

SKRIPSI
PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* TERHADAP
KONSOLIDASI TANAH



DIMAS PERDANA MUKTI

221070043

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS RIAU KEPULAUAN
BATAM
2026

SKRIPSI
PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* TERHADAP
KONSOLIDASI TANAH



DIMAS PERDANA MUKTI

221070043

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS RIAU KEPULAUAN
BATAM
2026**

LEMBAR PENGESAHAN PERBAIKAN SEMINAR SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* TERHADAP
KONSOLIDASI TANAH**

Dimas Perdana Mukti
221070043

Pimpinan Sidang

Tanda Tangan

Tanggal

Dian Hastari Agustina, S.T., M.T
NIDN.1028087405

Dosen Penguji I

Nadia Khaira Ardi, S.T., M.T
NIDN. 8840530017

Dosen Penguji II

Imam Setivohadi, S.T., M.T
NIDN. 1015127501

PERSETUJUAN AKHIR SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* TERHADAP
KONSOLIDASI TANAH**

Dimas Perdana Mukti
221070043

Pembimbing I

Tanda Tangan

Tanggal

Dian Hastari Agustina, S.T., M.T
NIDN.1028087405

Pembimbing II

Zures Gustiabani, B.Eng., M.Sc,
NIDN.1007089601

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Riau Kepulauan**

Dian Hastari Agustina, S.T., M.T.
NIDN.1028087405

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* TERHADAP
KONSOLIDASI TANAH**

Dimas Perdana Mukti
2210700043

Dipertahankan di depan Penguji Skripsi Sarjana
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Riau Kepulauan
Tanggal : 6 Agustus 2026

No. Nama	NIDN	Tanda Tangan
<u>Dian Hastari Agustina, S.T., M.T</u> Pimpinan Sidang	1028087405	_____
<u>Nadia Khaira Ardi, S.T., M.T</u> Penguji I	8840530017	_____
<u>Imam Setiyohadi, S.T., M.T</u> Penguji II	1015127501	_____

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Riau Kepulauan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Riau Kepulauan

Ir.Zaenal Arifin, S.T., M.T., IPM
NIDN. 1010116603

Dian Hastari Agustina, S.T., M.T.
NIDN. 1028087405

HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Dimas Perdana Mukti

Nomor Induk Mahasiswa : 221070007

Program Studi : TEKNIK SIPIL

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul: **PENGARUH PENAMBAHAN BOTTOM ASH TERHADAP KONSOLIDASI TANAH** merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan hasil plagiat, dan tidak pula dituliskan oleh orang lain. Semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya cantumkan dan nyatakan dengan benar pada bagian daftar pustaka.

Jika di kemudian hari terbukti ditemukan penyimpangan dan penyalahgunaan dalam proses penulisan dan penelitian ini, saya bersedia menerima konsekuensi untuk dinyatakan **TIDAK LULUS**. Saya juga bersedia menanggung segala konsekuensi hukum yang berkaitan dengan tindak plagiarisme ini sebagai kesalahan saya pribadi dan bukan tanggung jawab Universitas Riau Kepulauan

Batam, 6/ Agustus/ 2026

(Dimas Predana Mukti)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini yang berjudul PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* TERHADAP KONSOLIDASI TANAH ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi kelulusan di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Riau Kepulauan.

Pertama sekali, penulis mengucapkan rasa terimakasih kepada pihak-pihak yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Ibu Prof. Dr. Hj. Sri Langgeng Ratnasari, S.E., M.M. Selaku Rektor, Universitas Riau Kepulauan.
2. Bapak Ir. Zaenal Arifin, S.T., M.T., IPM. Selaku Dekan, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan.
3. Ibu Dian Hastari, S.T., M.T selaku Kaprodi Fakultas Teknik Sipil sekaligus Dosen Pembimbing I saya atas segala, kebaikan, arahan, dan pengetahuan yang beliau berikan kepada penulis, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan sebaik mungkin.
4. Ibu Zures Gustiabani B, Eng., M.SC. Selaku Dosen Pembimbing II atas segala, kebaikan, arahan, dan pengetahuan yang beliau berikan kepada penulis, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan sebaik mungkin.
5. Kedua orang tua saya yang saya cintai, dan selalu memberikan dukungan, kasih sayang serta doa yang tiada henti.
6. Seluruh Dosen dan Staff Universitas Riau Kepulauan Batam yang banyak membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan namanya
7. Sahabat dan teman-teman terbaik penulis yang ikut campur tangan dalam membantu penulis untuk melakukan penelitian, semoga kebbaikannya dibalas dengan pahala dan sukses buat kita kedepannya.

8. Teman-teman dari teknik sipil yang telah memberi saran maupun semangat.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, saya berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi saya sendiri maupun bagi pembaca, serta dapat menjadi dasar yang baik dalam pelaksanaan penelitian selanjutnya.

Batam, 29 Juli 2026

ABSTRAK

Tanah lempung memiliki daya dukung yang rendah serta kompresibilitas yang tinggi sehingga berpotensi mengalami penurunan akibat proses konsolidasi. Salah satu upaya untuk memperbaiki karakteristik tanah adalah dengan memanfaatkan *bottom ash* sebagai bahan stabilisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap kepadatan dan karakteristik konsolidasi tanah lempung.

Penelitian dilakukan menggunakan sampel tanah dari kawasan Temiang, Batam, dengan variasi campuran *bottom ash* sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisik tanah, *Standard Proctor Test*, dan uji konsolidasi satu dimensi mengacu pada ASTM D2435. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air optimum (OMC), berat volume kering maksimum (MDD), angka pori, indeks kompresi (C_c), tekanan prakonsolidasi (P_c), dan koefisien konsolidasi (C_v).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah yang digunakan termasuk tanah lempung plastisitas rendah (CL) berdasarkan klasifikasi USCS dan kelompok A-2-6 berdasarkan AASHTO. Tanah asli memiliki kadar air optimum sebesar 13% dan berat volume kering maksimum sebesar 1,594 gr/cm³. Penambahan *bottom ash* meningkatkan kepadatan tanah, dengan nilai MDD tertinggi sebesar 1,701 gr/cm³ pada campuran 30%. Secara keseluruhan, variasi *bottom ash* 30% memberikan karakteristik konsolidasi yang paling baik dibandingkan variasi lainnya, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan kualitas tanah lempung.

Kata kunci: *bottom ash*, stabilisasi tanah, tanah lempung, konsolidasi, *Standard Proctor*.

ABSTRACT

Clay soil generally has low bearing capacity and high compressibility, making it susceptible to settlement due to the consolidation process. One method to improve its engineering properties is by utilizing *bottom ash* as a soil stabilization material. This study aimed to determine the effect of *bottom ash* addition on the compaction characteristics and consolidation behavior of clay soil.

The research was conducted using clay soil collected from Temiang, Batam, with *bottom ash* contents of 0%, 10%, 20%, and 30% by weight of dry soil. Laboratory testing included physical properties tests, the Standard Proctor compaction test, and a one-dimensional consolidation test in accordance with ASTM D2435. The analyzed parameters consisted of Optimum Moisture Content (OMC), Maximum Dry Density (MDD), void ratio, Compression Index (C_c), Preconsolidation Pressure (P_c), and Coefficient of Consolidation (C_v).

The results indicate that the tested soil is classified as low-plasticity clay (CL) according to the Unified Soil Classification System (USCS) and as A-2-6 according to the AASHTO classification system. The natural soil exhibited an Optimum Moisture Content (OMC) of 13% and a Maximum Dry Density (MDD) of 1.594 g/cm³. The addition of *bottom ash* increased the dry density of the soil, with the highest MDD of 1.701 g/cm³ obtained at the 30% *bottom ash* mixture. Overall, the 30% *bottom ash* mixture provided the most favorable consolidation characteristics compared with the other mixtures, indicating that *bottom ash* has good potential as a stabilization material for improving the engineering properties of clay soil.

Keywords: *bottom ash*, soil stabilization, clay soil, consolidation, Standard Proctor.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PERBAIKAN SEMINAR SKRIPSI.....	iii
PERSETUJUAN AKHIR SKRIPSI.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Tanah	6
2.2 Klasifikasi Tanah.....	6
2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir.....	8
2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified	8
2.2.3 Sistem Klasifikasi AASHTO.....	10

2.3	Tanah Lempung.....	14
2.4	Stabilitas Tanah	14
2.4.1	Stabilitas Mekanik.....	15
2.4.2	Stabilitas Menggunakan Bahan Tambahan	15
2.5	Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	16
2.5.1	Kadar Air Tanah	16
2.5.2	Berat Jenis	17
2.5.3	Batas Konsistensi Tanah.....	18
2.6	<i>Bottom ash</i>	20
2.7	Konsolidasi Tanah.....	20
2.7.1	Analogi Konsolidasi Satu Dimensi	21
2.7.2	Grafik Angka Pori – Tekanan.....	22
2.7.3	Grafik Akar Waktu	25
2.8	Penelitian sebelumnya.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Pengujian Kadar Air (<i>Water Moisture Content</i>).....	30
3.1.1	Mix Desain.....	30
3.2	Pengujian Berat Jenis Tanah (<i>Specific Gravity</i>).....	30
3.3	Pengujian Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	30
3.4	Pengujian Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	31
3.5	Pengujian Batas Susut (<i>Shrinkage Limit</i>).....	31
3.6	Pengujian Analisa Saringan (<i>Sieve Analysis</i>)	31
3.7	Pengujian Pemadatan (<i>Standard Proctor</i>).....	31
3.8	Pengujian Konsolidasi.....	32
3.8.1	Alat yang Digunakan.....	32

3.8.2	Benda Uji yang Digunakan	33
3.8.3	Prosedur Pengujian.....	33
3.9	Perhitungan dan Analisis.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1	Pendahuluan	38
4.2	Hasil Pengujian Sifat-Sifat Tanah	38
4.2.1	Menentukan Nilai Kadar Air Optimum dan Volume Kering Maksimum.....	39
4.2.2	Kandungan Meneral Pada <i>Bottom ash</i>	41
4.3	Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi	43
4.3.1	Analisis Hubungan Angka Pori dengan Tekanan.....	44
4.3.2	Analisis Nilai Δh Pada Akhir Pembebanan	48
4.3.3	Analisis Nilai Prakonsolidasi	50
4.3.4	Analisis Koefisien Konsolidasi	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Batas – batas Atterberg untuk Sub Kelompok A-4,A-5,A-6, dan A-7	12
Gambar 2. 2 Batas Atterberg Untuk Kelompok A-4,A-5,A-6 dan A-7.....	13
Gambar 2. 3 Massa Jenis Air.....	18
Gambar 2. 4 Alat Oedometer	21
Gambar 2. 5 Grafik Angka Pori Vs Tekanan.....	24
Gambar 2. 6 Grafik Akar Waktu	25
Gambar 3. 1 Spesifikasi Alat Oedometer	32
Gambar 3. 2 Alat-Alat Konsolidasi	33
Gambar 3. 3 Proses Pembuatan Sampel Konsolidasi.....	34
Gambar 3. 4 Proses Pengujian Konsolidasi	35
Gambar 4. 1 Nilai OMC dan MDD Campuran <i>Bottom ash</i> 0%.....	40
Gambar 4. 2 Nilai OMC dan MDD Campuran <i>Bottom ash</i> 10%.....	40
Gambar 4. 3 Nilai OMC dan MDD Campuran <i>Bottom ash</i> 20%.....	41
Gambar 4. 4 Nilai OMC dan MDD Campuran <i>Bottom ash</i> 30%.....	41
Gambar 4. 5 <i>Bottom ash</i>	42
Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara tegangan dan angka pori setiap sampel	46
Gambar 4. 7 Grafik hubungan Persentase Campuran dan Indeks Compresi	47
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Persentase Campuran dan Nilai Akhir Perubahan Tinggi	49
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan e vs $\log P$ Untuk Menentukan Nilai P_c Sampel 20%	50
Gambar 4. 10 Grafik Nilai Prakonsolidasi Setiap Sampel	51
Gambar 4. 11 Grafik Penurunan Konsolidasi	53
Gambar 4. 12 Grafik hubungan Koefisien Konsolidasi Setiap Sampel	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Campuran Tanah dan <i>Bottom ash</i>	30
Tabel 4. 1 Nilai Output Pengujian Propertis Tanah.....	38
Tabel 4. 2 Tabel Nilai OMC dan MDD (Hasil Penelitian).....	39
Tabel 4. 3 Kandungan Mineral <i>Bottom ash</i>	42
Tabel 4. 4 Data Sampel Setelah Pengujian Konsolidasi (Dokumen Penelitian) ...	44
Tabel 4. 5 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli (Dokumen Penelitian)	44
Tabel 4. 6 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli + <i>Bottom ash</i> 10%	45
Tabel 4. 7 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli + <i>Bottom ash</i> 20%	45
Tabel 4. 8 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli + <i>Bottom ash</i> 30%	45
Tabel 4. 9 Nilai Indeks Compresi (Cc) Pada Setiap Sampel (Dokumen Penelitian)	47
Tabel 4. 10 Nilai Perubahan Tinggi Akhir Sampel (Dokumen Penelitian)	48
Tabel 4. 11 Nilai Prakonsolidasi (Pc) Pada Setiap Sampel (Dokumen Penelitian)	51
Tabel 4. 12 Pembacaan Dial Sampel 30% di Beban 0,5 Kg (Dokumen Penelitian)	52
Tabel 4. 13 Nilai Koefisien Konsolidasi Setiap Sampel (Dokumen Penelitian)...	54

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli	60
Lampiran 2 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli + Bottom ash 10%	60
Lampiran 3 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli + Bottom ash 20%	61
Lampiran 4 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli + Bottom ash 20%	61
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli	62
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli + Bottom ash 10%	62
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli + Bottom ash 20%	63
Lampiran 8 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli + Bottom ash 30%	63
Lampiran 9 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 0,50 Kg	64
Lampiran 10 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 1 Kg	64
Lampiran 11 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 2 Kg	65
Lampiran 12 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 4 Kg	65
Lampiran 13 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 8 Kg	66
Lampiran 14 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 10% Pembebanan 0,50Kg.....	66
Lampiran 15 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 10% Pembebanan 1Kg.....	67
Lampiran 16 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 10% Pembebanan 2Kg.....	67
Lampiran 17 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 10% Pembebanan 4Kg.....	68
Lampiran 18 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 10% Pembebanan 8Kg.....	68

Lampiran 19 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 20% Pembebanan 0,50Kg.....	69
Lampiran 20 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 20% Pembebanan 1Kg.....	69
Lampiran 21 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 20% Pembebanan 2Kg.....	70
Lampiran 22 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 20% Pembebanan 4Kg.....	70
Lampiran 23 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 20% Pembebanan 8Kg.....	71
Lampiran 24 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 30% Pembebanan 0,50Kg.....	71
Lampiran 25 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 30% Pembebanan 1Kg.....	72
Lampiran 26 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 30% Pembebanan 2Kg.....	72
Lampiran 27 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 30% Pembebanan 4Kg.....	73
Lampiran 28 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+Bottom ash 30% Pembebanan 8Kg.....	73
Lampiran 29 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Tanah Asli	74
Lampiran 30 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Campuran Tanah dan Bottom ash 10%	74
Lampiran 31 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Campuran Tanah dan Bottom ash 20%	75
Lampiran 32 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Campuran Tanah dan Bottom ash 30%	75
Lampiran 33 Data Mineral Bottom ash Hasil Uji Laboratorium	76
Lampiran 34 Gambar Campuran Tanah + Bottom ash	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsolidasi adalah salah satu peristiwa dalam ilmu mekanika tanah yang sering terjadi ditemukan pada situasi penimbunan khususnya tanah yang lunak. Pengurangan rongga pori tanah dapat menyebabkan penurunan tanah yang disebabkan oleh peristiwa atau proses tertentu, dampak dari pemberian beban atau kenaikan beban eksternal yang sedang berlangsung. Pemberian beban pada tanah tersebut mengakibatkan peningkatan tegangan, tegangan yang bekerja pada tanah pada awalnya dibawa oleh air ke dalam pori tanah karena karakteristik tidak dapat ditekan (tak termampatkan) pada air. Hal ini akan menyebabkan air pori tanah mengalir keluar dan hasilnya penurunan konsolidasi terjadi karena berkurangnya volume tanah.

Beberapa tindakan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut: meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga mengurangi rongga pori yang timbul, menambah bahan untuk perubahan kimiawi atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah, mengganti tanah yang buruk. Banyak material yang dapat digunakan sebagai stabilisator tanah seperti semen, kapur, limbah karbit, *fly ash*, *zeolite*, *bottom ash*, abu sekam padi, abu sekam tebu, silicafume.

Tanah lempung dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki karakteristik yang sangat khas dan sering menimbulkan permasalahan dalam dunia konstruksi. Tanah ini memiliki ukuran butir yang sangat halus, permeabilitas rendah, serta sifat plastisitas dan kompresibilitas yang tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan air pori di dalam tanah lempung sulit keluar, sehingga proses konsolidasi berlangsung sangat lambat namun menghasilkan penurunan yang besar. Selain itu, tanah lempung juga memiliki daya dukung yang rendah dan sifat kembang-susut yang tinggi akibat perubahan kadar air.

Penelitian yang dilakukan saat ini menggunakan penambahan bahan material *bottom ash*. *Bottom ash* limbah padat hasil pembakaran batu bara yang berasal dari dasar tungku (boiler) pembangkit listrik, yang digunakan sebagai bahan campuran (stabilisasi) tanah untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanis tanah. *Bottom ash* yang digunakan untuk pencampuran diambil dari PLTU yang ada di Tanjung Balai Karimun. Penambahan *bottom ash* bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* pada uji konsolidasi dengan kadar presentase bervariasi.

Pertama, secara teknis, *bottom ash* memiliki struktur butiran yang kasar, tidak plastis, serta memiliki porositas yang tinggi. Karakteristik ini memungkinkan *bottom ash* untuk meningkatkan permeabilitas tanah lempung, sehingga mempercepat keluarnya air pori dan mempercepat proses konsolidasi. Selain itu, pencampuran *bottom ash* dapat mengurangi plastisitas tanah serta meningkatkan kepadatan dan stabilitas tanah.

Kedua, dari segi lingkungan, pemanfaatan *bottom ash* merupakan salah satu upaya pengelolaan limbah industri yang lebih ramah lingkungan. Limbah pembakaran batu bara yang tidak dimanfaatkan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan, sehingga penggunaannya sebagai bahan stabilisasi tanah menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa besar perubahan kadar air dan kepadatan kering tanah yang distabilisasi dengan *bottom ash*?
2. Bagaimana pengaruh kepadatan antara tanah sebelum dan sesudah penambahan *bottom ash*?
3. Apa saja perbedaan yang terjadi terhadap nilai konsolidasi tanah dengan variasi campuran *bottom ash*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap kepadatan tanah dengan pengujian *standard proctor*.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan kepadatan tanah sebelum dan sesudah penambahan *bottom ash*.
3. Mengetahui perbedaan nilai konsolidasi tanah yang dicampur dengan *bottom ash* dan dipadatkan dengan *standard proctor* test.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang pengaruh penambahan *bottom ash* pada tanah terhadap nilai kepadatan tanah.
2. Memberikan nilai perbandingan konsolidasi pada tanah tanpa campuran dan tanah campuran dengan *Standard Proctor*.
3. Menambah pengetahuan dalam bidang Mekanika Tanah, khususnya terkait perilaku konsolidasi tanah yang distabilisasi menggunakan *bottom ash*.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah pada penelitian ini adalah:

1. *Bottom ash* yang digunakan adalah *bottom ash* yang di dapat dari PLTU Karimun.
2. Sampel tanah yang digunakan merupakan tanah yang berasal dari hasil galian di kedalaman 0 sampai dengan 1 meter di lokasi samping Wisata Mata Kucing, Temiang, Batam Kota , Kepulauan Riau dan penelitian dilakukan di Labororium CV. Soil Tech Engineering Nusantara, Batam, Kepulauan Riau.
3. Pengujian konsolidasi hanya menggunakan acuan metode dari ASTM D2435.

4. Penelitian yang dilakukan di laboratorium hanya meliputi Uji Propertis (Kadar Air, Berat Jenis Tanah, Batas Atterberg, Analisa Saringan) dan Uji Pemadatan Standar Proctor Test (Berat Volume Kering Maksimum) dan Kadar air Optimum dan pengujian konsolidasi.
5. Campuran *bottom ash* yang digunakan 10%,20%,30%.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium penyelidikan tanah , CV. Soil Tech Engineering Nusantara, Batam, Kepulauan Riau dan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan dengan menggunakan sampel tanah hasil galian di kedalaman 0 sampai dengan 1 meter di lokasi lokasi samping Wisata Mata Kucing, Temiang, Batam Kota , Kepulauan Riau.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, peta lokasi pengambilan sampel tanah, keaslian kajian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan tentang pengertian tanah, tanah laterit, material penyusun tanah, klasifikasi tanah, sifat fisik tanah, sifat mekanis tanah, stabilisasi tanah menggunakan *bottom ash* serta penelitian terdahulu.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi mengenai bagan alur pengujian sampel tanah, bahan penelitian yang digunakan, tempat penelitian, persiapan alat dan pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil pengujian laboratorium dan pembahasan mengenai pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap sifat fisik tanah, hasil pemadatan, serta parameter konsolidasi

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2002:1).

Dalam bidang Mekanika Tanah, tanah didefinisikan sebagai material yang berfungsi sebagai media pendukung beban konstruksi. Menurut Das (1995), tanah adalah agregat mineral yang tidak terikat secara kimiawi satu sama lain dan terbentuk melalui proses pelapukan, sehingga sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh ukuran butir, struktur, serta kandungan air di dalamnya.

