (Na-bentonite) berturut-turut sekitar 18 Ωm dan 3 Ωm. (Zeng,et.al. 2002). Namun pada penelitian yang dilakukan Lim et.al tahun 2013 resitivitas Na-bentonite menunjukkan kondisi kering $\pm$ 70 Ωm, basah $\pm$ 0.7 Ωm, dan pada Ca-bentonite dalam kondisi kering 225 Ωm, basah 16 Ωm.

c) Sifat fisik bentonite

Ketika keadaan kering bentonite mempunyai sifat fisik berupa partikel yang halus berbentuk serpihan yang khas seperti pecah kaca (*concidal fracture*), kilap lilin, plastis, berwarna kuning muda hingga abu-abu, bila lapuk berwarna coklat kekuningan, kuning merah atau coklat, bila diraba terasa licin, dan jika dimasukkan kedalam air akan menghisap air. Untuk sifat fisik lainnya berupa massa jenis 2800 kg/m^3; indeks bias 1,547-1,557; serta titik lebur 1330-1430°C.

Hasil penelitian yang dilakukan Lim, et.al 2013 menunjukkan bahwa bubuk bentonite yang dimasukkan kedalam gelas ukur dengan 80 cm^3 serta dicampur air 200 gram yang kemudian diaduk secara merata, lalu didiamkan selama 1 hari pada suhu kamar menunjukkan hanya 74 gram air yang tersisa dalam gelas. Ini berarti 800 cm^3 bentonite dapat menyerap 126 gram air. Bentonit juga mengalami pembengkakan 160% dari ukuran semula. Dalam hal kepadatan, kepadatan yang terjadi pada bentonite kering 800 kg/m^3 ketika bengkak atau benar-benar terhidrasi dentitasnya meningkat menjadi 1133 kg/m^3.

2) Arang

Arang merupakan residu hitam yang dihasilkan dari penghilangan kandungan air serta komponen volatil dari hewan atau tumbuhan dan berisi karbon sebagai elemen utaanya dengan massa sekitar 80%, sedangkan sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya (Ezecukwu 2005 dalam Opara, et.al 2014). Umumnya arang didapat dari hasil pembakaran kayu tulang ataupun benda lain. Penggunaan arang dalam sistem pentanahan bertujuan untuk menurunkan tahanan grounding serta memeliharanya secara permanen. Biasanya tahanan grounding di dalam tanah berhubungan dengan reaksi kimia antara tanah tersebut.

Arang yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang kayu. Menurut Pembayun dkk (2013) kandungan karbon aktif yang besar dalam arang kayu dapat meningkatkan daya serap air karena bersifat higroskopis sehingga dapat meningkatkan konduktivitas atau daya hantar listrik dari suatu tanah. Bentuk fisik arang kayu dapat dilihat pada gambar 2.2.

Gambar 2.2 Arang Kayu
Sumber : Rahman, 2018

Adapun sifat-sifat yang dimiliki arang adalah:

a) Sifat kimia arang

Arang memiliki pH antara 6.0-9.0.(www.gsmsds.com). Secara umum, rumus kimia dari arang adalah C_7H_4O (Opara, et.al. 2014:580). Tidak semua elektron

valensi yang ada dalam arang digunakan untuk ikatan. Sementara setiap atom karbon terikat pada tiga atom lainnya, elektron keempat tidak terikat pada atom tertentu. Elektron yang tidak terikat ini bebas bergerak sehingga meningkatkan konduktivitas (Opara, et.al. 2014:580). Sifat berpori arang meningkatkan kapasitas kation tanah sehingga meningkatkan konduktivitas. Arang yang digunakan untuk pentanahan tidak dicuci dengan air, karena kandungan abu yang ada dalam arang menjadi kation dasar dalam membantu meningkatkan pH tanah.