Sifat-sifat tanah yang penting dalam analisis teknik meliputi kuat geser, kompresibilitas, permeabilitas, dan plastisitas. Keempat sifat ini sangat menentukan perilaku tanah dalam menerima beban serta kestabilannya sebagai lapisan pendukung konstruksi.

Menurut Das (1995), tahun sifat mekanis tanah seperti kuat geser dan kompresibilitas merupakan parameter utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan geoteknik, karena berhubungan langsung dengan daya dukung tanah dan besarnya penurunan.

2.2 Klasifikasi Tanah

Menurut Hardiyatmo (2012:58) umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti:

- a. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi.
- b. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy dan jaring arus (*flownet*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
- c. Mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dasar sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun sub kelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Klasifikasi tanah membantu perancang dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979 dalam Hardiyatmo, 2012).

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifatsifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari sistem *Unified* pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (United State Bureau of Reclamation). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Meskipun memiliki kelemahan-kelemahan, klasifikasi tanah atas dasar karakteristik ukuran butiran digunakan secara luas terutama untuk uraian pendahuluan atau umum. Penentuan nama tanah misalnya “lanau” atau “lempung” membedakan fraksi-fraksi ukuran butir merupakan hal yang biasa dilakukan sehubungan dengan klasifikasi semacam itu. Dalam banyak hal, catatan-catatan yang menyangkut tanah dan perilakunya mengandung tidak lebih daripada hasil hasil analisis mekanik untuk fraksi berbutir kasar dan presentasi total yang lolos ayakan nomor 200.(Terzaghi & Peck, 1993:29).

Penentuan tanah dengan nama unsur penyusun utamanya dimungkinkan dengan menggambar diagram yang dipakai Biro Jalan Umum (Bureau of Public Road). (Rose 1924). Dalam diagram ini masing9 masing dari ketiga sumbu koordinat menyatakan salah satu dari fraksifraksi ukuran butir yang diaktan sebagai pasir, lanau, dan lempung (Terazaghi & Peck, 1993: 30-31).

2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified

Pada Sistem Klasifikasi Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan 200.

Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam symbol. Simbol yang digunakan adalah:

G	= Kerikil (<i>Gravel</i>)
S	= Pasir (<i>Sand</i>)
C	= Lempung (<i>Clay</i>)
M	= Lanau (<i>Silt</i>)
O	= Lanau atau lempung Organik (<i>Organic Silt Or Clay</i>)

Pt	= Tanah Gambut dan Tanah Organik Tinggi (<i>Peat Highly OrganSoil</i>)
W	= Gradasi Baik (<i>Well-Graded</i>)
P	= Gradasi Buruk (<i>Poorly-Graded</i>)
H	= Plastisitas Tinggi (<i>Hight-Plasticity</i>)
L	= Plastisitas Rendah (<i>Low-Plasticity</i>)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah system Unified adalah sebagai berikut:

1. Menentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a. Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - d. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, uji batas-batas Atterberg dilakukan dengan memisahkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan

diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM SC).

3. Jika tanah berupa butiran halus
 - a. Mengerjakan uji batas-batas Atterberg dengan memisahkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 - b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, menentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MK). Jika plotnya jatuh di atas garis A, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai CH.
 - c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, kemudian menentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasarkan warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
 - d. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, digunakan simbol dobel.

2.2.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok tanah–tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Indeks kelompok (group index) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \dots \dots (2.1)$$

Dengan,

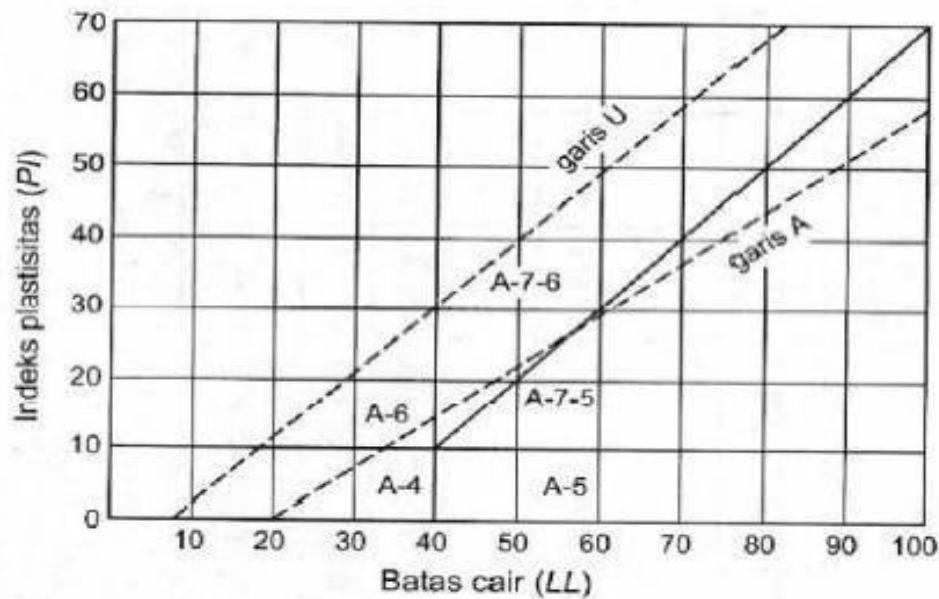
GI = Indeks Kelompok (*Group Index*)

F = Persen Butiran Lolos Saringan no.200 (0,075mm)(%)

LL = Batas Cair (%)

PI = Indeks Plastisitas (%)

Apabila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg. Gambar 1 dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 2. 1 Batas – batas Atterberg untuk Sub Kelompok A-4,A-5,A-6, dan A-7

(Hardiyatmo, 2002:62)

Dalam gambar 2.1 garis-A dari Casagrande digambarkan bersama-sama dengan garis U yang dinyatakan oleh persamaan: $PI = 0,9(LL - 8)$. Garis U ini adalah garis batas atas dari hubungan LL dan PI untuk tanah-tanah di alam pada umumnya (Holtz dan Kovacs, 1981 dalam Hary Christady Hardiyatmo, 2012:66). Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (peat) diletakkan dalam kelompok A-8.

Klasifikasi umum	Material <i>granuler</i> ($<35\%$ lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung ($> 35\%$ lolos saringan no.200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				
Analisis saringan (% lolos)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,00 mm (no. 10)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
0,075 mm (no. 200)										
Sifat fraksi lolos saringan no.40										
Batas cair	-	-	-	40 maks	41 maks	40 maks	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastis	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	10 maks	11 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (GI)	0	0	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil da pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir			Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk			

Gambar 2. 2 Batas Atterberg Untuk Kelompok A-4,A-5,A-6 dan A-7

(Hardiyatmo, 2012;66)

2.3 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang memiliki ukuran mikrokonis hingga ukuran sub mikrokonis yang tersusun dari pelakuran unsur-unsur kimiawi buatan (*Terzaghi, 1987*), sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak dan plastis, dan kohesif.

Tanah lempung mempunyai sifat mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Klasifikasi mineral lempung terdapat 15 macam, antara lain: montmorillonite, illite, kaolinite, polygorskite, chlorite, vermiculite, dan halloysite.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung, (*Hardiyatmo, 1992*) antara lain:

1. Ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm
2. Rendahnya permeabilitas
3. Kandungan air kapiler yang tinggi
4. Sifat kohesif tanah tinggi
5. Tingginya konsolidasi susut
6. Lambatnya konsolidasi tanah

2.4 Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah menambah kapasitas dukung tanah dan kenaikan kekuatan yang akan diperhitungkan pada proses perancangan tebal perkerasan. Karena itu, stabilitas tanah membutuhkan metode modifikasi tanah. Beberapa cara stabilitas tanah, misalnya: pemadatan, mencampur tanah dengan bahan granuler, menggunakan tulangan atau perkuatan (seperti geosintetik), penggalan dan penggantian tanah, dan lain-lain, serta pemroses tanah secara kimia, seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu-terbang, aspal dan lain-lain (*Hardiyatmo, 2010 dalam Atmoko 2015*).

Menurut *Hardiyatmo, (2010)*, tipe-tipe stabilisasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

2.4.1 Stabilitas Mekanik

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan dilokasi proyek, dipabrik atau ditempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan dilokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk ditempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.

Menurut Lambe (1962) dalam Hardiyatmo (2010), stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah:

- a. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
- b. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Biaya yang dikeluarkan untuk menambah atau menyingkirkan ini umumnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan metode stabilisasi yang lain. Contohnya, lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung tanah dasar dari proyek jalan tertentu.

2.4.2 Stabilitas Menggunakan Bahan Tambahan

Bahan-bahan additives adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh-contoh bahan tambah adalah: kapur, semen portland, *bottom ash*, *fly ash*, dan lain-lain.

Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah atau sering disebut juga stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan

perbandingan tertentu. Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Apabila pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudahan dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan tambah sedikit. Akan tetapi, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik.

2.5 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah merupakan sifat tanah yang berhubungan dengan bentuk/kondisi tanah asli, yang termaksud diantaranya adalah tekstur, struktur, bobot isi tanah, porositas, stabilitas, konsistensi, warna maupun suhu tanah dan lain lain. sifat tanah berperan dalam aktivitas perakaran tanaman, baik dalam hal absorpsi unsur hara, air maupun oksigen juga sebagai pembatas gerakan akar tanaman (Kurnia, 2006).

Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut;

2.5.1 Kadar Air Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah. Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan 2.2, dengan rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{(w_3 - w_2)}{(w_2 - w_1)} \times 100\% \dots \dots \dots 2.2$$

Keterangan:

W = Kadar Air Tanah (%)

W1 = Berat Cawan Kosong (gr)

W2 = Berat Cawan + Tanah Basah (gr)

W3 = Berat Cawan + Tanah Kering (gr)

2.5.2 Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5° C (ASTM D 854 – 83).

a. Berat Jenis Tanah pada Suhu t °C

Berat jenis tanah pada suhu t °C dapat dihitung dengan persamaan 2.3 yaitu sebagai berikut:

$$G = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan;

W1 = Berat Piknometer Kosong (gr)

W2 = Berat Piknometer Kosong + Tanah Kering (gr)

W3 = Berat Piknometer Kosong + Tanah + Air (gr)

W4 = Berat Piknometer Kosong + Air (gr)

b. Berat Jenis pada Temperatur 27,5 °C

$$G(27,5^\circ) = G(t^\circ) \frac{\text{Berat Jenis Air Pada } t^\circ C}{\text{Berat Jenis Air Pada } 27,5^\circ C} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

G = Berat Jenis Tanah

Temperatur ($t^{\circ}C$)	Berat Jenis	Temperatur ($t^{\circ}C$)	Berat Jenis
20	0,9982	31	0,9954
21	0,9980	32	0,9951
22	0,9978	33	0,9947
23	0,9976	34	0,9944
24	0,9973	35	0,9941
26	0,9971	36	0,9937
27	0,9968	37	0,9934
27,5	0,9965	38	0,9930
28	0,9963	39	0,9926
29	0,9960	40	0,9922
30	0,9957		

Gambar 2. 3 Massa Jenis Air

(Hardiyatmo, 2012)

2.5.3 Batas Konsistensi Tanah

Batas konsistensi tanah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Batas Cair (LL)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis, batas cair untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40 (ASTM D –423 – 66).

2. Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas (PI)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastisitas. Batas plastisitas adalah kadar air minimum suatu tanah dalam keadaan plastisitas (ASTM D 424 – 74). Indeks plastisitas dapat dihitung dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

PI = Indeks Plastisitas (%)

LL = Batas Cair (%)

PL = Batas Plastis (%)

3. Batas Susut

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut tanah adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam keadaan semi solid, dan juga merupakan batas antara keadaan semi solid dan solid (ASTM D 427 – 74).

Bila benda uji telah diketahui nilai berat jenisnya, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 2.6, sebagai berikut:

$$SL = \frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

SL = Berat Susut Tanah (%)

W0 = Berat Benda Uji Setelah Kering (gr)

V0 = Volume Benda Uji Setelah Kering (cm3)

G = Berat Jenis Tanah

Apabila nilai berat jenisnya belum diketahui, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 2.7, sebagai berikut:

$$SL = \left(W - \frac{V - V_o}{V_o} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

SL = Berat Susut Tanah (%)

W = Kadar Air Tanah Basah Yang diisikan pada Cawan

W0 = Berat Benda Uji Setelah Kering (gr)

V = Volume Benda Uji Basah = Volume Cawan (cm3)

V = Volume Benda Uji Setelah Dikeringkan (cm3)

2.6 *Bottom ash*

Bottom ash merupakan limbah padat hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik atau industri yang mengendap di bagian bawah tungku (boiler). Material ini berukuran lebih kasar dibandingkan *fly ash* karena tidak terbawa bersama gas buang. Menurut Santoso dkk. (2004), *bottom ash* adalah material granular hasil pembakaran batu bara yang jatuh ke dasar tungku, sedangkan Setiawan (LIPI) menyatakan bahwa *bottom ash* merupakan residu pembakaran yang mengendap di bagian bawah dan berbeda dengan *fly ash* yang terbawa udara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, *bottom ash* termasuk limbah sisa pembakaran batu bara yang dapat dimanfaatkan kembali dengan pengelolaan tertentu.

Secara umum, *bottom ash* memiliki karakteristik berbutir kasar, berwarna abu-abu gelap hingga hitam, tidak plastis, serta memiliki porositas yang tinggi. Sifat tersebut menjadikan *bottom ash* berpotensi digunakan dalam bidang teknik sipil, seperti material timbunan, campuran beton, lapisan dasar jalan, serta sebagai bahan stabilisasi tanah.

Dalam kaitannya dengan konsolidasi tanah, penambahan *bottom ash* dapat meningkatkan kemampuan drainase tanah karena struktur butirannya yang kasar. Hal ini membantu mempercepat keluarnya air pori, sehingga proses konsolidasi berlangsung lebih cepat dan meningkatkan kepadatan serta stabilitas tanah.

2.7 **Konsolidasi Tanah**

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan. dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Proses konsolidasi dapat diamati dengan pemasangan piezometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya. Besarnya

penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu. (Hardiyatmo, 2012).

Suatu lapisan tanah jenuh jika diberi penambahan beban, maka angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang sangat tembus air (permeable), air akan mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar akibat dari penambahan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air pori dalam tanah selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah dan akan menyebabkan penurunan pada lapisan tanah tersebut. Karena air pori dalam tanah berpasir dapat mengalir dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

2.7.1 Analogi Konsolidasi Satu Dimensi

Menurut Moeno (2008), pengujian konsolidasi satu dimensi (one dimensional consolidation) biasanya dilakukan di laboratorium dengan alat oedometer atau konsolidometer. Pengujian oedometer atau yang lebih luas dikenal sebagai pengujian konsolidasi ekamatra adalah pengujian laboratorium untuk mendapatkan parameter konsolidasi yang akan dipakai sebagai data masukan dalam analisa penurunan pondasi.

Dalam hal ini, maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat tanah apabila tanah tersebut mendapatkan beban tambahan, sifat tanah yang dimaksud adalah perubahan void ratio yang terjadi apabila tanah dibebani dan waktu yang diperlukan untuk proses konsolidasi tanah untuk beban tertentu.



Gambar 2. 4 Alat Oedometer

(Dokumen Pribadi, 2026)

2.7.2 Grafik Angka Pori – Tekanan

Data yang diperoleh dari suatu pengujian konsolidasi disajikan dalam bentuk penurunan (pembacaan alat ukur) terhadap waktu. Pembacaan penurunan dikonversikan dengan perhitungan menjadi angka pori sehingga menggunakan luas contoh penambahan beban. Penambahan beban pada awalnya akan menghasilkan keadaan tegangan total dengan air pori yang menahan sebagian besar beban yang bekerja. Sesudah waktu tertentu, angka pori yang berlebihan akan hilang lewat drainase.

Berikut merupakan tahapan dalam perhitungan untuk membuat grafik angka pori – tegangan (Das, 1995)

1. Tentukan berat jenis (G_s) dari contoh tanah yang dicari dari pengujian tersendiri.
2. Hitung berat tanah basah, berat isi, kadar air contoh sebelum dan sesudah pembebanan, dan hitung pula berat tanah keringnya (W_s).
3. Hitung tinggi efektif contoh tanah dengan rumus sebagai berikut :

$$H_s = \frac{W_s}{A \cdot G_s} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimasa :

H_s = Tinggi efektif benda uji

A = Luas benda uji

W_s = Berat contoh tanah kering

G_s = Berat jenis tanah

4. Hitung angka pori semula

$$e_o = \frac{H_v}{H_s} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

H_v = Tinggi Pori ($H_i - H_s$)

5. Hitung angka pori mula-mula pada setiap pembebanan

$$\Delta e = \frac{\Delta H}{H_s} \dots \dots \dots (2.10)$$

6. Hitung angka pori mula-mula pada setiap pembebanan

$$e = e_o - \Delta_o \dots \dots \dots (2.11)$$

7. Hitung angka pori yang baru, setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan P1

$$e_1 = e_o - \Delta e_1$$

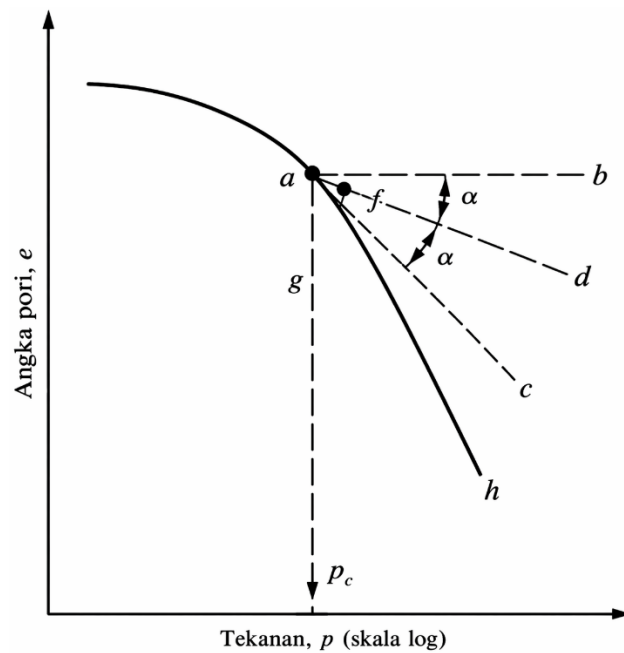
8. Hitung nilai indeks compresi (Cc). Buat grafik hubungan antara angka pori (e) dengan log tekanan. Kemiringan grafik ini adalah nilai indeks compresi

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta(\log_{10} P)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Atau

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log P_2 - \log P_1} \dots \dots \dots (2.13)$$

9. Untuk mendapatkan nilai prakonsolidasi (Pc) menggunakan acuan casagrande-1936 dan melalui grafik hubungan angka pori dan tekanan atau e log p.



Gambar 2. 5 Grafik Angka Pori Vs Tekanan

(Das, 1995)

Keterangan :

a = Titik kelengkungan maksimum

b = Garis horizontal melalui titik a

c = Garis singgung ke kurva di titik a

d = Sudut pembagi garis antara garis c dan b

g = perpotongan garis e dan f (tegangan efektif vertikal pada titik sama dengan tekanan prakonsolidasi)

h = garis singgung terhadap bagian linier kurva dalam rentang kompresi

Prosedur pembuatan grafik adalah sebagai berikut:

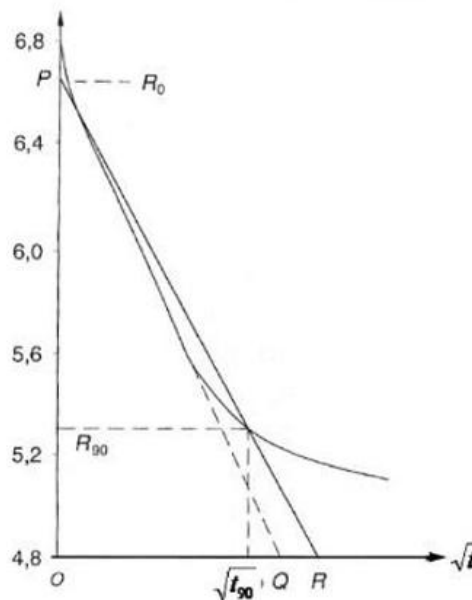
1. Dengan melakukan pengamatan secara visual pada grafik, tentukan titik a di mana grafik e versus log p memiliki jari-jari kelengkungan yang paling minimum.

2. Gambar garis datar ab.
3. Gambar garis singgung ac pada titik a.
4. Gambar garis ad yang merupakan garis bagi sudut bac.
5. Perpanjang bagian grafik e versus $\log p$ yang merupakan garis lurus hingga me-motong garis ad di titik f.
6. Absis untuk titik f adalah besarnya tekanan prakonsolidasi (p_c).

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh. Tekanan total dan angka pori yang sama bersangkutan pada akhir konsolidasi digambar pada grafik logaritma.

2.7.3 Grafik Akar Waktu

Metode akar waktu didasarkan pada waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Cara untuk menentukan nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang akan diperlukan adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 6 Grafik Akar Waktu

(Laksono, 2024)

Keterangan :

1. Hitung tinggi contoh tanah rata-rata (hm) pada setiap pembebanan.
2. Buat grafik penurunan terhadap waktu dari setiap pembebanan (skala biasa). Sebagian grafik ini merupakan garis lurus. Jika garis ini diteruskan akan memotong sumbu y pada titik 0 (titik nol yang sebenarnya) dan memotong sumbu x yang berjarak (a) dari titik perpotongan sumbu.
3. Buat garis PQ, dimana Q terletak pada sumbu x yang akan berjarak 1.15a dari perpotongan salib sumbu. Titik PQ dengan lengkung penurunan adalah t_{90} (waktu untuk mencapai konsolidasi sebesar 90%).
4. Hitung nilai koefisien konsolidasi pada setiap pembebanan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_v = \frac{0,848H_2}{t_{90}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

0,848 = T_v (tim faktor) untuk 90% konsolidasi

C_v = Koefisien Konsolidasi (cm^2/detik) T_{90} 2.8.

H = $\frac{1}{2}$ tinggi benda uji rata – rata (drainase ganda) (cm)

T_{90} = Waktu untuk mencapai 90% konsolidasi (detik)

2.8 Penelitian sebelumnya

Pada saat penelitian ini, berbagai sumber referensi untuk mendukung penelitian ini, berikut beberapa sumber review dari referensi dari penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan konsolidasi tanah.

Laksono (2024) melakukan penelitian tanah yang distabilisasi menggunakan *fly ash* dengan variasi campuran sebesar 5%, 10%, dan 15%, kemudian dilakukan pengujian konsolidasi untuk mengetahui perubahan parameter tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *fly ash*

memberikan pengaruh terhadap sifat tanah, terutama pada nilai kadar air optimum, kepadatan tanah, dan indeks kompresi (C_c). Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa campuran *fly ash* sebesar 10% memberikan hasil yang paling optimal, ditunjukkan dengan nilai indeks kompresi yang paling kecil, yaitu sekitar 0,052 kPa, sehingga menunjukkan penurunan konsolidasi yang lebih kecil dibandingkan campuran lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material limbah seperti *fly ash* dapat meningkatkan kualitas tanah, khususnya dalam mengurangi penurunan akibat konsolidasi.

Rasak (2022) melakukan penelitian tentang analisis koefisien konsolidasi pada tanah lempung yang dicampur dengan semen dan abu ampas tahu. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan semen pada tanah lempung dapat mempengaruhi parameter konsolidasi. Terlihat menurunnya angka pori, meningkatnya koefisien konsolidasi, menurunnya nilai pemampatan dan nilai pemuaian yang terjadi pada tanah lempung dan pengujian parameter konsolidasi menunjukkan bahwa, semakin besar kadar abu ampas tebu yang digunakan untuk stabilisasi tanah lempung yang dicampur semen maka semakin menurun angka pori, semakin besar koefisien konsolidasi (C_v90) yang di dapat pada tiap pembebanan dan menurunnya nilai pemampatan dan pemuaian yang terjadi pada tanah lempung, karena semen dan abu ampas tebu sama-sama memiliki sifat mengikat Sehingga dapat memperbaiki tanah lampung.

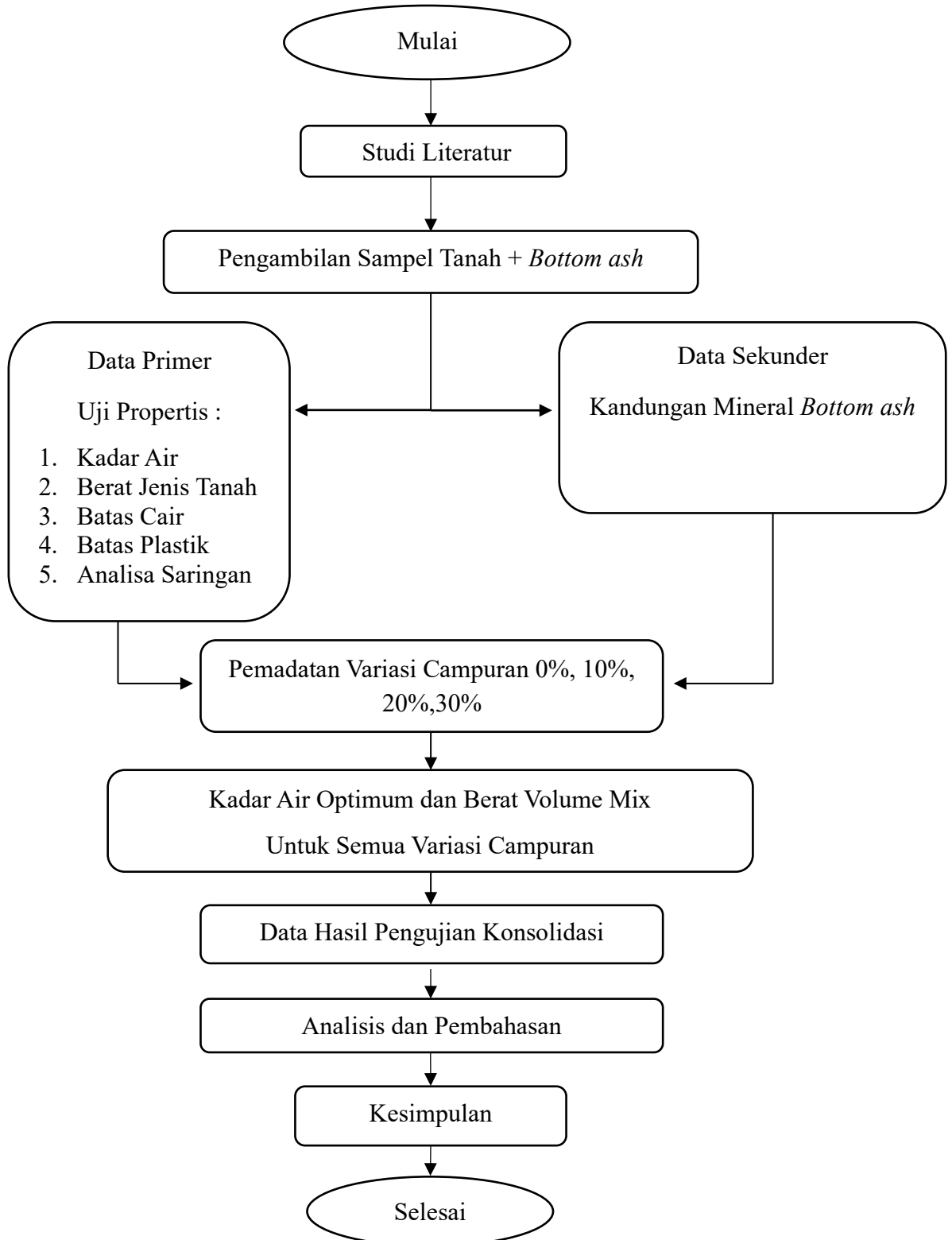
Prabowo (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh stabilisasi tanah menggunakan kapur dan matos terhadap kuat geser dan konsolidasi tanah gambut. penelitian ini dilakukan di laboratorium mekanika tanah, dari hasil menunjukan hasil pengujian konsolidasi pada tanah asli adalah nilai indeks kompresi C_c rata-rata sebesar 0,9686 dan nilai P_c rata-rata sebesar 1,5775 kg/cm². Dari pengujian sampel dengan 10% kapur dari berat tanah kering dan 4%, 6%, 8% matos dari berat kapur yang sudah dilakukan didapat hasil nilai indeks kompresi (C_c) minimal sebesar 0.51405 pada campuran dengan tambahan 10% kapur dan 6% matos, dan nilai P_c sebesar 2,4225.

Rangaswamy (2016) melakukan penelitian berjudul *Influence of Burnt Ash Additives on Stabilisation of Soft Clay Soils* untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap sifat geoteknik tanah lempung lunak. Penelitian menggunakan variasi *bottom ash* sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* dapat meningkatkan koefisien konsolidasi (C_v) dan mempercepat proses konsolidasi tanah, yang ditunjukkan dengan menurunnya waktu konsolidasi (t_{90}). Selain itu, nilai kuat tekan bebas tertinggi diperoleh pada campuran 10% *bottom ash*, yaitu sebesar 159 kPa pada umur pemeraman 28 hari, dibandingkan tanah asli sebesar 50 kPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa *bottom ash* berpotensi digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung dan dapat memengaruhi karakteristik konsolidasi tanah.

Kurniawan, Iswan, dan Setyanto (2015) melakukan penelitian tentang hubungan nilai konsolidasi dan nilai kuat tekan bebas pada tanah lempung yang disubstitusi material pasir. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat perilaku tanah lempung tanpa campuran pasir dan setelah dicampur dengan material pasir yaitu terjadi peningkatan pada nilai koefisien konsolidasi (C_v), penurunan pada nilai indeks pemampatan (C_c) dan koefisien pemampatan (A_v) serta peningkatan pada nilai kuat tekan (q_u) pada tanah lempung tersebut. Nilai peningkatan dan penurunan yang terjadi dari tanah lempung tanpa campuran dan setelah dicampur variasi campuran 10%, 20%, 30% cenderung stabil. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hubungan nilai konsolidasi dan kuat tekan tanah lempung yang disubstitusi dengan material pasir yaitu semakin kecil penurunan yang terjadi maka kuat tekan tanahnya akan semakin besar juga.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



3.1 Pengujian Kadar Air (*Water Moisture Content*)

Kadar air tanah merupakan perbandingan antara massa (berat) air yang terkandung dan massa (berat) kering tanah dalam bentuk satuan persen (%). Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kadar air dalam kandungan suatu tanah. Kadar air suatu tanah merupakan perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dan berat kering tanah, dan hasilnya dinyatakan dalam persen.

3.1.1 Mix Desain

Campuran yang akan dipakai adalah tanah dan *bottom ash* dengan persentase campuran 10%, 20%, 30%.

Tabel 3. 1 Campuran Tanah dan *Bottom ash*

Campuran (%)	Tanah (gr)	<i>Bottom ash</i> (gr)
0	2000	0
10		200
20		400
30		600

3.2 Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah merupakan perbandingan antara berat butir-butir dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama dan pada temperature tertentu. Pengujian berat jenis tanah bertujuan untuk mengetahui angka perbandingan berat isi butiran tanah dengan berat isi air suling dalam piknometer pada volume yang sama dan suhu tertentu.

3.3 Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas cair terhadap tanah dilakukan untuk menentukan batas peralihan antara cair dan plastis. Pengujian batas cair ini digunakan untuk

menentukan konsistensi perilaku material dan sifatnya pada tanah kohesif, dimana konsistensi tanah tergantung dari nilai batas cairnya. Disamping itu, nilai batas cair ini dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks plastisitas tanah yaitu nilai batas cair dikurangi dengan nilai batas plastis.

3.4 Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Pengujian batas plastis dilakukan untuk menentukan batas terendah kadar air ketika tanah dalam keadaan plastis. Tujuan dari pengujian ini adalah mencari kadar air pada batas plastis dari sebuah sampel tanah atau untuk menentukan batas terendah kadar air ketika tanah dalam keadaan plastis, dan angka Indeks Plastisitas suatu tanah.

3.5 Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut dilakukan untuk tujuan menentukan kadar air pada sampel tanah dalam keadaan menyusut setelah kering. Pengujian batas susut ini memiliki tujuan untuk menentukan kadar air pada sampel tanah dalam keadaan menyusut setelah kering dan tidak akan mengalami penyusutan selanjutnya.

3.6 Pengujian Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

Pengujian Analisa saringan bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang digunakan mulai dari yang berdiameter 4,76mm sampai 0,074mm (lolos saringan no.4 dan bertahan saringan no.20) dengan cara mekanis (ASTM D 422 – 72).

3.7 Pengujian Pemadatan (*Standard Proctor*)

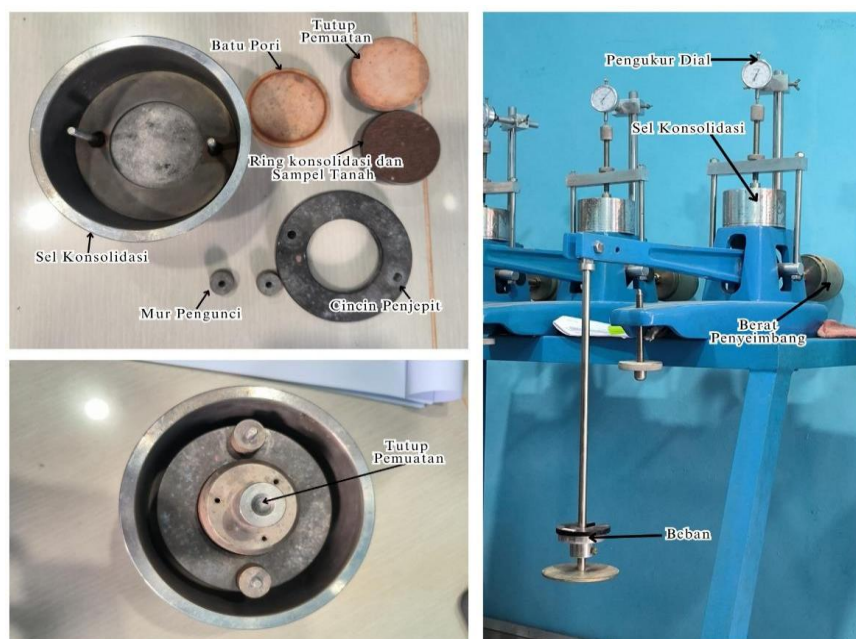
Pengujian pemadatan proctor adalah metode laboratorium untuk menentukan eksperimental kadar air yang optimal dimana suatu jenis tanah tertentu akan menjadi paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum. Maksud percobaan adalah untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan (berat volume kering) tanah apabila dipadatkan dengan tenaga pemadatan tertentu.

3.8 Pengujian Konsolidasi

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai koefisien konsolidasi (C_v), serta sifat pemampatan tanah atau indek kompresi (C_c) suatu jenis tanah, yaitu sifat-sifat perubahan volume dan proses keluarnya air dari dalam tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal pada tanah tersebut.

3.8.1 Alat yang Digunakan

A. Adapun alat yang digunakan untuk tes konsolidasi sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Spesifikasi Alat Oedometer

(Dokumen Pribadi, 2026)

B. Alat yang digunakan untuk membuat sampel konsolidasi sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Alat-Alat Konsolidasi

(Dokumen Pribadi, 2026)

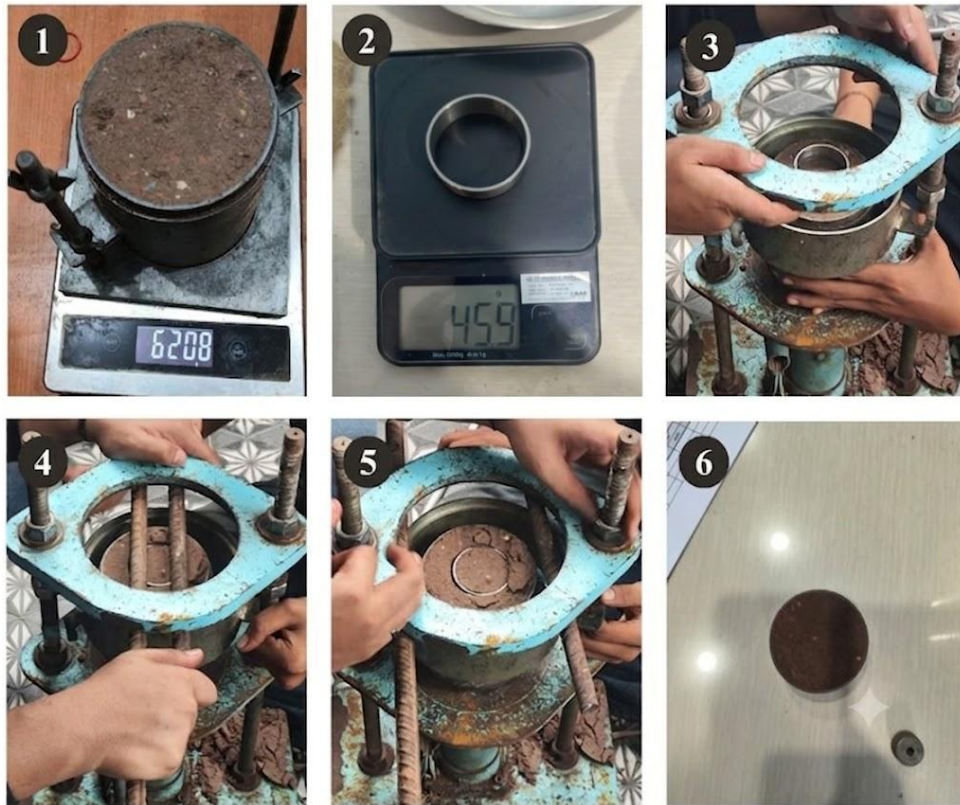
3.8.2 Benda Uji yang Digunakan

Bahan yang digunakan adalah tanah yang terganggu dan dicampurkan dengan *bottom ash* 10%, 20% dan 30%.

3.8.3 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian sebagai berikut:

a. Persiapan benda uji atau pembuatan sampel konsolidasi



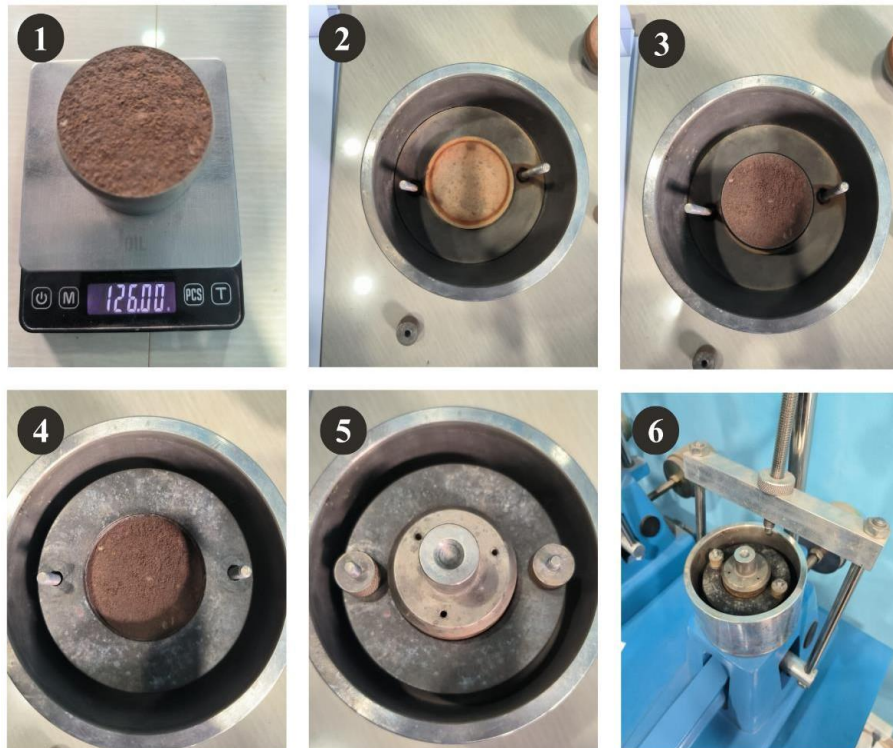
Gambar 3. 3 Proses Pembuatan Sampel Konsolidasi

(Dokumen Pribadi, 2026)

Keterangan :

1. Melakukan pemadatan menggunakan metode *standart proctor* dan menimbang tanah beserta *mould*, setelah itu sampel akan di peram selama 3 hari guna untuk menyatukan partikel-partikel tanah dan *bottom ash*.
2. Menimbang ring konsolidasi sebelum ring digunakan untuk mengambil sampel
3. Mempersiapkan ring konsolidasi sebelum ring digunakan untuk mengambil sampel
4. Proses memasukkan tanah ke dalam ring konsolidasi dengan menekan ring

5. Setelah tanah masuk ke ring, tanah yang ada didalam *mould* di dorong ke luar
 6. Permukaan benda uji harus rata, bila belum dapat di tambal permukaannya baik bagian atas maupun bagian bawah sehingga rata.
- b. Persiapan alat dan penempatan benda uji di sel konsolidasi



Gambar 3. 4 Proses Pengujian Konsolidasi

(Dokumen Pribadi, 2026)

Keterangan :

1. Menimbang benda uji sebelum dimasukkan ke sel konsolidasi
2. Meletakkan batu pori di lapisan dasar sel konsolidasi
3. Memasukkan benda uji ke dalam sel konsolidasi
4. Setelah itu memasukan cincin penjepit.
5. Menempatkan tutup batu pori agar benda uji teragit oleh 2 buah pori dibagian bawah dan atas

6. Meletakkan sel konsolidasi yang sudah berisi benda uji pada alat konsolidasi, sehingga bagian yang runcing dari lengan beban penumpu/penyentuh tepat pada alat perata pembebanan pada sel konsolidasi.
 7. Mengatur kedudukan arloji kemudian dibaca dan dicatat.
 8. Menyentuh pengunci beban pada lengan beban kemudian dipasang pembebanan pertama sebesar $0,25 \text{ kg/cm}^2$. Beban ini belum bekerja karena masih tertahan pengunci lengan beban.
 9. Mengisi sel konsolidasi dengan air sehingga sampel terendam, selama pengujian sel konsolidasi harus tetap penuh dengan air.
- c. Pembebanan dan Pembacaan penurunan
1. Melepas pengunci lengan beban sehingga tekanan pada benda uji sebesar $0,25 \text{ kg/cm}^2$, mulai bekerja dan pada saat itu menghidupkan stopwatch kemudian arloji dibaca pada saat 10 detik, 15 detik, 30 detik, 1 menit, 2 menit, 4 menit, 8 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, 2 jam, 3 jam, 5 jam 30 menit, beban dibiarkan bekerja sampai pembacaan arloji tetap, biasanya cukup sampai 24 jam. Menjaga agar selama pengujian, benda uji selalu terendam air, dengan muka air kira-kira sama tinggi dengan permukaan atas benda uji.
 2. Setelah pembacaan menunjukkan angka yang tetap atau setelah 24 jam, mencatat pembacaan arloji yang terakhir. Kemudian memasang beban yang kedua sebesar dua kali beban sebelumnya, sehingga tekanan menjadi dua kalinya. Membaca arloji sesuai dengan waktu diatas.
 3. Untuk beban-beban selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama. Beban tersebut harus menimbulkan tekanan normal terhadap benda uji masing-masing sebesar $0,25$; $0,50$; 1 ; 2 ; 4 dan 8 kg/cm^2 .
 4. Setelah pembacaan maksimum dan sudah menunjukkan pembacaan tetap mengurangi pembebanan dalam satu Langkah yaitu menjadi 4 kg/cm^2 , 2 kg/cm^2 , 1 kg/cm^2 , $0,5 \text{ kg/cm}^2$, dan $0,25 \text{ kg/cm}^2$.