Terlepas dari kenyataan karbon memiliki pori-pori yang menahan air di dlam tanah untuk meningkatkan konduktivitas, ketika dicampur natrium klorida didalam tanah, berbagai reaksi terjadi untuk menghasilkan $NaNO_3$ yang sangat higroskopis. Berikut reaksi kimianya, (Opara, et.al. 2014):

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$$

Persamaan 7 : Oksidasi karbon untuk membentuk karbon oksida

$$Na_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow Na_2O_{(s)}$$

Persamaan 8 : Oksidasi natrium untuk membentuk natrium oksida

$$Na_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow 2NaOH_{(s)}$$

Persamaan 9 : Hidrolisis natrium oksida untuk membentuk natrium hidroksida

$$2NaOH_{(s)} + CO_{2(g)} \longrightarrow Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(l)}$$

Persamaan 10: Reaksi natrium hidroksida dan karbon (IV) oksida untuk membentuk naterium karbonat

$$Na_2CO_{3(s)} + Ca\ (NO_3)_{(aq)} \longrightarrow CaCO_{3(aq)} + 2NaNO_{3(s)}$$

Persamaan 11: reaksi dekomposisi ganda antara natrium carbonat dan kalsium nitrat untuk menghasilkan kalsium karbonat dn natrium nitrat.

b) Sifat elektrik arang

Penelitian yang dilakukan oleh Destyorini, dkk tahun 2010 menguji karakterisasi elektrik arang serabut kelapa dilakukan dengan menggunakan LCR-meter. Sampel yang digunakan yaitu serabut kelapa ukuran 100 mesh, dari alat LCR-meter ini didapatkan nilai resistansi (R) dengan satuan Ω, dan mendapatkan nilai konduktivitas listriknya (σ) S/m digunakan persamaan (Mochidzuki, 2003):

$$\sigma = \frac{\mathrm{L}}{RA} \quad \text{.....} \quad (3.1)$$

dimana :

L : jarak konduktor

A : Luas permukaan lempengan

Hasil penelitian Destyorini, dkk tahun 2010 menunjukkan pada temperatur 500°C pada frekuensi 1Hz-10KHz berkisar antara $(0{,}39x10^{-5})$S/m – $(0{,}43x10^{-5})$S/m, pada temperatur 900°C menyebabkan arang lebih bersifat konduktif dengan nilai konduktifitas sebesar antara 0,21-0,23 S/m, sedangkan pada temperatur 900°C konduktifitas meningkat lagi menjadi antara $(0{,}12x10^{2})$-$(0{,}18x10^{2})$ S/m.

3) Gypsum

Gypsum merupakan batu berwarna putih yang terbentuk karena pengendapan air laut. Gypsum memiliki mineral terbanyak dalam batuan sedimen dan memiliki

tekstur lunak jika gypsum tersebut murni tanpa campuran. Bentuk fisik gypsum dapat dilihat pada gambar 2.3.

Gambar 2.3. Serbuk Gypsum
Sumber : Martin, dkk. 2018

Ada beberapa sifat yang dimiliki gypsum, diantaranya:

a) Sifat kimia

Gypsum memiliki rumus kimia $CaSO_4.2H_2O$ (Yuniarti, 2016:2). Gypsum terbagi menjadi 2 yaitu *anhidrate* dan *dehydrate*. *Anhidrate* terbentuk dari zat kapur (Ca) dengan komposisi 32,6%, H_2O 20,9% dan belerang sebesar 32,6%; sedangkan untuk *dehydrate* memiliki kandungan yang sama dengan *anhydrate* namun yang membedakan adalah molekul airnya. Gypsum tidak mengkorosi tembaga, meskipun terkadang kandungan ringan SO_3 menjadi masalah pada struktur dasar dan fondasi. Gypsum mempunyai kelarutan yang rendah sehingga tidak mudah dihilangkan. Serta mempunyai pH berkisar 6,2-6,9, gypsum bersifat netral. Penggunaan gypsum tidak akan menimbulkan pencemaran udara dan tanah, gypsum juga harganya murah, tahan api, tahan deteriorasi oleh faktor biologis serta tahan terhadap zat kimia. Selain itu juga gypsum memiliki konduktivitas yang rendah sehingga bagus untuk dijadikan campuran bahan dalam memperkecil resistansi pentanahan. Berikut adalah komposisi kimia gypsum yang dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Gypsum