5. Pada waktu mengurangi beban, setiap pembebanan harus dibiarkan bekerja sekurang-kurangnya selama 2 jam, kemudian mencatat pengembangannya.
6. Setelah pembacaan terakhir dicatat, mengeluarkan cincin dan benda uji dari sel konsolidasi lalu dikeringkan.
7. Mengeluarkan benda uji dari cincin kemudian melakukan pengujian kadar air, dan menghitung berat keringnya serta tinggi sampel kering.

3.9 Perhitungan dan Analisis

Setelah mendapatkan perhitungan dan analisis data hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan. Data yang diperoleh dari pengujian sifat fisik tanah, pemadatan (Standard Proctor), dan konsolidasi akan diolah untuk mendapatkan parameter-parameter penting seperti kadar air, berat jenis, batas Atterberg, nilai kepadatan kering maksimum (MDD), kadar air optimum (OMC), indeks kompresi (Cc), dan koefisien konsolidasi (Cv).

Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan *bottom ash* (0%, 10%, 20%, dan 30%) terhadap perubahan sifat fisik dan mekanis tanah, serta untuk menentukan campuran yang memberikan hasil paling optimal.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Bab ini membahas hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan terhadap sampel tanah lempung dengan penambahan *bottom ash* pada beberapa variasi campuran. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap karakteristik dan perilaku konsolidasi tanah.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian diolah dan dianalisis untuk melihat perubahan parameter tanah pada setiap variasi campuran.

4.2 Hasil Pengujian Sifat-Sifat Tanah

Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai properti indeks dari material tanah yang dijadikan bahan dasar pembuatan benda uji konsolidasi, dimana nilai nilainya tersebut diperoleh dari masing-masing jenis pengujian sifat fisik tanah tersebut.

Tabel 4. 1 Nilai *Output* Pengujian Propertis Tanah

Properties Tanah	Nilai
Kadar Air Asli (%)	23.60
Batas Atterberg	
Batas Cair (%)	34.04
Batas Plastis (%)	23.60
Berat Jenis	2.606
Butiran	
Tanah yang tertahan pada Diameter Saringan 4,75mm(%)	8,70
Tanah yang lolos pada Diameter Saringan 4,75mm (%)	91,30
Tanah yang lolos pada Diameter Saringan 0,075mm (%)	4,34
Klasifikasi AASHTO / USCS	A-2-6 (CL)
Optimum Water Content (OMC) (%)	13%
Maximum Dry Density (MDD) gr/cm ³	1,594

4.2.1 Menentukan Nilai Kadar Air Optimum dan Volume Kering Maksimum

Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai menentukan nilai kadar air optimum dan volume kering maksimum yang dijadikan sebagai patokan pemadatan dan pembuatan sampel konsolidasi, bahan yang di gunakan adalah tanah asli yang belum dicampur dengan *Bottom ash*.

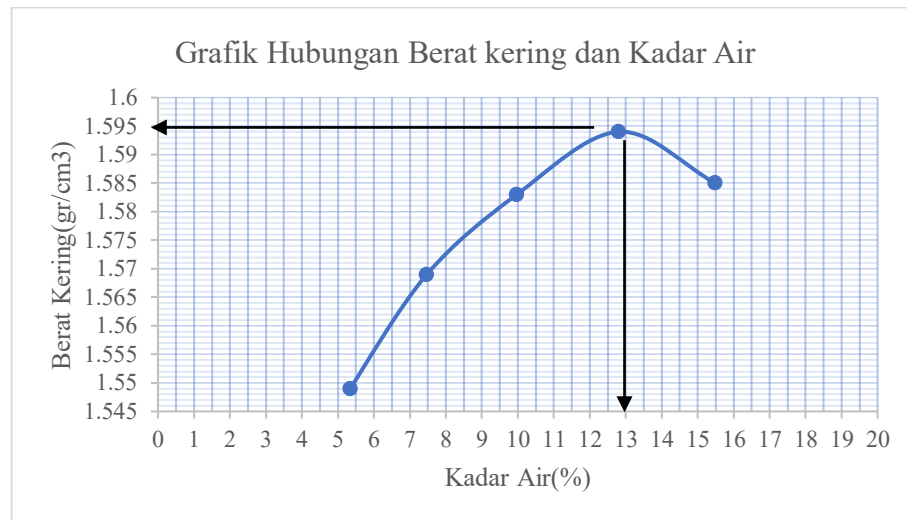
Pada setiap variasi campuran tanah dan *bottom ash*, sampel diberi kadar air yang berbeda kemudian dipadatkan di dalam cetakan Proctor. Nilai OMC dan MDD digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap karakteristik pemadatan tanah lempung. Semakin tinggi nilai volume kering maksimum yang diperoleh, maka semakin baik tingkat kepadatan tanah yang dapat dicapai.

Untuk menentukan nilai kadar air optimum dan volume kering maksimum dapat diketahui dari rekapitulasi nilai kadar air rata-rata dan berat volume kering setiap sampel interval penambahan air, interval penambahan air dapat di lihat dari 4.2. sebagai berikut:

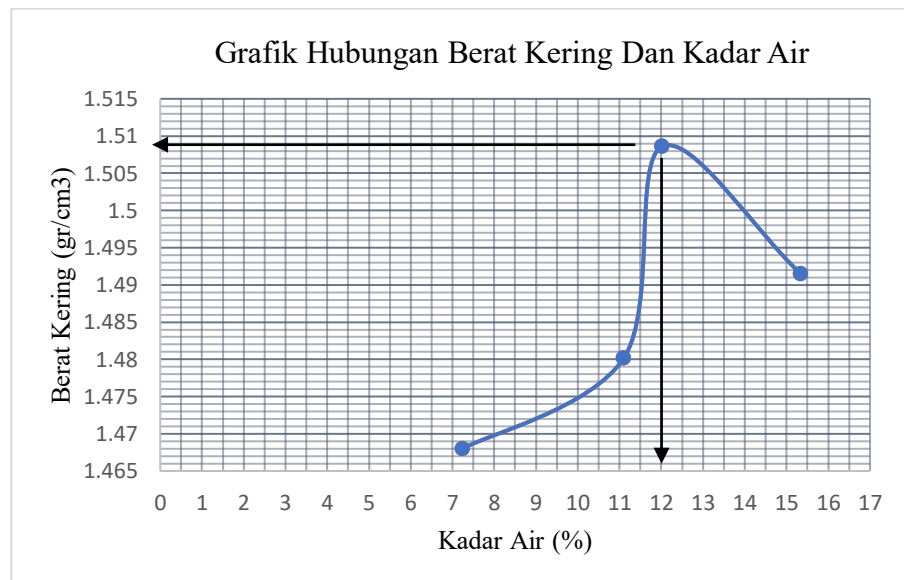
Tabel 4. 2 Tabel Nilai OMC dan MDD (Hasil Penelitian)

<i>Bottom ash</i>	Nilai OMC	Nilai MDD
0%	13%	1,594
10%	12%	1,509
20%	13%	1,433
30%	13%	1,701

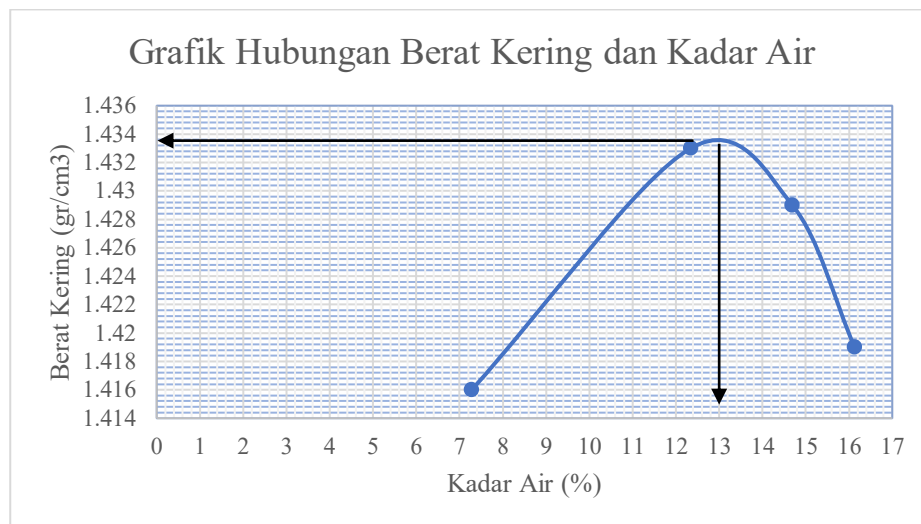
(Hasil Penelitian, 2026)



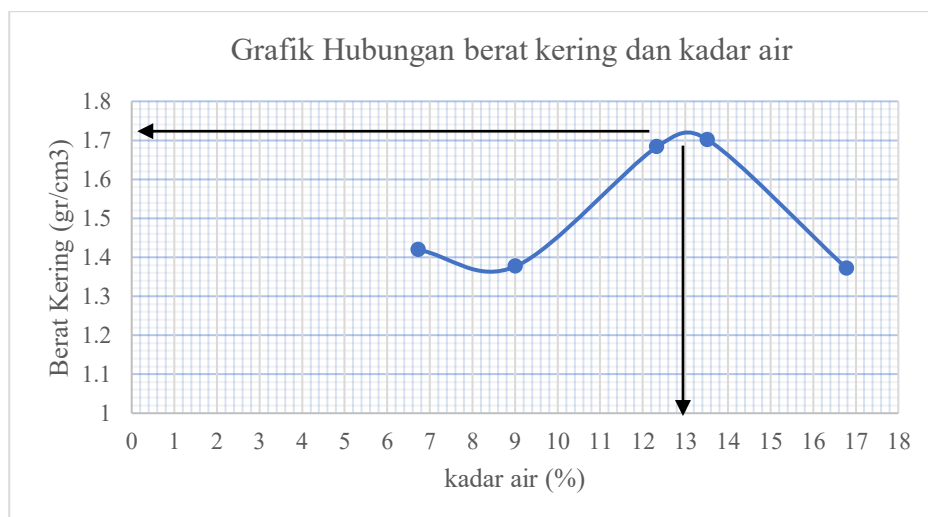
Gambar 4. 1 Nilai OMC dan MDD Campuran *Bottom ash* 0%



Gambar 4. 2 Nilai OMC dan MDD Campuran *Bottom ash* 10%



Gambar 4. 3 Nilai OMC dan MDD Campuran *Bottom ash* 20%



Gambar 4. 4 Nilai OMC dan MDD Campuran *Bottom ash* 30%

4.2.2 Kandungan Meneral Pada *Bottom ash*

Bottom ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada suhu tinggi di dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) atau industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Material ini mengendap di bagian dasar tungku pembakaran sehingga memiliki ukuran butiran yang lebih kasar dibandingkan *fly ash*. Karena mengandung berbagai senyawa oksida mineral, *bottom ash* berpotensi

dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah.

Berdasarkan hasil pengujian kandungan mineral, komponen penyusun *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kandungan Mineral *Bottom ash* (PT PLN INDONESIA POWER UPDK KEPRI)

Kandungan Mineral	Nilai
SiO ₂ (%)	54.27
Al ₂ O ₃ (%)	33.73
Fe ₂ O ₃ (%)	6.36
CaO (%)	1.78
MgO (%)	0.63
K ₂ O (%)	0.29
Na ₂ O (%)	0.25
SO ₃ (%)	0.15



Gambar 4. 5 *Bottom ash*

(Dokumen Pribadi)

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa kandungan mineral terbesar pada *bottom ash* adalah *silika* (SiO₂) sebesar 54,27%, diikuti oleh alumina (Al₂O₃) sebesar 33,73% dan besi oksida (Fe₂O₃) sebesar 6,36%. Ketiga

senyawa tersebut merupakan komponen utama penyusun *bottom ash* dengan total kandungan mencapai 94,36%.

Tingginya kandungan silika dan alumina menunjukkan bahwa *bottom ash* memiliki sifat *pozzolanik*, yaitu mampu berpartisipasi dalam reaksi kimia yang menghasilkan senyawa pengikat apabila terdapat sumber kalsium dan air. Meskipun kandungan CaO pada *bottom ash* yang digunakan relatif rendah, yaitu 1,78%, keberadaan silika dan alumina yang tinggi tetap memberikan potensi untuk meningkatkan karakteristik tanah melalui proses stabilisasi.

Selain itu, kandungan MgO (0,63%), K₂O (0,29%), Na₂O (0,25%), dan SO₃ (0,15%) berada dalam jumlah yang relatif kecil. Walaupun persentasenya rendah, mineral-mineral tersebut tetap berkontribusi terhadap sifat kimia material dan dapat memengaruhi perilaku campuran tanah dengan *bottom ash*.

Secara keseluruhan, hasil analisis kandungan mineral menunjukkan bahwa *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki komposisi yang didominasi oleh senyawa oksida silika dan alumina. Komposisi tersebut mendukung pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan campuran pada tanah lempung karena berpotensi meningkatkan kepadatan tanah serta memengaruhi karakteristik konsolidasi yang menjadi fokus penelitian ini.

4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi

Pengujian konsolidasi satu dimensi ini dilakukan 4 sampel, yaitu sampel tanah tanpa campuran, tanah + *bottom ash* 10%, tanah + *bottom ash* 20%, tanah + *bottom ash* 30%. Dari pengujian awal diperoleh data yang ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Data Sampel Setelah Pengujian Konsolidasi (Dokumen Penelitian)

Sampel	γ_d (kg/cm)	Kadar Air (W) (%)
Tanah Asli	13.85	13
Tanah dan <i>Bottom ash</i> 10%	13.217	12
Tanah dan <i>Bottom ash</i> 20%	12.26	13
Tanah dan <i>Bottom ash</i> 30%	11.8	13

Berdasarkan data pada tabel, dapat disimpulkan bahwa penambahan *bottom ash* pada tanah menyebabkan penurunan berat volume kering (γ_d) dibandingkan tanah asli. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar presentasi penambahan *bottom ash*, semakin rendah berat volume kering campuran tanah. Berdasarkan data γ_d , penambahan *bottom ash* hingga 30% menunjukkan kecenderungan menurunkan kepadatan maksimum campuran.

4.3.1 Analisis Hubungan Angka Pori dengan Tekanan

Hubungan antara angka pori dan tekanan bila digambarkan dalam grafik akan membentuk kurva yang akan bergerak turun seiring bertambahnya waktu pada saat *loading*. Kelengkungan itu terjadi sesuai pergerakan keluar air yang dapat menggambarkan derajat konsolidasi dari sampel.

Tabel 4. 5 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli (Dokumen Penelitian)

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_0 - \Delta e$
1	0	10	0	0.0000	0.2644
2	0.25	10.245	0.000	0.0000	0.2644
3	0.5	10.180	0.065	0.0040	0.2604
4	1	9.966	0.200	0.0170	0.2474
5	2	9.700	0.367	0.0332	0.2312
6	4	9.627	0.618	0.0377	0.2267
7	8	9.271	0.974	0.0593	0.2050

Tabel 4. 6 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli + *Bottom ash* 10% (Dokumen Penelitian)

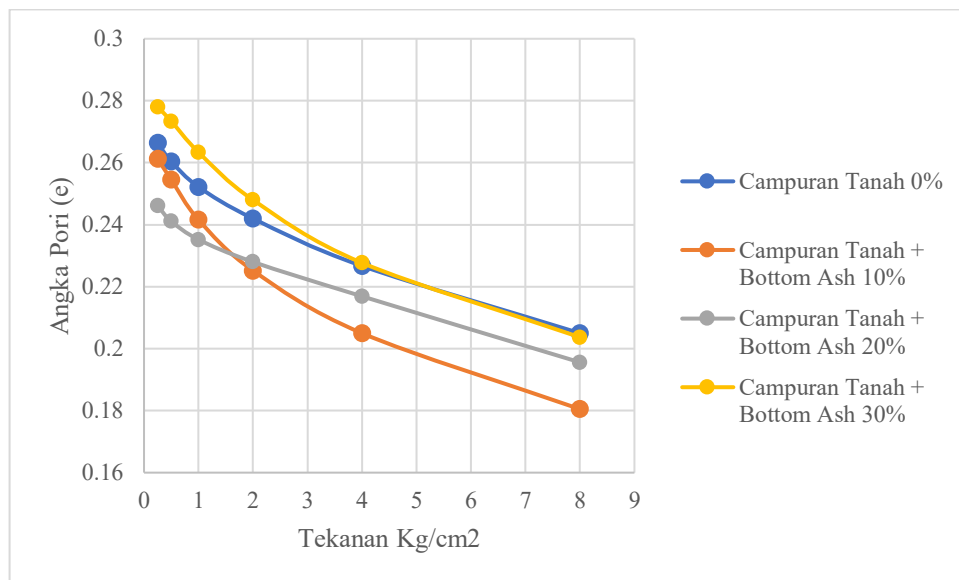
No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_o - \Delta e$
1	0	10	0	0.0000	0.2613
2	0.25	10.270	0.000	0.0000	0.2613
3	0.5	10.158	0.112	0.0068	0.2545
4	1	9.945	0.325	0.0198	0.2416
5	2	9.675	0.595	0.0362	0.2252
6	4	9.344	0.926	0.0563	0.2050
7	8	8.940	1.330	0.0808	0.1805

Tabel 4. 7 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli + *Bottom ash* 20% (Dokumen Penelitian)

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_o - \Delta e$
1	0	10	0	0.0000	0.2461
2	0.25	10.360	0.000	0.0000	0.2461
3	0.5	10.278	0.082	0.0049	0.2411
4	1	10.070	0.180	0.0108	0.2352
5	2	9.981	0.301	0.0181	0.2280
6	4	9.874	0.486	0.0292	0.2169
7	8	9.519	0.841	0.0505	0.1956

Tabel 4. 8 Nilai Perubahan Angka Pori Tanah Asli + *Bottom ash* 30% (Dokumen Penelitian)

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_o - \Delta e$
1	0	10	0	0.0000	0.2780
2	0.25	10.507	0.000	0.0000	0.2780
3	0.5	10.432	0.075	0.0046	0.2734
4	1	10.269	0.238	0.0147	0.2634
5	2	10.019	0.488	0.0301	0.2480
6	4	9.690	0.817	0.0503	0.2277
7	8	9.300	1.207	0.0743	0.2037



Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara tegangan dan angka pori setiap sampel

Kecilnya perubahan angka pori mengindikasikan bahwa penambahan *Bottom ash* dapat membantu mengurangi perubahan volume akibat pembebanan. Dengan demikian campuran *Bottom ash* 10% menghasilkan nilai angka pori akhir paling rendah, yaitu sekitar 0,180, campuran *Bottom ash* 20% menunjukkan perubahan angka pori (Δe) paling kecil, yaitu sekitar 0,0505. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *Bottom ash* 20% mengalami perubahan struktur pori yang relatif lebih kecil selama proses pembebanan.

Penurunan angka pori menunjukkan bahwa rongga-rongga dalam tanah mengalami pengurangan akibat pembebanan, sehingga terjadi proses pemampatan atau konsolidasi. Semakin kecil perubahan angka pori (Δe), semakin kecil perubahan volume tanah akibat pembebanan, sehingga tanah cenderung lebih stabil terhadap proses konsolidasi.

Dari tabel 4.5. dapat dihitung nilai Indeks Pemampatan setiap sampel tanah campuran dan *Bottom ash*.

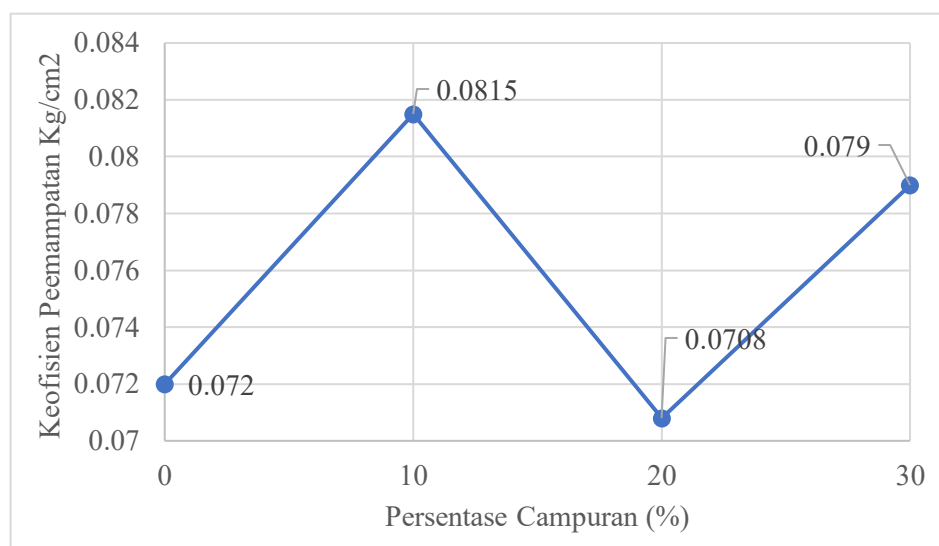
$$Cc = \frac{e_1 - e_2}{\log(p_2 - p_1)}$$

$$Cc = \frac{0,2169 - 0,1956}{\log(8 - 4)}$$

$$Cc = 0,0708 \text{ Kpa}$$

Tabel 4. 9 Nilai Indeks Compresi (Cc) Pada Setiap Sampel (Dokumen Penelitian)

Nilai Cc	
Campuran Tanah + 0%	0.072
Campuran Tanah + 10%	0.0815
Campuran Tanah + 20%	0.0708
Campuran Tanah + 30%	0.079



Gambar 4. 7 Grafik hubungan Persentase Campuran dan Indeks Compresi

Berdasarkan grafik hubungan persentase campuran terhadap koefisien permeabilitas, terlihat bahwa nilai koefisien permeabilitas mengalami perubahan yang tidak linier seiring dengan penambahan *bottom ash*. Pada tanah tanpa campuran (0%), nilai koefisien permeabilitas sebesar 0,072. Setelah penambahan *bottom ash* sebesar 10%, nilai koefisien permeabilitas meningkat menjadi 0,0815. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* menyebabkan perubahan susunan butiran dan struktur pori tanah, sehingga terbentuk jalur pori yang memungkinkan air mengalir lebih mudah.

Selanjutnya, pada penambahan *bottom ash* sebesar 20%, nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan menjadi 0,0708. Penurunan ini diduga terjadi akibat perubahan susunan partikel yang menjadi lebih rapat, sehingga

sebagian rongga antarbutir terisi oleh partikel *bottom ash* dan menyebabkan berkurangnya pori efektif serta jalur aliran air. Pada penambahan 30%, nilai koefisien permeabilitas kembali meningkat menjadi 0,079. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya perubahan kembali pada susunan dan konektivitas pori akibat bertambahnya kandungan *bottom ash*, sehingga air lebih mudah mengalir melalui struktur tanah.

Secara keseluruhan, perubahan nilai koefisien permeabilitas menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* tidak menghasilkan hubungan yang linier terhadap kemampuan tanah dalam melakukan air. Hal ini disebabkan oleh perubahan susunan butiran, kepadatan, serta struktur dan konektivitas pori pada setiap variasi campuran. Nilai koefisien permeabilitas terendah diperoleh pada campuran 20%, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada campuran 10%.

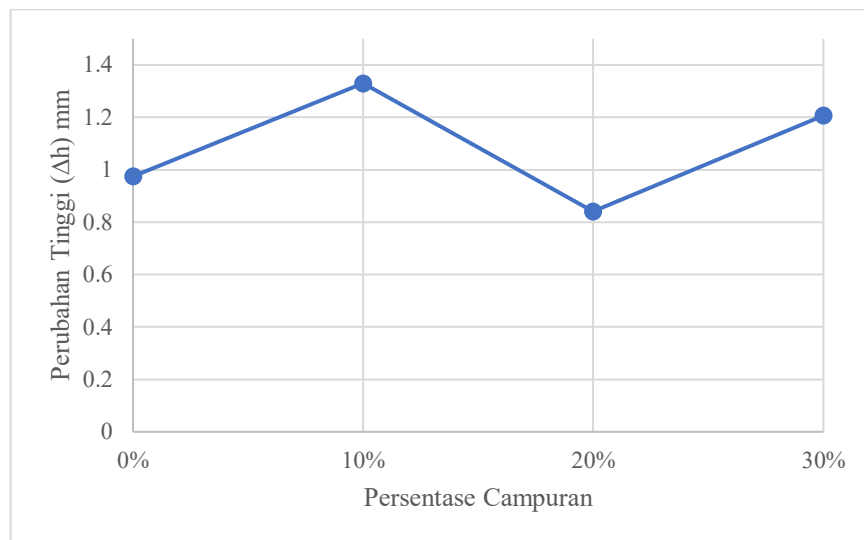
Dengan demikian, variasi 20% *bottom ash* merupakan kadar optimum untuk menurunkan nilai Indeks Kompresi (C_c), sehingga tanah menjadi lebih stabil dan mengalami penurunan konsolidasi yang lebih kecil. Sebaliknya, peningkatan nilai C_c pada campuran 30% mengindikasikan bahwa penambahan *bottom ash* yang berlebihan mulai mengurangi efektivitas stabilisasi. Menurut Das (1995), semakin kecil nilai Indeks Kompresi (C_c), maka semakin rendah tingkat kompresibilitas tanah terhadap pembebanan.

4.3.2 Analisis Nilai Δh Pada Akhir Pembebanan

Untuk menentukan nilai perbandingan penurunan setiap sampel menggunakan nilai perbandingan Δh pada nilai saat akhir *loading* atau nilai Δh dipembebanan 8kg pada setiap sampel, nilai perbandingan Δh pada setiap sampel dapat dilihat pada tabel 4.10. sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Nilai Perubahan Tinggi Akhir Sampel (Dokumen Penelitian)

Pembebanan	0%	10%	20%	30%
8 kg	0.974	1.33	0.841	1.2070



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Persentase Campuran dan Nilai Akhir Perubahan Tinggi

Berdasarkan gambar 4.8 pada campuran 0%, nilai Δh sebesar 0,97 mm menunjukkan bahwa tanah mengalami perubahan tinggi sebesar 0,97 mm akibat pembebanan.

Ketika campuran ditingkatkan menjadi 10%, nilai Δh meningkat menjadi 1,33 mm. Artinya, terjadi peningkatan perubahan tinggi sebesar 0,36 mm dari kondisi 0%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar 10%, tanah mengalami pemampatan paling besar, yang dapat disebabkan oleh susunan partikel campuran yang masih memungkinkan terjadinya pengurangan rongga yang cukup besar selama pembebanan.

Selanjutnya, pada 20%, nilai Δh turun menjadi 0,84 mm, atau berkurang 0,49 mm dibandingkan campuran 10%. Penurunan ini menunjukkan bahwa campuran 20% mengalami pemampatan paling kecil. Penambahan *bottom ash* pada kadar tersebut diduga membantu mengisi rongga antarpartikel sehingga susunan tanah menjadi lebih rapat dan lebih stabil terhadap pembebanan.

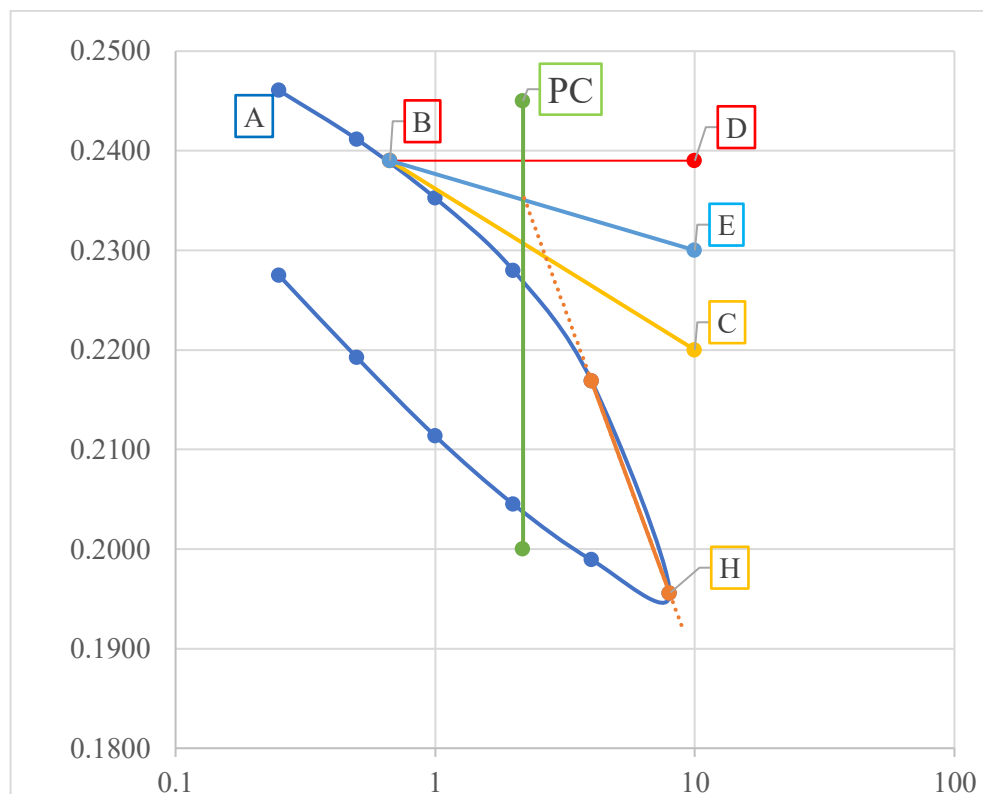
Kemudian pada 30%, nilai Δh kembali meningkat menjadi 1,20 mm, atau bertambah 0,36 mm dibandingkan campuran 20%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* yang lebih tinggi tidak selalu menyebabkan

pemampatan semakin kecil. Komposisi campuran yang berubah dapat menyebabkan susunan partikel dan distribusi rongga kembali berubah, sehingga perubahan tinggi meningkat.

Dengan demikian, variasi campuran 20% *bottom ash* merupakan kadar optimum karena menghasilkan perubahan tinggi (Δh) paling kecil, sehingga tanah menjadi lebih stabil dan mengalami penurunan konsolidasi yang lebih rendah. Menurut Das (1995), semakin kecil nilai perubahan tinggi (Δh), maka semakin kecil penurunan konsolidasi yang terjadi akibat pembebanan, yang menunjukkan bahwa tanah memiliki stabilitas yang lebih baik.

4.3.3 Analisis Nilai Prakonsolidasi

Untuk menentukan nilai P_c dapat dilihat pada grafik hubungan antara angka pori dan tekanan pada gambar 4.8, sebagai berikut.



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan e vs Log P Untuk Menentukan Nilai P_c Sampel 20%

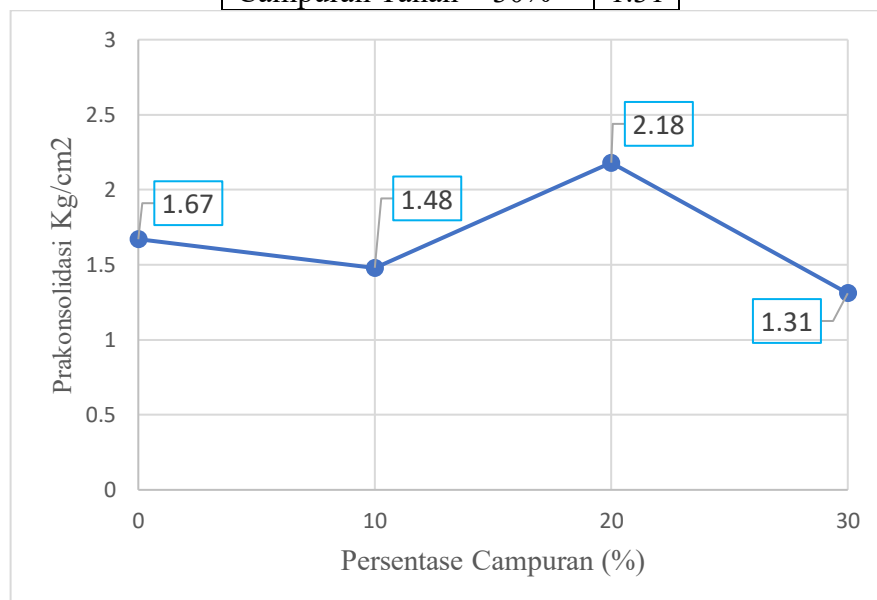
A = Daerah sebelum P_c , penurunan angka pori

- B dan D = Titik awal metode Casagrande
 Pc = Tekanan prakonsolidasi tanah
 C = Garis kompresi primer
 E = Garis singgung
 H = Garis pembagi sudut yang menentukan Pc

Berdasarkan gambar 4.8. diperoleh nilai Pc sebesar 2,18 kg/Cm² untuk sampel tanah 20%.

Tabel 4. 11 Nilai Prakonsolidasi (Pc) Pada Setiap Sampel (Dokumen Penelitian)

Nilai PC	
Campuran Tanah + 0%	1.67
Campuran Tanah + 10%	1.48
Campuran Tanah + 20%	2.18
Campuran Tanah + 30%	1.31



Gambar 4. 10 Grafik Nilai Prakonsolidasi Setiap Sampel

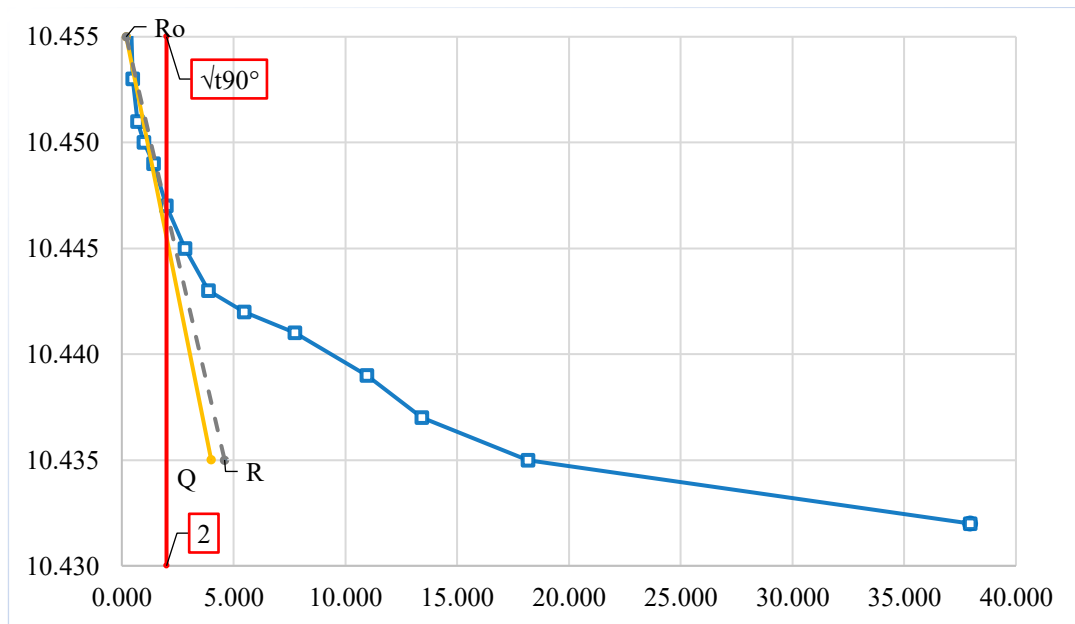
Dari gambar grafik nilai prakonsolidasi diketahui bahwa nilai tegangan pra konsolidasi terbesar terjadi pada pencampuran tanah dan *bottom ash* 20%, yaitu sebesar 2,18 Kg/cm²

4.3.4 Analisis Koefisien Konsolidasi

Koefisien konsolidasi (C_v) merupakan parameter yang menghubungkan perubahan tekanan air pori terhadap waktu. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu konsolidasi tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan yang akan terjadi dan juga tingkat penurunan yang akan terjadi untuk masa yang akan datang. Hasil nilai koefisien konsolidasi (C_v) ditabelkan pada tabel 4. 12.

Tabel 4. 12 Pembacaan Dial Sampel 30% di Beban 0,5 Kg (Dokumen Penelitian)

t	$t^{0,5}$	0.5 kg/cm²	
menit	(menit^{0,5})	div	mm
0	0.000	1050.7	10.507
0.1	0.316	1045.9	10.459
0.25	0.500	1045.3	10.453
0.5	0.707	1045.1	10.451
1	1.000	1045.0	10.450
2	1.414	1044.9	10.449
4	2.000	1044.7	10.447
8	2.828	1044.5	10.445
15	3.873	1044.3	10.443
30	5.477	1044.2	10.442
60	7.746	1044.1	10.441
120	10.954	1043.9	10.439
180	13.416	1043.7	10.437
330	18.166	1043.5	10.435
1440	37.947	1043.2	10.432



Gambar 4. 11 Grafik Penurunan Konsolidasi

Dari hasil penelitian didapat pola grafik square root dan menunjukkan garis vertikal $\sqrt{t_{90}}$ sebesar 2.

Diketahui :

$$\sqrt{t_{90}} = 2$$

$$t_{90} = 2^2$$

$$t_{90} = 4 \text{ Menit}$$

$$t_{90} = 240 \text{ Detik}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa t_{90} sebesar 240 Detik dan setelah itu akan dicari nilai koefisien konsolidasi.

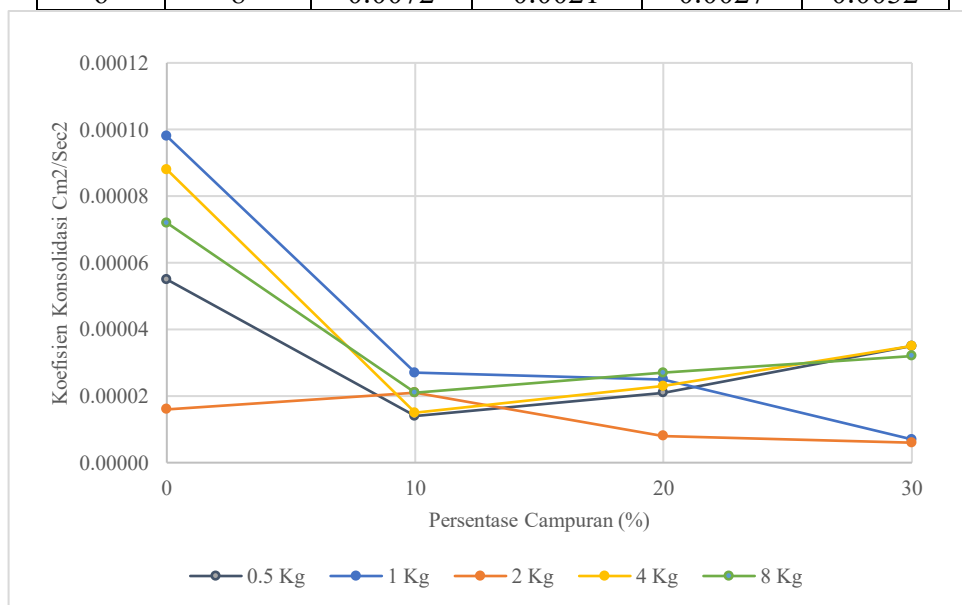
$$Cv = \frac{0,845H^2}{t_{90}}$$

$$Cv = \frac{0,845(\frac{1}{2} \times 2)^2}{240}$$

$$Cv = 0,003533 \text{ cm}^2/\text{Det}$$

Tabel 4. 13 Nilai Koefisien Konsolidasi Setiap Sampel (Dokumen Penelitian)

No.	P (kg/cm ²)	0% Cv (kg/cm ²)	10% Cv (kg/cm ²)	20% Cv (kg/cm ²)	30% Cv (kg/cm ²)
1	0	0	0	0	0
2	0.5	0.0055	0.0014	0.0021	0.0035
3	1	0.0098	0.0027	0.0025	0.0007
4	2	0.0016	0.0021	0.0008	0.0006
5	4	0.0088	0.0015	0.0023	0.0035
6	8	0.0072	0.0021	0.0027	0.0032



Gambar 4. 12 Grafik hubungan Koefisien Konsolidasi Setiap Sampel

Dari pembacaan tabel 4.13 dan gambar 4.11. dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pembebanan 0,5 kg, koefisien konsolidasi tertinggi diperoleh pada campuran *bottom ash* 0%, sehingga proses konsolidasi berlangsung paling cepat pada campuran tersebut.
2. Pada pembebanan 1 kg, koefisien konsolidasi tertinggi juga diperoleh pada campuran *bottom ash* 0%, yang menunjukkan bahwa tanah tanpa campuran mengalami laju konsolidasi paling cepat.

3. Pada pembebanan 2 kg, koefisien konsolidasi tertinggi diperoleh pada campuran *bottom ash* 10%, sedangkan nilai terendah terjadi pada campuran 30%.
4. Pada pembebanan 4 kg, koefisien konsolidasi tertinggi diperoleh pada campuran *bottom ash* 0%, kemudian menurun pada campuran 10% dan kembali meningkat hingga mencapai nilai yang hampir sama pada campuran 30%.
5. Pada pembebanan 8 kg, koefisien konsolidasi tertinggi diperoleh pada campuran *bottom ash* 0%, sedangkan nilai terendah terjadi pada campuran 10%.