Mineral	Gypsum
SO_3	36.2
CaO	30.1
MgO	3.66
SiO_2	3
Al_2O_3	0.85
Fe_2O_3	0.25
TiO_3	0.04
P_2O_5	0.01

Sumber : Ashikuzzaman, et.al. 2018

b) Sifat elektrik

Tahanan jenis (ρ) gypsum berbeda-beda tergantung keadaan sekitarnya. Penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan nilai dari tahanan jenis gypsum murni berbentuk batuan besar adalah 800 Ω m sedangkan untuk daerah dengan kondisi tanah yang basah menunjukkan konduktivitas yang tinggi dengan tahanan jenis yang rendah (mendekati 1 Ω m). Hal tersebut dikarenakan ion-ion terlarut didalam air yang berasal dari material yang mengandung garam.(FAO,1990 dalam Martin, dkk 2018).

2.2.3.2 Perawatan Rutin

Perawatan rutin dilakukan untuk mempertahankan kondisi optimal kinerja sistam pentanahan dilakukan rutin setiap 1 tahun/ 6 bulan untuk memantau kondisi fisik saluran transmisi berikut sistam pentanahannya. Kerusakan sistam pentanahan diakibatkan oleh kendurnya sambungan atau korosi pada bagian elektroda. Perbaikan dilakukan dengan mengencangkan kembali baut-baut sambungan dan membersihkan bagian elektroda yang korosi. Logam khususnya besi dan baja ketika ditanam dalam tanah maka akan terjadi pengaratan. Tahanan jenis tanah yang

rendah menunjukkan larutan garam dan air yang tinggi. Tanah dengan daya hantar tinggi maka akan tinggi pula daya korosinya.

2.2.4 Elektroda Pentanahan

Berdasarkan peraturan umum tentang elektroda bumi dan penghantar (SNI 04. 0225-2000) ada 3 jenis elektroda pembumian yaitu elektroda batang, elektroda pita dan elektroda pelat.

2.2.4.1 Elektroda Batang

Elektroda batang merupakan elektroda yang paling umum digunakan, untuk penggunaannya, jumlah serta ukuran elektroda batang dipilih dan disesuaian dengan tahanan pentanahan yang dibutuhkan. Elektroda ini dipasang secara vertikalataupun horizontal didalam tanah yang terbuat dari bahan tembaga, *stainless steel*, atau *galvanis steel*. Pada saat pemilihan bahan harus sangat diperhatikan supaya terhindar dari *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi.

Mencari nilai tahanan pentanahan dapat menggunakan rumus dibawah ini (Putri, 2017):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\ \{ln\frac{4L}{a} - 1\} \text{..... (2.3)}$$

Keterangan :

R = Tahanan pentanahan untuk elektroda batang (*rod*) tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elektroda batang (meter)

a = Jari-jari elektroda batang (meter)

2.2.4.2 Elektroda Pita

Elektroda pita terbuat dari hantaran pita atau penampang bulat atau hantaran pilin yang umumnya ditanam secara dangkal.sebagai pengganti pemancangan secara vertikal kedalam, dan dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horizontal).

Berikut rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pita (Putri, 2017):

$$Rt = \frac{\rho}{\pi Lw}\left[\ln\left(\frac{2Lw}{\sqrt{dw}.Zw}\right) + \frac{1{,}4Lw}{\sqrt{Aw}}.5{,}6\right] \text{..... (2.4)}$$

dimana:

Rt : tahanan pentanahan denan kisi-kisi (*grid*) kawat (ohm), ρ adalah tahanan jenis tanah (ohm-meter), Lw adalah panjang total *grid* kawat (m), dw adalah diameter kawat (m), Zw adalah kedalaman penanaman (m), Aw adalah luas yang dicakup oleh *grid* (m^2).

2.2.4.3 Eletroda Pelat

Elektroda pelat umumnya berbentuk persegi ataupun persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah ataupun pelat baja yang ditanam dalam tanah. Cara penanamannya biasanya secara vertikal sebab dengan penanaman secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertikal tetapi pemasangan dengan secara vertikal lebih praktis dan ekonomis.

Berikut rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal (Putri,2017):

$$Rt = \frac{\rho}{2\pi Lp}\left[\ln\left(\frac{8Wp}{0{,}5Wp+Tp}\right) - 1\right] \text{..... (2.5)}$$

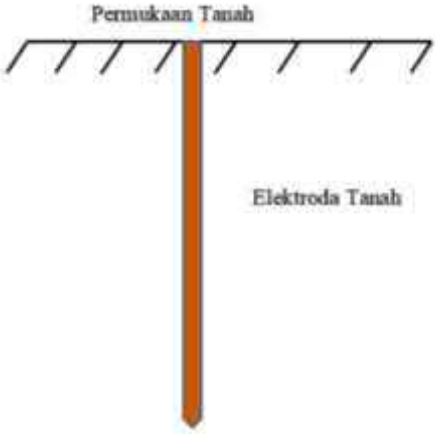
dimana Rt merupakan tahanan tanah pelat (Ohm), ρadalah tahanan jenis tanah (ohm-meter), Lp adalah panjang pelat (m), wp adalah lebar pelat (m), Yp adalah tebal pelat (m).

2.2.5 Metode penanaman elektroda

Metode penanaman elektroda yang banyak digunakan pada sistem pentanahan antara lain:

2.2.5.1 Sistem pentanahan *driven rod*

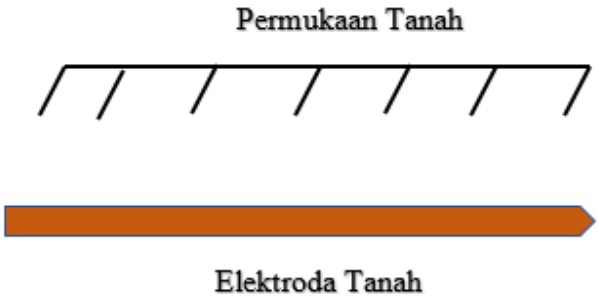
Metode ini dilakukam dengan cara menanam batang elektroda secara tegak lurus terhadap permukaan tanah dengan kedalaman tertentu sehingga mendapatkan nilai resistansi tanah yang diinginkan.



Gambar 2.4 Sistem Pentanahan Vertikal

2.2.5.2 Sistem pentanahan *counterpoise*

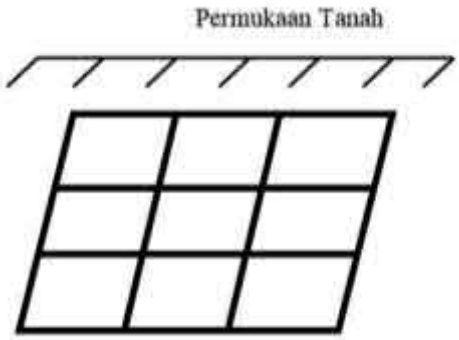
Metode ini hampir sama dengan penanaman elektroda secara vertikal namun elektroda pada metode ini penanamannya secara horizontal kedalam tanah dengan kedalaman sesuai dengan yang inginkan atau hingga mendapatkan nilai resistansi tanah yang diinginkan.



Gambar 2.5 Sistem Pentanahan Horizontal

2.2.5.3 Sistem pentanahan grid

Pentanahan grid biasanya digunakan untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang kecil. Bentuk geometris pentanahan grid dapat dibuat bentuk bujur sangkar atau persegi panjang.



Gambar 2.6 Sistem Pentanahan Grid

2.2.6 *Earth Tester*

Earth tester merupakan alat pengukur yang digunakan untuk mengukur nilai. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat analog dengan merk Sawa PDR-301. Alat ini mampu mengukur resistansi pentanahan dari 0 Ωm hingga 1000Ωm. Adapun bentuk *earth tester* yang digunakan ditunjukkan oleh gambar 2.7. *Earth Tester* tipe PDR-301 dilengkapi lampu indikator berwarna merah yang akan menyala ketika tombol *PUSH* ditekan atau ketika sedang dilakukan pengukuran.