Berdasarkan hasil pengujian koefisien konsolidasi (C_v) dan grafik hubungan persentase campuran terhadap perubahan tinggi (Δh), dapat disimpulkan bahwa campuran 20% merupakan komposisi yang paling optimum. Campuran ini menghasilkan perubahan tinggi paling kecil, yaitu sekitar 0,84 mm, serta memiliki nilai koefisien konsolidasi yang relatif rendah dan stabil pada setiap tingkat pembebanan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan campuran sebesar 20% mampu memperbaiki struktur tanah sehingga penurunan akibat konsolidasi dapat diminimalkan. Kinerja campuran *bottom ash* sebanyak 20% merupakan komposisi terbaik untuk meningkatkan karakteristik konsolidasi tanah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan antara lain adalah :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan klasifikasi USCS termasuk tanah lempung plastisitas rendah (CL) dan berdasarkan AASHTO termasuk kelompok A-2-6. Tanah memiliki kadar air optimum (OMC) sebesar 13% dan berat volume kering maksimum (MDD) sebesar 1,594 gr/cm³.
2. Penambahan *bottom ash* memengaruhi karakteristik pemadatan tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran 30% *bottom ash* menghasilkan nilai berat volume kering maksimum (MDD) tertinggi, yaitu 1,701 gr/cm³, sehingga campuran tersebut memiliki tingkat kepadatan yang lebih baik dibandingkan variasi lainnya.
3. Berdasarkan analisis indeks kompresi C_c , nilai C_c mengalami perubahan dari 0,072 pada tanah asli menjadi 0,0815 pada campuran 10%, kemudian menurun menjadi 0,0708 pada campuran 20%, dan naik menjadi 0,079 pada campuran 30%. Nilai C_c terendah diperoleh pada campuran 20% *bottom ash* yang menunjukkan bahwa variasi tersebut memberikan pengaruh paling efektif dalam menurunkan sifat mampat (kompresibilitas) tanah dibandingkan variasi lainnya.
4. Berdasarkan hasil analisis, penambahan *bottom ash* memberikan pengaruh terhadap perubahan angka pori, tekanan prakonsolidasi (P_c), koefisien konsolidasi (C_v), serta penurunan konsolidasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran *bottom ash* mampu memperbaiki perilaku konsolidasi tanah dibandingkan tanah asli.

Berdasarkan keseluruhan parameter yang dianalisis, campuran 30% *bottom ash* memberikan karakteristik konsolidasi yang paling baik sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung pada aplikasi geoteknik.

5.2 Saran

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi kadar *bottom ash* yang lebih rinci, misalnya 15%, 25%, dan 35%, sehingga dapat diperoleh kadar campuran optimum secara lebih akurat.
2. Pengujian sebaiknya dilakukan pada jenis tanah yang berbeda, agar efektivitas penggunaan *bottom ash* sebagai bahan stabilisasi dapat dibandingkan pada berbagai kondisi tanah.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan waktu pemeraman (*curing*) yang lebih lama agar pengaruh reaksi antara tanah dan *bottom ash* terhadap sifat tanah dapat diamati secara lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing*. AASHTO.
- ASTM International. (1983). *ASTM D854-83: Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*. ASTM International.
- ASTM International. (1998). *ASTM D698-98: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort*. ASTM International.
- ASTM International. (2022). *ASTM D2435/D2435M-22: Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading*. ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2812:2011 Cara uji konsolidasi tanah satu dimensi*.
- Das, B. M. (1995). *Principles of geotechnical engineering* (3rd ed.). PWS Publishing.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika tanah I*. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika tanah I* (3rd ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Stabilisasi tanah untuk perkerasan jalan*. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika tanah II* (6th ed.). Gadjah Mada University Press.
- Kurniawan, Iswan, & Setyanto. (2015). *Hubungan nilai konsolidasi dan kuat tekan bebas pada tanah lempung yang disubstitusi material pasir*. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 3(2), 85–94.

- Laksono. (2024). *Pengaruh penambahan fly ash terhadap konsolidasi tanah*. Universitas Riau Kepulauan.
- Lambe, T. W. (1962). *Soil testing for engineers*. John Wiley & Sons.
- Prabowo, & Fauziah. (2018). *Pengaruh stabilisasi tanah gambut menggunakan kapur dan matos terhadap kuat geser dan konsolidasi tanah*. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 45–54.
- Rangaswamy, K. (2016). *Influence of burnt ash additives on stabilisation of soft clay soils*. *Jurnal Innovative Infrastructure Solutions*, 1, 25.
- Rasak. (2022). *Analisis koefisien konsolidasi tanah lempung dengan campuran semen dan abu ampas tebu*. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Santoso, I., Roy, S. K., & Andarias, P. (2004). *Pemanfaatan bottom ash sebagai material konstruksi*. Pusat Penelitian Tenaga Listrik.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1993). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

LAMPIRAN

t	t ^{0.5}	0.25 kg/cm ²		0.5 kg/cm ²		1.0 kg/cm ²		2.0 kg/cm ²		4.0 kg/cm ²		8.0 kg/cm ²	
menit	(menit ^{0.5})	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm
0	0.000	1000.0	10.000	1024.5	10.245	1018.0	10.180	996.6	9.966	944.0	9.440	936.7	9.367
0.1	0.316	1001.0	10.010	1022.0	10.220	1004.0	10.040	976.1	9.761	943.2	9.432	909.0	9.090
0.25	0.500	1001.5	10.015	1021.2	10.212	1003.0	10.030	975.7	9.757	942.8	9.428	907.7	9.077
0.5	0.707	1002.0	10.020	1021.0	10.210	1002.0	10.020	975.1	9.751	942.0	9.420	907.0	9.070
1	1.000	1004.0	10.040	1020.5	10.205	1001.5	10.015	976.0	9.760	941.7	9.417	906.2	9.062
2	1.414	1007.5	10.075	1020.0	10.200	1001.0	10.010	974.2	9.742	941.2	9.412	905.8	9.058
4	2.000	1010.5	10.105	1020.0	10.200	1000.8	10.008	973.9	9.739	940.8	9.408	905.4	9.054
8	2.828	1013.8	10.138	1020.0	10.200	1000.2	10.002	973.2	9.732	940.2	9.402	905.0	9.050
15	3.873	1016.0	10.160	1020.0	10.200	1000.2	10.002	973.0	9.730	940.0	9.400	904.0	9.040
30	5.477	1018.4	10.184	1019.5	10.195	1000.0	10.000	972.9	9.729	939.5	9.395	904.1	9.041
60	7.746	1021.0	10.210	1019.5	10.195	999.5	9.995	972.1	9.721	939.0	9.390	903.5	9.035
120	10.954	1022.5	10.225	1019.0	10.190	999.2	9.992	971.9	9.719	938.7	9.387	903.2	9.032
180	13.416	1023.8	10.238	1019.0	10.190	999.0	9.990	971.6	9.716	938.2	9.382	902.8	9.028
330	18.166	1024.0	10.240	1019.0	10.190	998.7	9.987	971.6	9.716	938.0	9.380	902.2	9.022
1440	37.947	1024.5	10.245	1018.0	10.180	996.6	9.966	970.0	9.700	936.7	9.367	901.1	9.011

Lampiran 1 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli

t	t ^{0.5}	0.25 kg/cm ²		0.5 kg/cm ²		1.0 kg/cm ²		2.0 kg/cm ²		4.0 kg/cm ²		8.0 kg/cm ²	
menit	(menit ^{0.5})	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm
0	0.000	0.0	0.000	1027.0	10.270	1015.8	10.158	994.5	9.945	967.5	9.675	934.4	9.344
0.1	0.316	989.0	9.890	1020.2	10.202	1000.0	10.000	978.0	9.780	941.8	9.418	903.5	9.035
0.25	0.500	989.0	9.890	1020.0	10.200	999.4	9.994	974.4	9.744	940.6	9.406	901.1	9.011
0.5	0.707	989.4	9.894	1019.8	10.198	999.0	9.990	973.9	9.739	939.8	9.398	900.1	9.001
1	1.000	990.8	9.908	1019.4	10.194	998.8	9.988	973.0	9.730	939.2	9.392	899.9	8.999
2	1.414	995.0	9.950	1019.1	10.191	998.4	9.984	972.8	9.728	938.5	9.385	898.9	8.989
4	2.000	1010.0	10.100	1019.0	10.190	998.0	9.980	972.1	9.721	937.9	9.379	898.2	8.982
8	2.828	1016.0	10.160	1018.2	10.182	997.8	9.978	971.9	9.719	937.5	9.375	897.8	8.978
15	3.873	1018.9	10.189	1018.2	10.182	997.4	9.974	971.3	9.713	937.2	9.372	897.1	8.971
30	5.477	1020.2	10.202	1018.0	10.180	997.0	9.970	971.0	9.710	936.9	9.369	896.6	8.966
60	7.746	1023.5	10.235	1017.9	10.179	996.8	9.968	970.9	9.709	936.2	9.362	896.1	8.961
120	10.954	1025.7	10.257	1017.4	10.174	996.1	9.961	970.1	9.701	936.0	9.360	895.8	8.958
180	13.416	1026.2	10.262	1017.2	10.172	996.0	9.960	970.0	9.700	935.8	9.358	895.2	8.952
330	18.166	1027.0	10.270	1016.8	10.168	995.8	9.958	969.2	9.692	935.1	9.351	895.0	8.950
1440	37.947	1027.0	10.270	1015.8	10.158	994.5	9.945	967.5	9.675	934.4	9.344	894.0	8.940

Lampiran 2 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli + *Bottom ash* 10%

t	$t^{0.5}$	0.25 kg/cm ²		0.5 kg/cm ²		1.0 kg/cm ²		2.0 kg/cm ²		4.0 kg/cm ²		8.0 kg/cm ²	
menit	(menit ^{0.5})	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm
0	0.000	1000.0	10.000	1036.0	10.360	1027.8	10.278	1007.0	10.070	998.1	9.981	987.4	9.874
0.1	0.316	1007.8	10.078	1031.2	10.312	1014.1	10.141	998.0	9.980	991.2	9.912	961.6	9.616
0.25	0.500	1009.7	10.097	1030.2	10.302	1013.0	10.130	998.1	9.981	991.1	9.911	960.2	9.602
0.5	0.707	1013.4	10.134	1030.0	10.300	1012.2	10.122	998.2	9.982	991.0	9.910	959.3	9.593
1	1.000	1019.6	10.196	1029.9	10.299	1011.8	10.118	998.2	9.982	990.8	9.908	958.8	9.588
2	1.414	1025.0	10.250	1029.6	10.296	1011.5	10.115	998.4	9.984	990.4	9.904	958.0	9.580
4	2.000	1028.6	10.286	1029.2	10.292	1011.0	10.110	998.7	9.987	990.2	9.902	957.2	9.572
8	2.828	1030.3	10.303	1029.1	10.291	1010.8	10.108	998.7	9.987	990.0	9.900	956.8	9.568
15	3.873	1031.7	10.317	1029.0	10.290	1010.3	10.103	998.7	9.987	989.9	9.899	956.1	9.561
30	5.477	1033.0	10.330	1028.8	10.288	1010.0	10.100	998.7	9.987	989.6	9.896	955.6	9.556
60	7.746	1033.9	10.339	1028.5	10.285	1009.8	10.098	998.4	9.984	989.2	9.892	955.0	9.550
120	10.954	1034.8	10.348	1028.3	10.283	1009.2	10.092	998.2	9.982	988.9	9.889	954.4	9.544
180	13.416	1035.1	10.351	1028.1	10.281	1009.0	10.090	998.2	9.982	988.8	9.888	954.0	9.540
330	18.166	1035.7	10.357	1028.0	10.280	1008.8	10.088	998.2	9.982	988.4	9.884	953.5	9.535
1440	37.947	1036.0	10.360	1027.8	10.278	1007.0	10.070	998.1	9.981	987.4	9.874	951.9	9.519

Lampiran 3 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli + *Bottom ash* 20%

t	$t^{0.5}$	0.25 kg/cm ²		0.5 kg/cm ²		1.0 kg/cm ²		2.0 kg/cm ²		4.0 kg/cm ²		8.0 kg/cm ²	
menit	(menit ^{0.5})	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm	div	mm
0	0.000	1000.0	10.000	1050.7	10.507	1043.2	10.432	1026.9	10.269	1001.9	10.019	969.0	9.690
0.1	0.316	1035.1	10.351	1045.9	10.459	1031.3	10.313	1011.7	10.117	978.2	9.782	940.1	9.401
0.25	0.500	1035.2	10.352	1045.3	10.453	1031.0	10.310	1010.9	10.109	977.0	9.770	938.9	9.389
0.5	0.707	1035.4	10.354	1045.1	10.451	1030.4	10.304	1006.1	10.061	976.0	9.760	938.1	9.381
1	1.000	1036.1	10.361	1045.0	10.450	1030.2	10.302	1005.8	10.058	974.9	9.749	937.2	9.372
2	1.414	1038.9	10.389	1044.9	10.449	1029.8	10.298	1005.2	10.052	974.0	9.740	936.8	9.368
4	2.000	1041.2	10.412	1044.7	10.447	1029.4	10.294	1005.0	10.050	973.8	9.738	936.0	9.360
8	2.828	1046.1	10.461	1044.5	10.445	1029.2	10.292	1004.8	10.048	973.0	9.730	935.6	9.356
15	3.873	1047.4	10.474	1044.3	10.443	1028.8	10.288	1004.1	10.041	972.9	9.729	934.9	9.349
30	5.477	1048.2	10.482	1044.2	10.442	1028.6	10.286	1003.9	10.039	972.1	9.721	934.3	9.343
60	7.746	1048.6	10.486	1044.1	10.441	1028.2	10.282	1003.6	10.036	971.9	9.719	933.8	9.338
120	10.954	1049.2	10.492	1043.9	10.439	1028.0	10.280	1003.1	10.031	971.1	9.711	933.2	9.332
180	13.416	1049.2	10.492	1043.7	10.437	1027.8	10.278	1002.8	10.028	971.0	9.710	932.7	9.327
330	18.166	1049.7	10.497	1043.5	10.435	1027.6	10.276	1002.6	10.026	970.9	9.709	932.0	9.320
1440	37.947	1050.7	10.507	1043.2	10.432	1026.9	10.269	1001.9	10.019	969.0	9.690	930.0	9.300

Lampiran 4 Pembacaan Dial Pengujian Konsolidasi Tanah Asli + *Bottom ash* 20%

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e	H	Square Root	
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_s - \Delta e$		t_{90} (sec)	C_v (cm ² /sec)
1	0	10	0	0.0000	0.2644	20.75	0	0
2	0.25	10.245	0.000	0.0000	0.2644	20.750	0.5	1.696
3	0.5	10.180	0.065	0.0040	0.2604	20.685	153.6	0.005520833
4	1	9.966	0.200	0.0122	0.2522	20.550	196.566	0.004314073
5	2	9.700	0.367	0.0224	0.2420	20.383	540	0.00157037
6	4	9.627	0.618	0.0377	0.2267	20.132	96.774	0.008762684
7	8	9.271	0.974	0.0593	0.2050	19.776	117.6	0.007210884
8	4	9.080	1.030	0.0628	0.2016	19.720		
9	2	9.210	0.974	0.0594	0.2050	19.776		
10	1	9.308	0.875	0.0533	0.2110	19.875		
11	0.5	9.470	0.741	0.0452	0.2192	20.009		
12	0.25	9.640	0.605	0.0369	0.2275	20.145		

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e	H	Square Root	
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_s - \Delta e$		t_{90} (sec)	C_v (cm ² /sec)
1	0	10	0	0.0000	0.2613	20.75	0	0
2	0.25	10.270	0.000	0.0000	0.2613	20.750	0.5	1.696
3	0.5	10.158	0.112	0.0068	0.2545	20.638	606.704	0.001397716
4	1	9.945	0.325	0.0198	0.2416	20.425	306.456	0.002767118
5	2	9.675	0.595	0.0362	0.2252	20.155	405.6	0.00209073
6	4	9.344	0.926	0.0563	0.2050	19.824	576.6	0.00147069
7	8	8.940	1.330	0.0808	0.1805	19.420	399.384	0.00212327
8	4	8.982	1.288	0.0783	0.1830	19.462		
9	2	9.060	1.210	0.0736	0.1878	19.540		
10	1	9.178	1.092	0.0664	0.1950	19.658		
11	0.5	9.317	0.953	0.0579	0.2034	19.797		
12	0.25	9.450	0.820	0.0498	0.2115	19.930		

Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli + *Bottom ash*

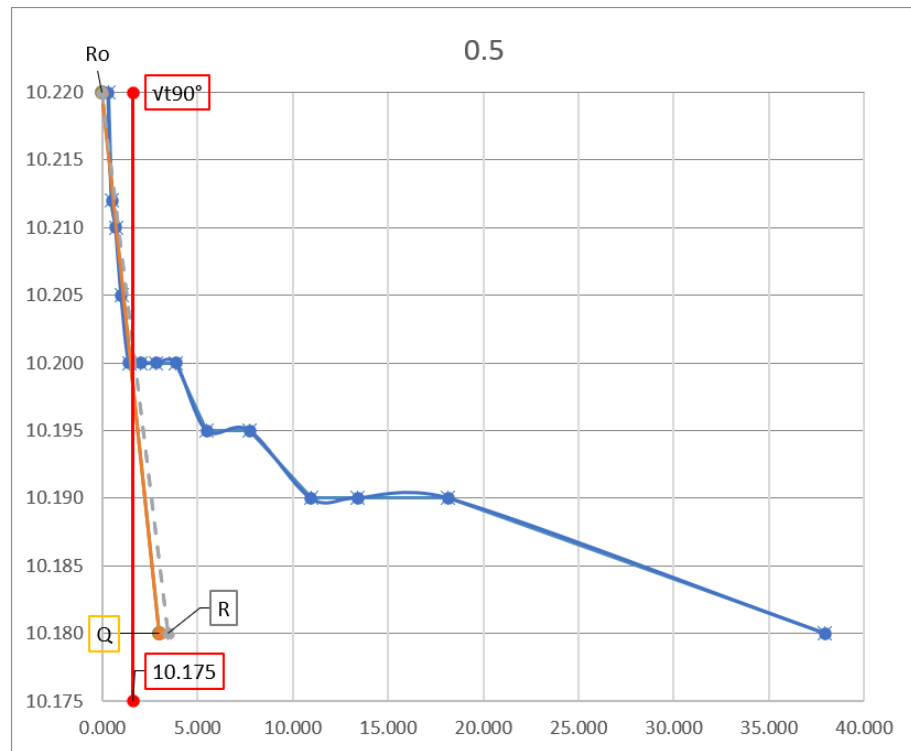
10%

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e	H	Square Root	
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_s - \Delta e$		t_{90} (sec)	C_v (cm ² /sec)
1	0	10	0	0.0000	0.2461	20.75	0	0
2	0.25	10.360	0.000	0.0000	0.2461	20.750	0.5	1.696
3	0.5	10.278	0.082	0.0049	0.2411	20.668	405.6	0.00209073
4	1	10.070	0.180	0.0108	0.2352	20.570	339.864	0.002495116
5	2	9.981	0.301	0.0181	0.2280	20.449	1058.4	0.000801209
6	4	9.874	0.486	0.0292	0.2169	20.264	369.024	0.002297954
7	8	9.519	0.841	0.0505	0.1956	19.909	311904	2.71879E-06
8	4	9.575	0.785	0.0471	0.1989	19.965		
9	2	9.668	0.692	0.0416	0.2045	20.058		
10	1	9.782	0.578	0.0347	0.2113	20.172		
11	0.5	9.913	0.447	0.0268	0.2192	20.303		
12	0.25	10.051	0.309	0.0186	0.2275	20.441		

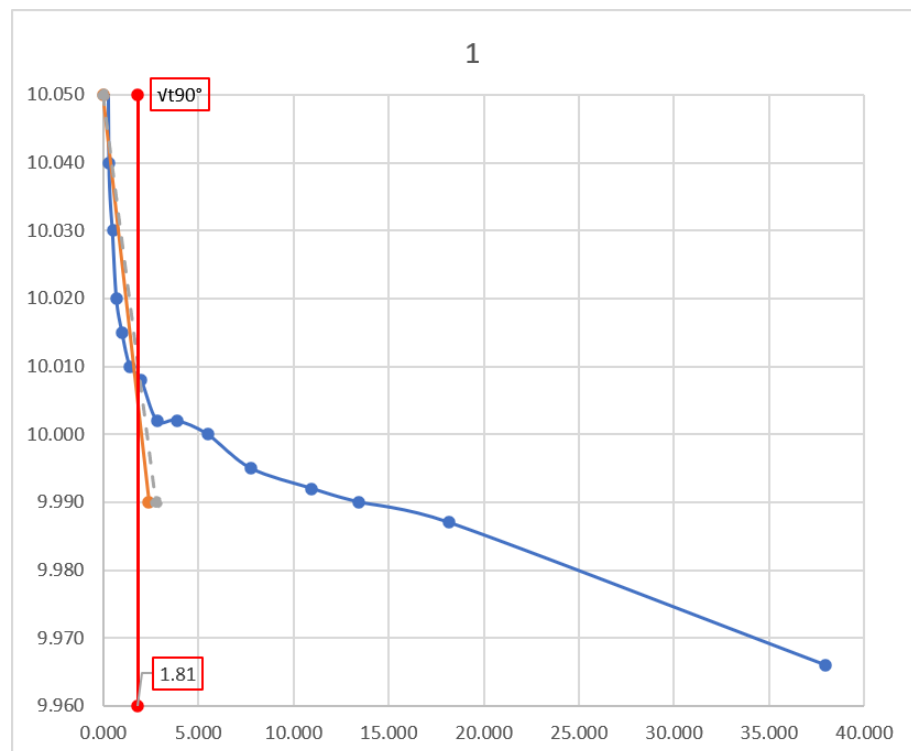
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli + *Bottom ash*
20%

No.	P (kg/cm ²)	Final Dial (cm)	Δh (cm)	Δe	e	H	Square Root	
				$\Delta e = \Delta h / H_s$	$e = e_s - \Delta e$		t_{90} (sec)	C_v (cm ² /sec)
1	0	10	0	0.0000	0.2780	20.75	0	0
2	0.25	10.507	0.000	0.0000	0.2780	20.750	0.5	1.696
3	0.5	10.432	0.075	0.0046	0.2734	20.675	240	0.003533333
4	1	10.269	0.238	0.0147	0.2634	20.512	1161.6	0.000730028
5	2	10.019	0.488	0.0301	0.2480	20.262	1325.4	0.000639807
6	4	9.690	0.817	0.0503	0.2277	19.933	240	0.003533333
7	8	9.300	1.207	0.0743	0.2037	19.543	264.6	0.003204837
8	4	9.341	1.166	0.0718	0.2062	19.584		
9	2	9.412	1.095	0.0674	0.2106	19.655		
10	1	9.510	0.997	0.0614	0.2166	19.753		
11	0.5	9.611	0.896	0.0552	0.2229	19.854		
12	0.25	9.711	0.796	0.0490	0.2290	19.954		

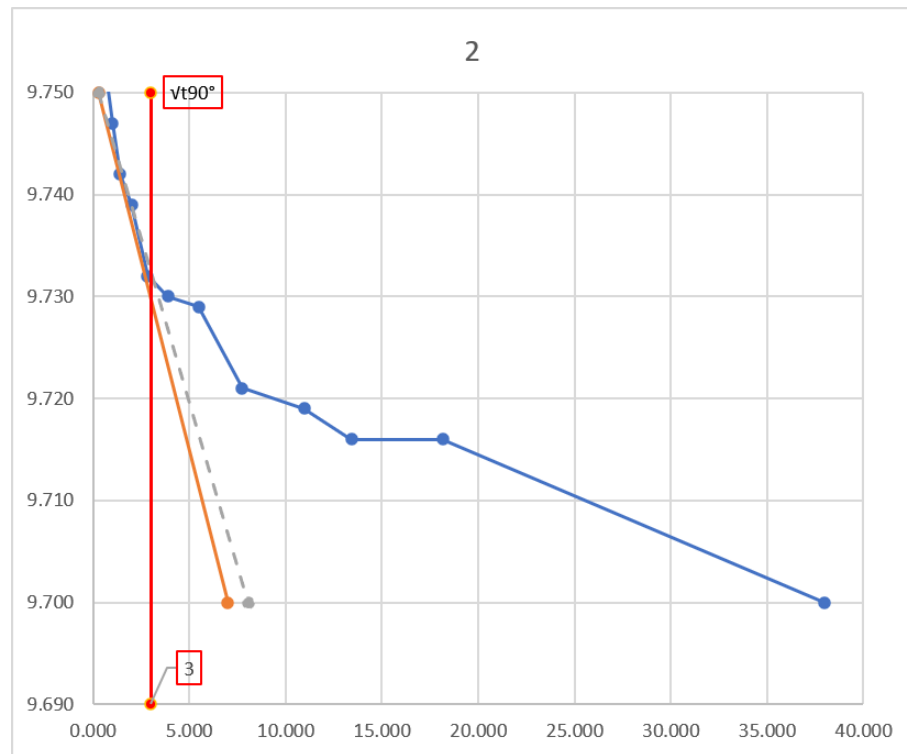
Lampiran 8 Data Hasil Pengujian Konsolidasi Campuran Tanah Asli + *Bottom ash*
30%



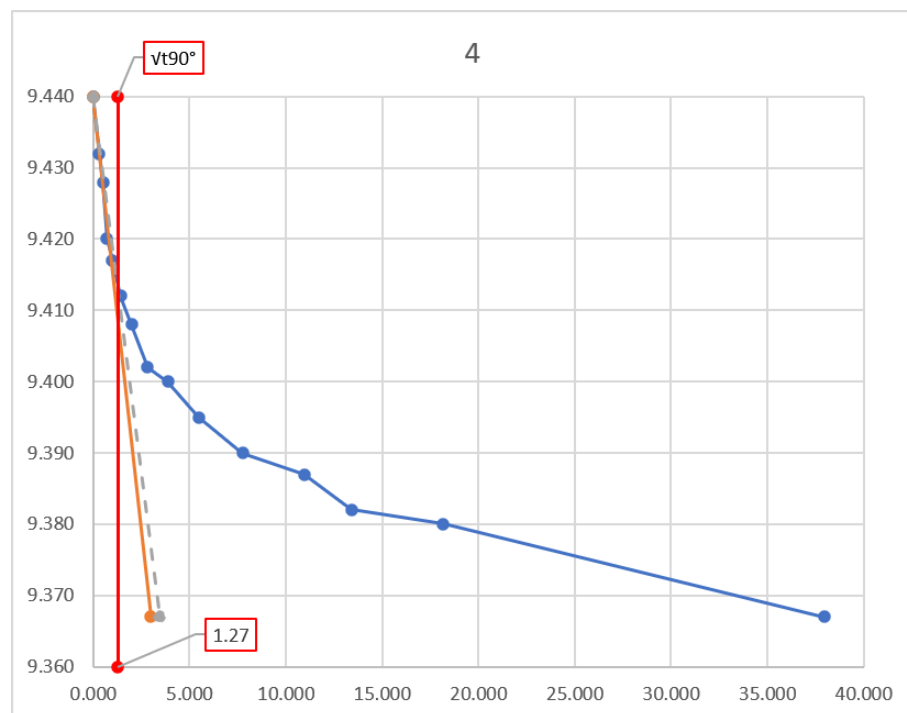
Lampiran 9 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 0,50 Kg



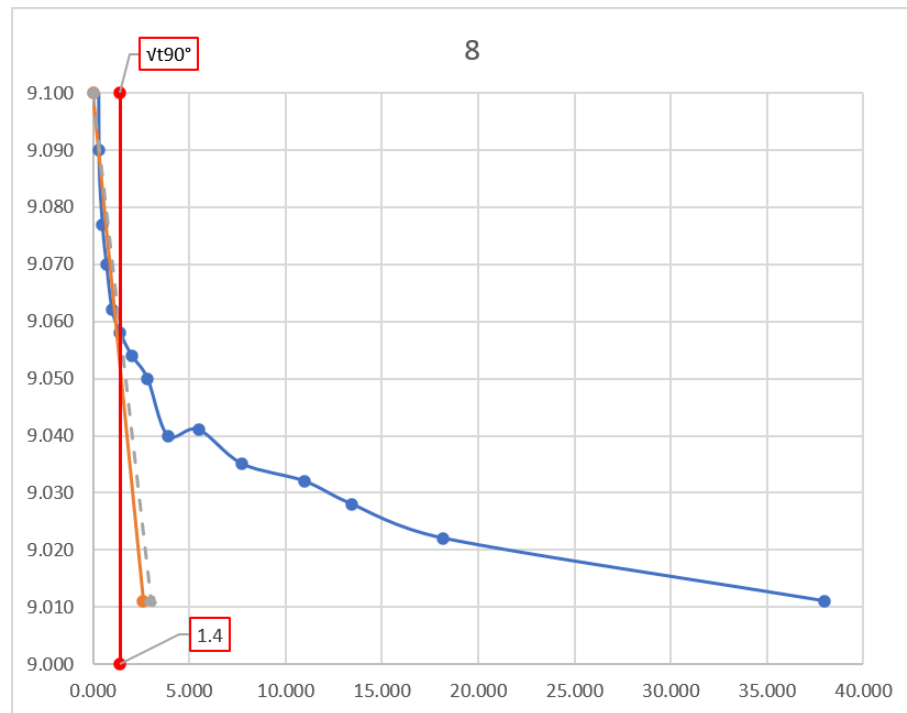
Lampiran 10 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 1 Kg



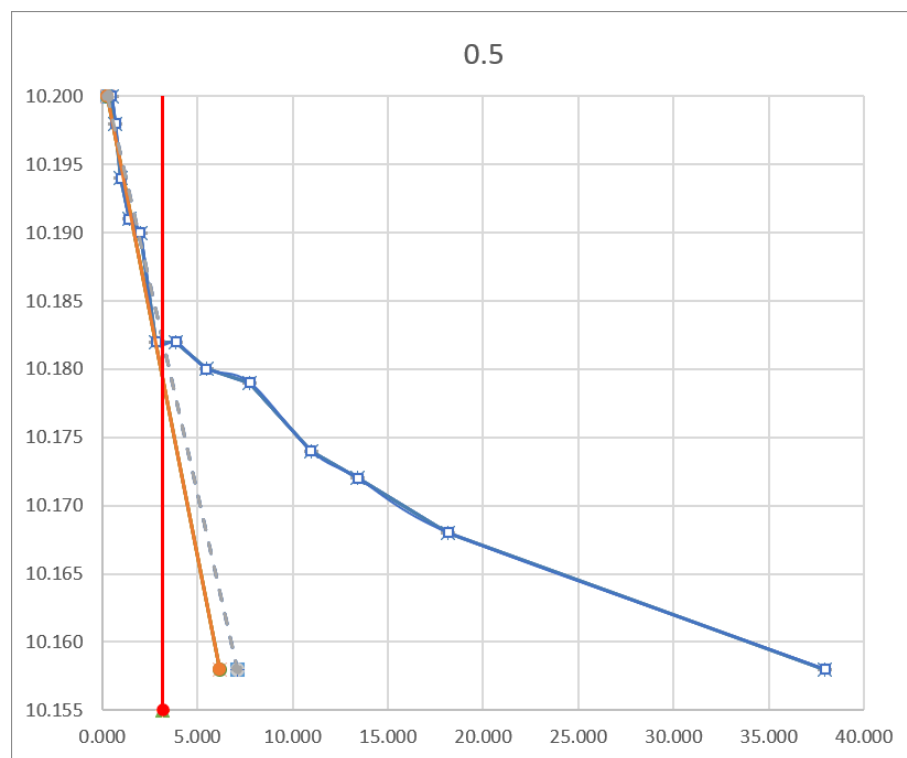
Lampiran 11 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 2 Kg



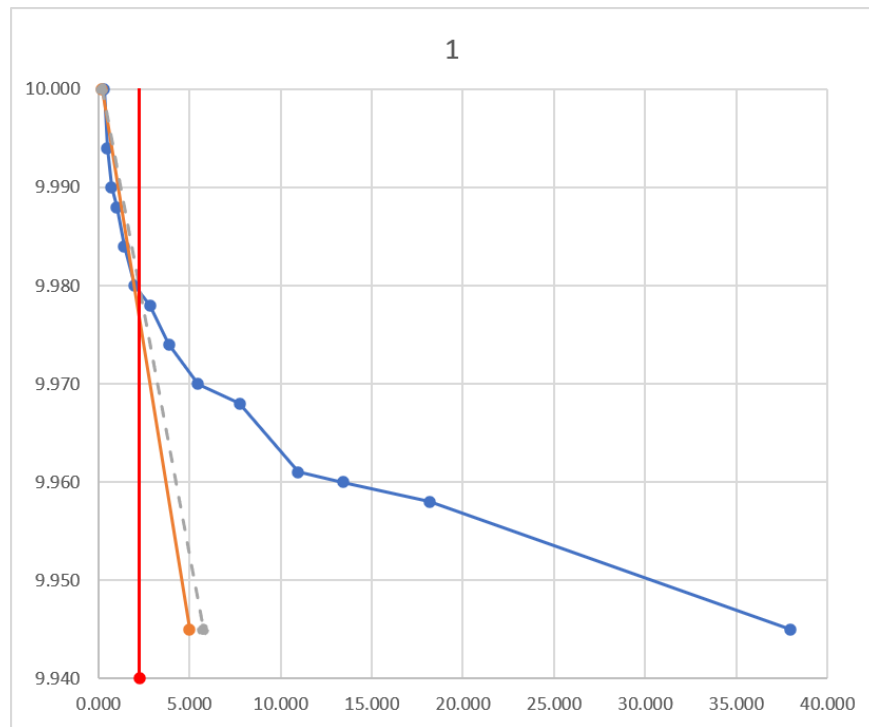
Lampiran 12 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 4 Kg



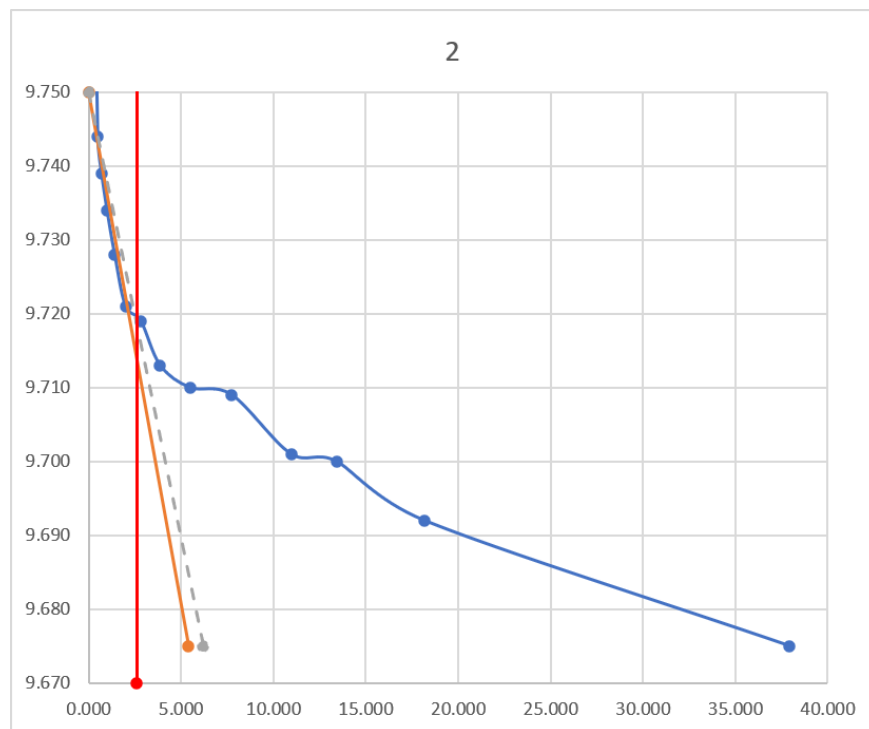
Lampiran 13 Grafik Akar Waktu Tanah Asli Pembebanan 8 Kg



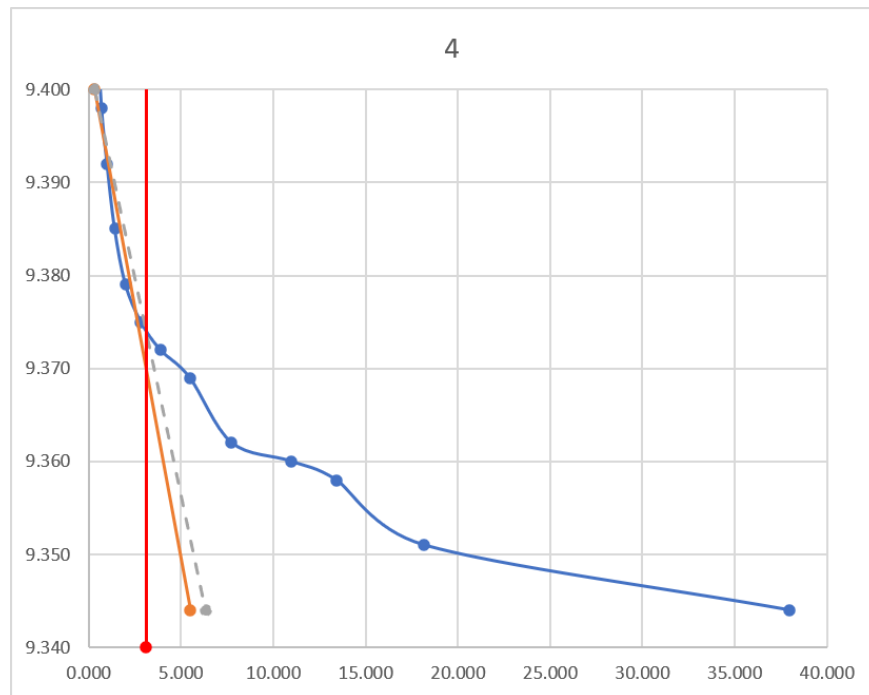
Lampiran 14 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 10% Pembebanan
0,50Kg



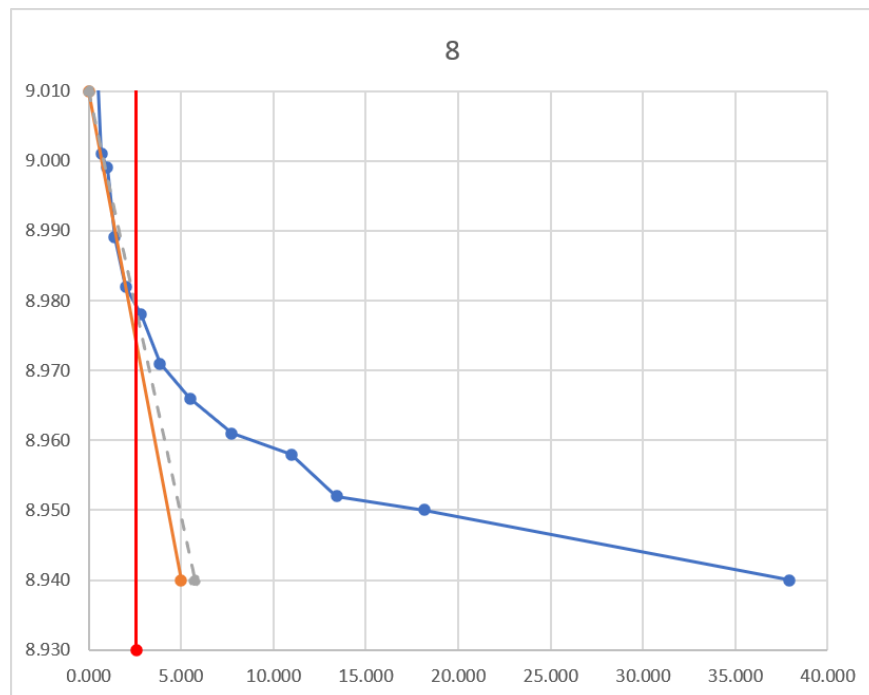
Lampiran 15 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 10% Pembebanan
1Kg



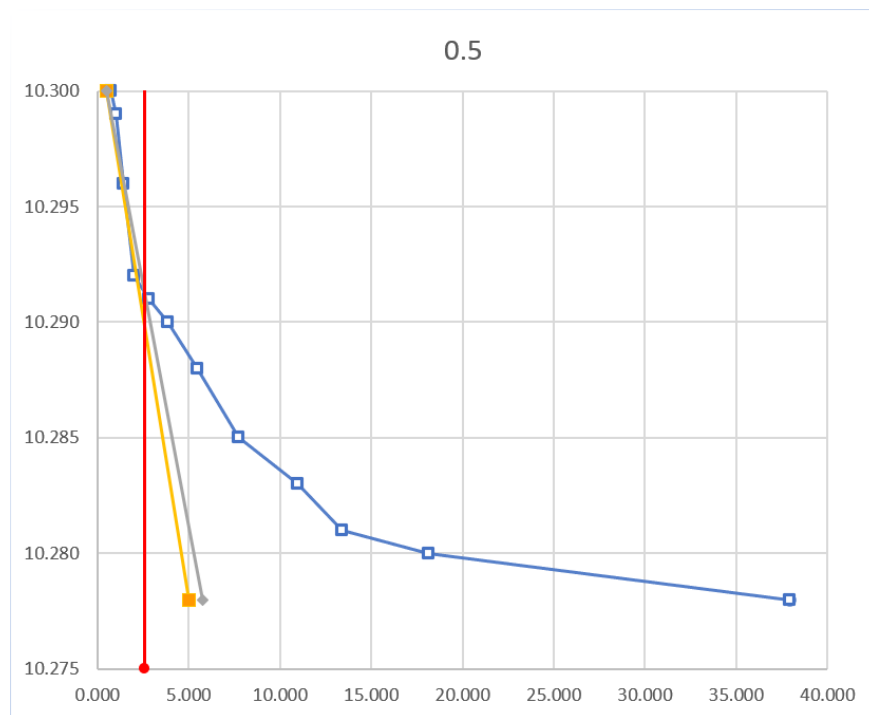
Lampiran 16 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 10% Pembebanan
2Kg



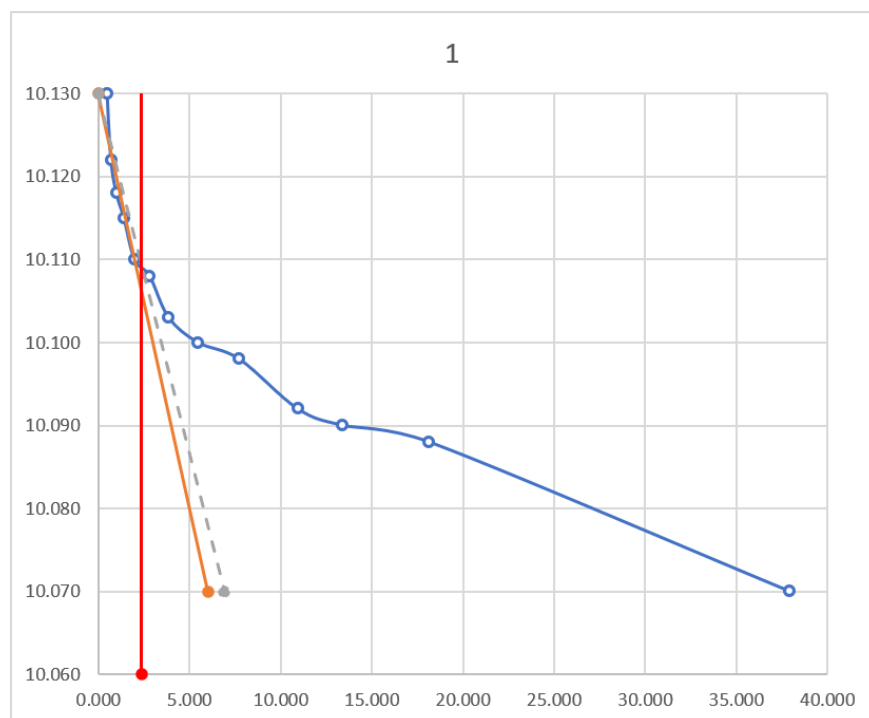
Lampiran 17 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 10% Pembebanan 4Kg