Gambar 2.7 *Earth Tester*
(Sumber: Manual book Sanwa PDR-301)

Tabel 2.5 Spesifikasi *Earth Tester*

SPESIFIKASI	
Rentang Pengukuran Resistansi Bumi	10/100/1000Ω
	Akurasi : X1 arus ± berskala penuh
	: X10, X100 arus ± 2.5% berskala penuh
ACV (Tegangan Kebocoran)	0~30V
	Akurasi : ± 2.5% berskala penuh
Tampilan	Analog
Operasional	Sistem konstan arus (3 polar atau 2 polar)
Baterai	R6PX6
Ukuran (WxHxD)	175mm x 118mmx 55mm
Berat	500 g

2.2.7 *Moisture Tester* ETP 306

Moister tester ETP 306 merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kelembapan tanah, pH tanah dan pencahayaan. Penggunaan alat ini sangatlah praktis, karena hanya dengan menggeser tombol sesuai dengan keinginan dan menancapkan kedalam tanah maka nilai pengukuran sudah didapatkan. ETP 306 beroperasi tanpa memerlukan baterai sehingga tidak perlu khawatir alat kehabisan daya saat melakukan pengukuran. Bentuk fisik pH meter tipe ETP 306 dapat dilihat pada gambar 2.8.

Gambar 2.8 *Moisture Tester* ETP 306

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan data hasil penelitian, peneliti memperoleh simpulan yang dapat diambil dari penelitian analisis penggunaan gypsum, bentonite, dan arang sebagai zat aditif untuk *soil treatment* dalam sistem pentanahan bahwa:

1. Penggunaan zat aditif untuk sistem baik bentonite, gypsum maupun arang merupakan suatu perlakuan yang tepat dan juga aman bagi lingkungan karena untuk bentonite dan gypsum merubah tanah menjadi netral dengan pH 7 hal ini tidak merubah komposisi organisme dalam tanah. Kecuali untuk arang, meskipun arang ini baik dalam menurunkan resistansi tapi akibat dari penambahan arang, tanah berubah menjadi asam dengan pH 4, jadi perlu dilakukan peninjauan kembali. Selain itu juga porsinya harus pas karena bila dalam kondisi basah beberapa zat dalam arang seperti karbon, sodium, magnesium atau kalsium tersebut jika bereaksi dengan tembaga atau baja lama kelamaan bisa menyebabkan korosi sehingga nilai resistansinya menjadi besar.
2. Berdasarkan hasil korelasinya menunjukkan penambahan zat aditif sangat mempengaruhi nilai resistansi maupun pH tanah. Namun, jika dilihat dari hasil dan efeknya perbandingan zat aditif terbaik didapat ketika perbandingan massa arang 0,01 kg, bentonite 0,1 kg dan gypsum 2,6 kg yang menghasilkan nilai

resistansi 7,3Ω dan pH 8. Namun, resistansi tersebut belum memenuhi standar dari PUIL 2000 ayat 3.13.2.10.

3. Hasil pengukuran menunjukkan penambahan zat aditif mampu menurunkan nilai resistasi pada tanah berkerikil dari 26% hingga 72%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, adapun saran yang dapat diberikan untuk peneliti selanjutnya antara lain adalah:

1. Pada penelitian ini, meskipun dari masing-masing variasi dominan gypsum, bentonite dan arang sudah mampu mereduksi nilai resistansi 26% hingga 72% namun nilai resistansi yang dihasilkan masih belum memenuhi standar PUIL 2000 ayat 3.13.2.10 yang sesuai untuk pentanahan pada gedung. Jadi diperlukan penambahan diameter ataupun kedalaman lubang pentanahan untuk menurunkan resistansi selain itu bisa juga dilakukan dengan memvariasikan lebih banyak lagi zat aditif.
2. Penggunaan arang menjadikan tanah ber-pH 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. Jadi penggunaan arang perlu ditinjau kembali dan massa yang digunakan juga pas, supaya tidak merusak tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, Emy, dan Dwa Desa Warnana. 2015. Analisis pengaruh air terhadap sifat resitivitas dan konduktivitas batu kapur (*limestone*) daerah Gresik, Jawa Timur. Solo : Institut Teknologi 10 Nopember.

Alexandre, M dan Philippe Dubois. 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties, and uses of a new class of material. *Materials Science and Engineering.* 28 : 1-63.

A.Selvam, P. Manikandan. 2016. Performance analysis of flyash with bentonite in grounding pit. *International Conference Electrical Energy System.* 58-61.

Ashikuzzaman, Md, Tarif Uddin Ahmed, Zahidul Alam dan Md. Altaf Hossain. Effect of Brick Forming Load on Mechanical Properties of Fly-Ash Brick. *Trends in Civil Engineering and its Architecture*. 3(2):1-6.

Bahri, Syamsul. 2014. Pengaruh Adsorben Bentonit Terhadap Kualitas Pemucatan Minyak Inti Sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 25(1):63-69.

Brahmantyo, Arya dan Tony Yulianto. Identifikasi Bidang Gelincir Tanah Longsor Dengan Metode Risitivitas 2 Dimensi Desa Trangkil, Sejahtera Kecamatan Gunungati Semarang. *Youngster Physics Journal.*Universitas Diponegoro. 3(2):83-96.

Destyorini, Fredina, Andi Suhandi, Achmad Subhan, dan Nanik Indayaningsih. 2010. Pengaruh suhu karbonisasi terhadap struktur dan konduktivitas listrik arang serabut kelapa. *Jurnal fisika*. Pusat penelitian fisika-LIPI. 10(2): 122-132.

El-Tous, Yousif dan Salim A. Alkhawaldeh. 2014. An efficient method for earth resistance reduction using the dead sea water. *Energy and power engineering*. Jordan : Al-Balqa Applied University. 6 : 47-53.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). 1990. *Management of Gypsiferous.* Roma. Dalam Martin, Yul, Dikpride D., Lusmeilia A. 2018. Pengaruh pencmpuran gypsum sebagai zat aditif untuk menurunkan nilai resistansi grounding pada elektroda batang tunggal. *Seminar teknik elektro.* Universitas Lampung, Bandarlampung. 98-102. Batu Malang, 11-13 Oktober 2018.

Hutauruk, T.S. 1991. *Pengetanahan netral sistem tenaga dan pengetanahan peralatan*, jilid 2. Jakarta : Erlangga.

Huzaini, Aidi. 2013. Tingkat Kekritisan Lahan Di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknik. Universitas Dionegoro Semarang

IEEE green book standar 142 (Revision of IEEE standar 142-1982). 1991. *Recommended practice for grounding of industrial and commercial power system ANSI*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Kasim, Ishak, David H. H., dan Dean Corio. 2016. Analisis penambahan larutan bentonite dan garam untuk memperbaiki tahanan pentanahan elektroda plat baja dan batang. JETri. 13(2): 61-72.

Kusrini, Neneng. 2018. Pemanfaatan brntonite, kapur dan limbah puing bangunan untuk meningkatkan kapasitas tanah tropika dalam menurunkan resistansi *grounding. Tesis*. Pascasarjana Universitas Lampung.

Lim, Siow Chun, Chandima Gomes, dan M Zainal A.A.K . 2013. Characterizing of bentonite with chemical, physical and electrical perspectives for improvement of electrical grounding system. *International journal electrochem science.* 8: 11429-11447.

Lim, Siow Chun, Chandima Gomes, M Zainal A.A.K, dan Sani Dahiru B. 2012. Preliminary result of the performance of grounding electrodes encased in bentonite mixed concrete. *Internasional Conference on Lightning Protection* (ICLP). Vienna Austria.

Lim, Siow Chun, Chandima Gomes, M Zainal A.A.K, G. Nourirad, dan Z.A Malek. 2015. Behavior of backfill materials for electrical grounding systems under high 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.

Mochizuki, Kasuhiro, Florence Soutric, Katsuaki Tadokoro, and Michael Jerry Antal, Jr. 2003. Electrical and Physical properties of carbonized charcoal. *Ind. Eng. Chem. Res.* 42: 5140-5151.

Nyungkonge, Lukong Pius dan Noel Djongyang. 2015. An efficient method for electrical earth resistance reduction using biochar. *International journal of energy and power engineering.* 4(2): 65-70.

Oktora, Saras Dwi. 2016. Analisis sistem pentanahan di balai yasa Tegal menggunakan aplikasi Matlab. *Skripsi.* Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.

Opara, FK, Nduka OS, llokah NC, Amalzu PC, dan Onyebuchi MA. 2014. Comparative deterministic analysis of bentonite, pig dung and dosmetic salt and charcoal amalgam as best resistancereducing agent for electrical earthing aplications. *International journal of scientific and engineering* (IJSER). 5(10): 575-584.

Pabla, A, S dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta: Erlangga.

Pambayun G. S., Remigius Y.E.Y., M. Rachimoellah, Endah M. M. P. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator ZnCL2 dan Na2CO3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air. *Jurnal teknik pomtis.* 2(1) : 116-120.

Pratama R dan W S Saputra. 2017. Analysis of additional Bantonit and salt for improving the resistance of electrode rods. *International symposium on Materials and electrical engineering* (ISMEE). Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.

Putri, Shereen Diusti D. 2017. Rancang bangun sistem pentanahan metoda rod menggunakan injeksi (bentonite dan arang). *Tugas Akhir*. Politeknik Negeri Padang.

Rahman, Andi, dan Tri Rijanto. 2018. Studi pemanfaatan biochar untuk perbaikan resistansi jenis elektroda batang. *Jurnal Teknik Elektro*. 7(2): 101-106.

R.Zeng, J.He, J.Zou, dan X. Sheng. 2002. Novel method in decreasing grounding resistance of urban substations by utilizing peripherl geographical condition. *IEEE Publication 0-7803-7420-7*. 1113-1119.

Global Safety Management, Inc.2015. Safety Data Sheet Charcoal, Activate carbon. GHS Rev.3. 1-7.

Sahala, Dian Armanda. 2018. Pengaruh Bentonit dan NaCl terhadap nilai resistansi pentanahan dengan variasi batang elektroda. *Skripsi.* Teknik Elektro. Universitas Lampung.

Setiono, Dwi Agus. 2018. Studi pengaruh kandungan air tanah terhadap tahanan jenis tanah lempung (*clay*). *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro.* Universitas Tanjungpura, Pontianak.

Shuhada, NH, NA Ahmad, Z Adzis.2016. Ground enhancement material using bentonite. *Journal of advanced research in materials science.* 24(1):1-8.

Sirait, Makmur. 2018. Monograf polyvinyl alkohol dan campuran bentonite. Medan: Lembaga Penelitian Unimed.

Standar Nasional Indonesia. 2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000.

Sudaryanto. 2016. Analisis perbandingan nilai tahanan pembumian pada tanah basah, tanah berpasir dan tanah ladang. *Jurnal of electrical tecnology.* Universitas Islam Sumatra Utara. Medan. 1 (1).

Sugiyono. 2017. Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D). Alfabeta : Bandung.

Sukandarrumidi. 1999. *Bahan Galian Industri.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Sunarto. 2013. Analisis pengaruh zat aditif bentonite terhadap nilai resistansi pembumian pada elektroda pembumian jenis batang. *TEDC.* 7(2):54-61.

Vitanesa, Lora, Radja N Purba, Aldes L., dan M. Said. 2017. Bentonite Intercalled organometallic complex as adsorbent of procion red. *Science and technology Indonesia*. Universitas Brawijaya. 2(1): 9-16.

Yuniarti, Erliza. 2016. Gypsum sebagai soil treatment dalam mereduksi tahanan pentanahan ditanah ladang. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Universitas Muhammdiyah Jakarta. 1-7. 8 November 2016.

Yuniarti, Erliza, Dedi Hermanto, dan Prima Ahmadi. 2017. Penggunaan gypsum dan magnesium sulfat sebagai upaya menurunkan nilai resistansi pentanahan. *Jurnal Surya Energy.* 2(2). September 2017.