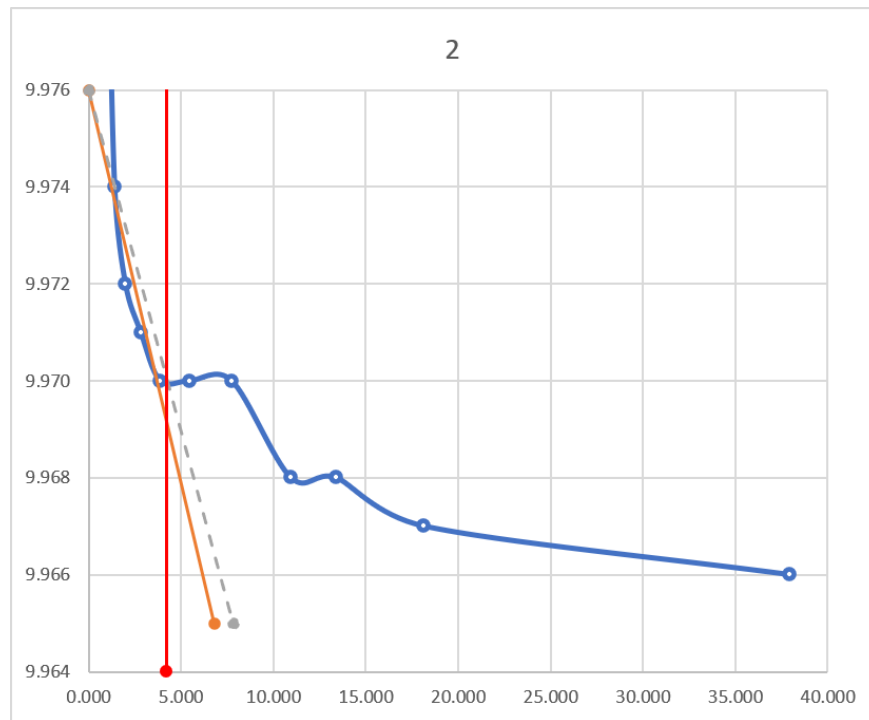
Lampiran 18 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 10% Pembebanan 8Kg



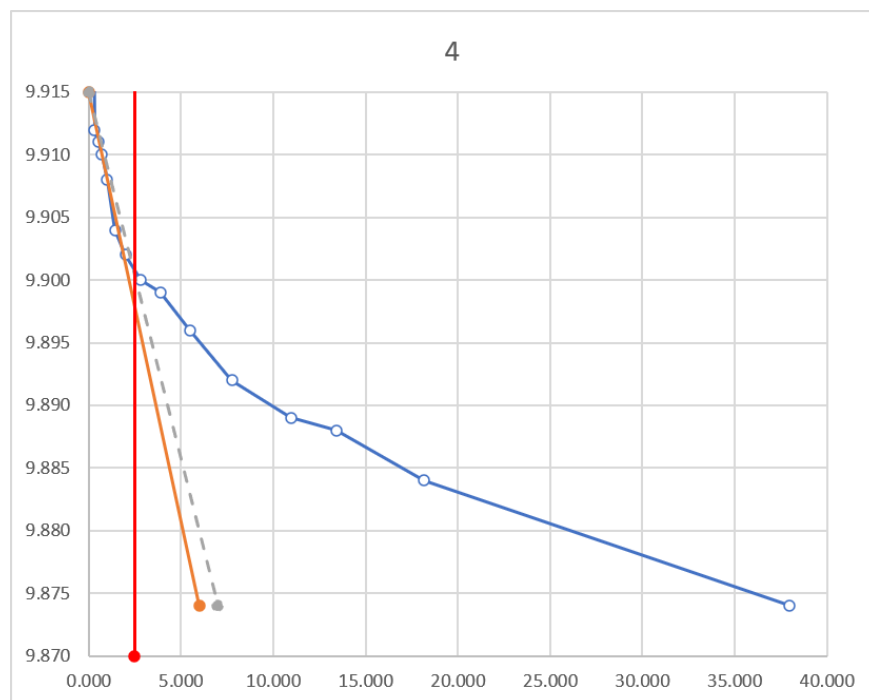
Lampiran 19 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 20% Pembebanan 0,50Kg



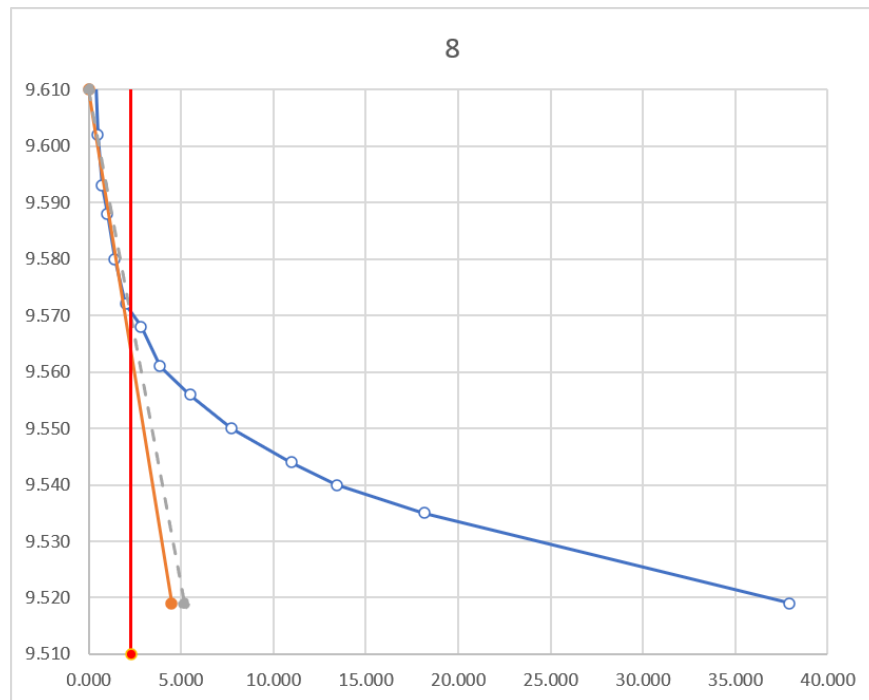
Lampiran 20 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 20% Pembebanan 1Kg



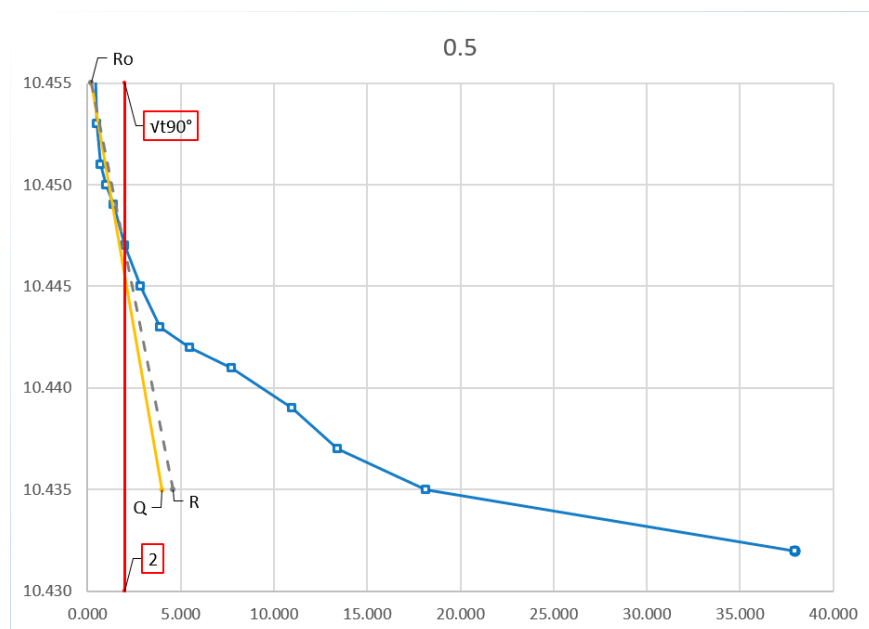
Lampiran 21 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 20% Pembebanan 2Kg



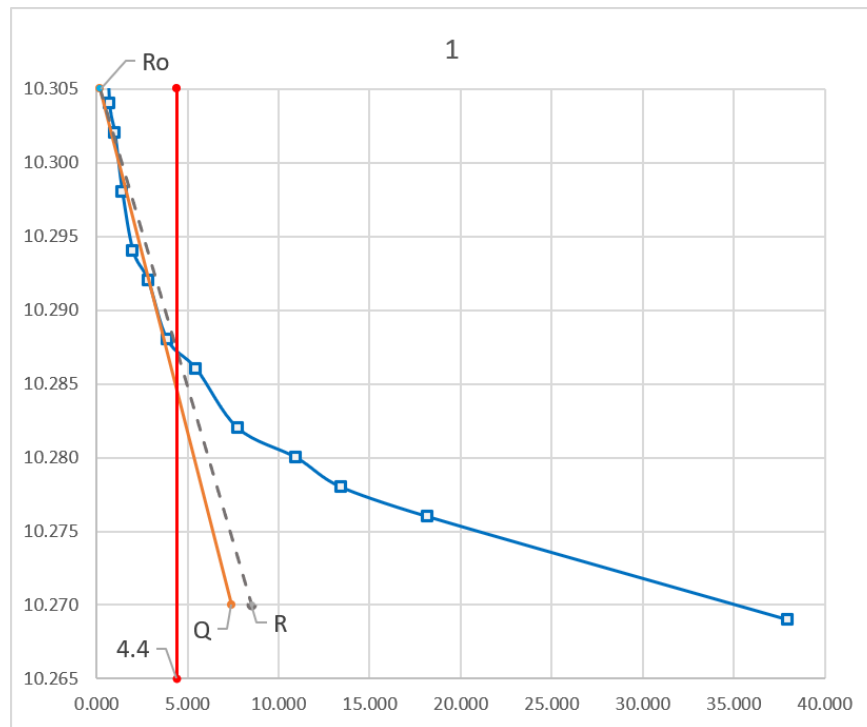
Lampiran 22 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 20% Pembebanan 4Kg



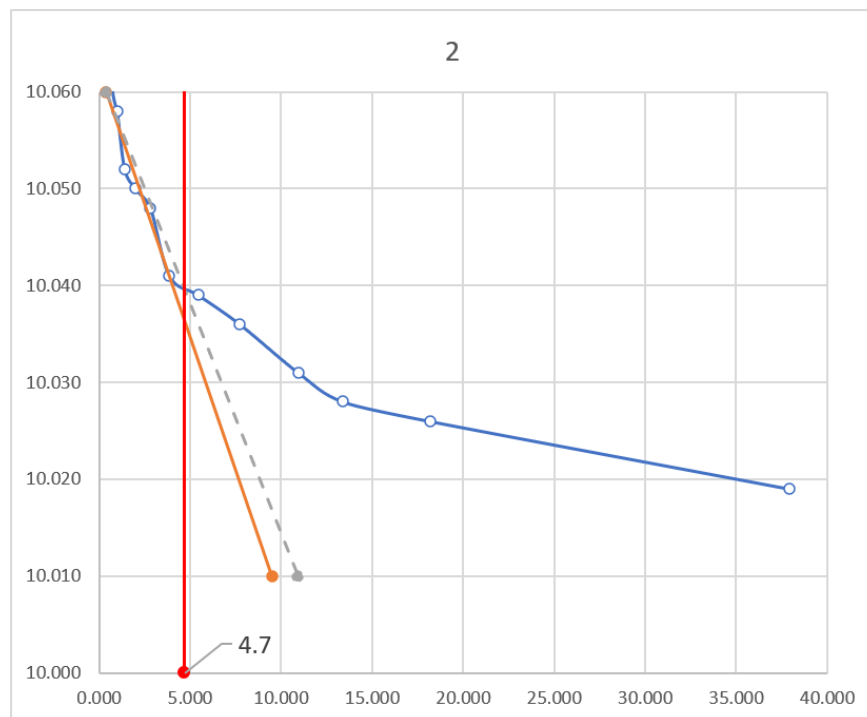
Lampiran 23 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 20% Pembebanan
8Kg



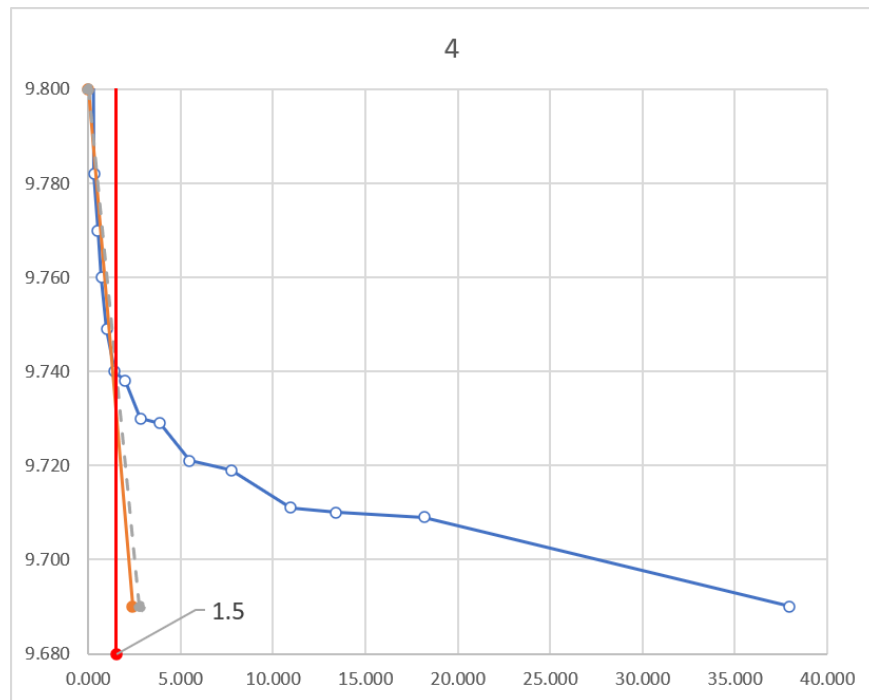
Lampiran 24 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 30% Pembebanan
0,50Kg



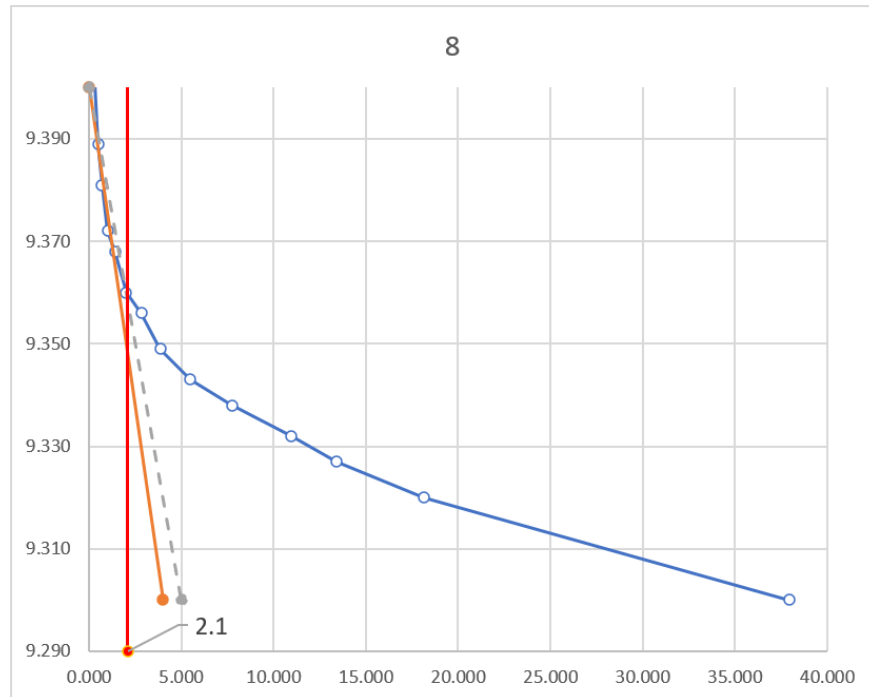
Lampiran 25 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 30% Pembebanan 1Kg



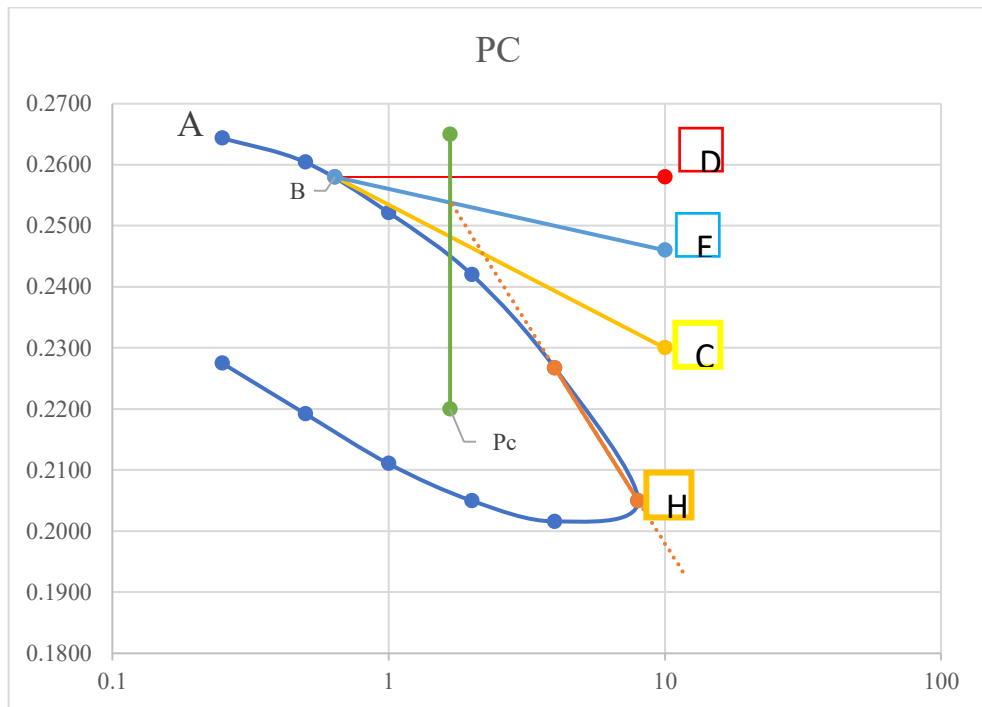
Lampiran 26 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 30% Pembebanan 2Kg



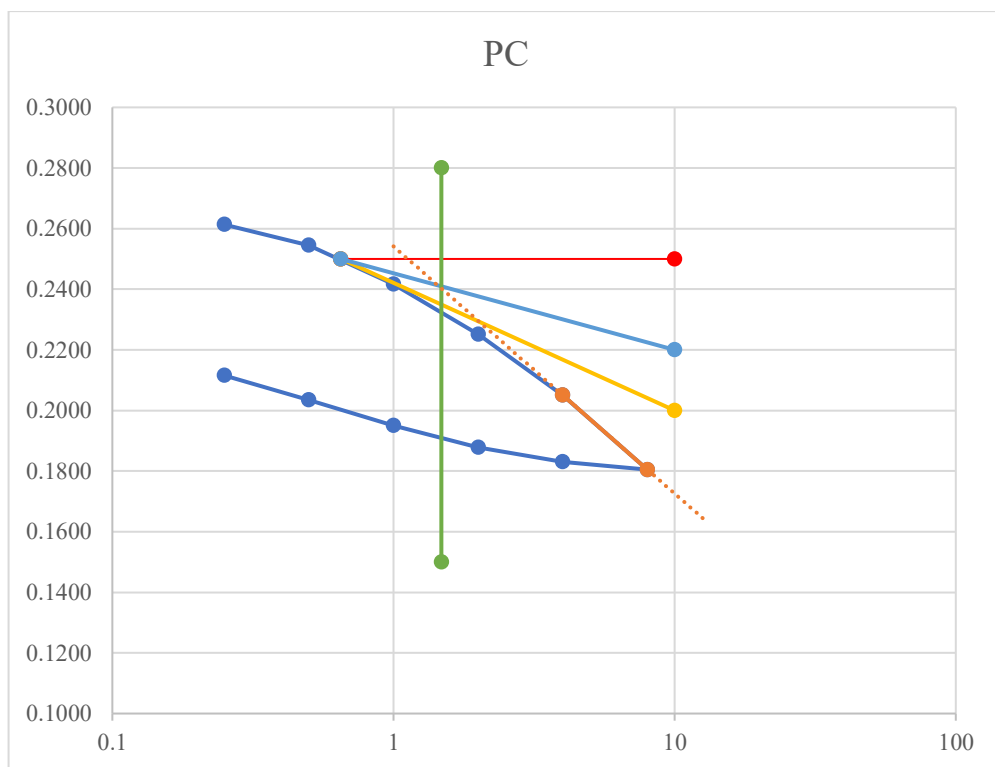
Lampiran 27 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 30% Pembebanan 4Kg



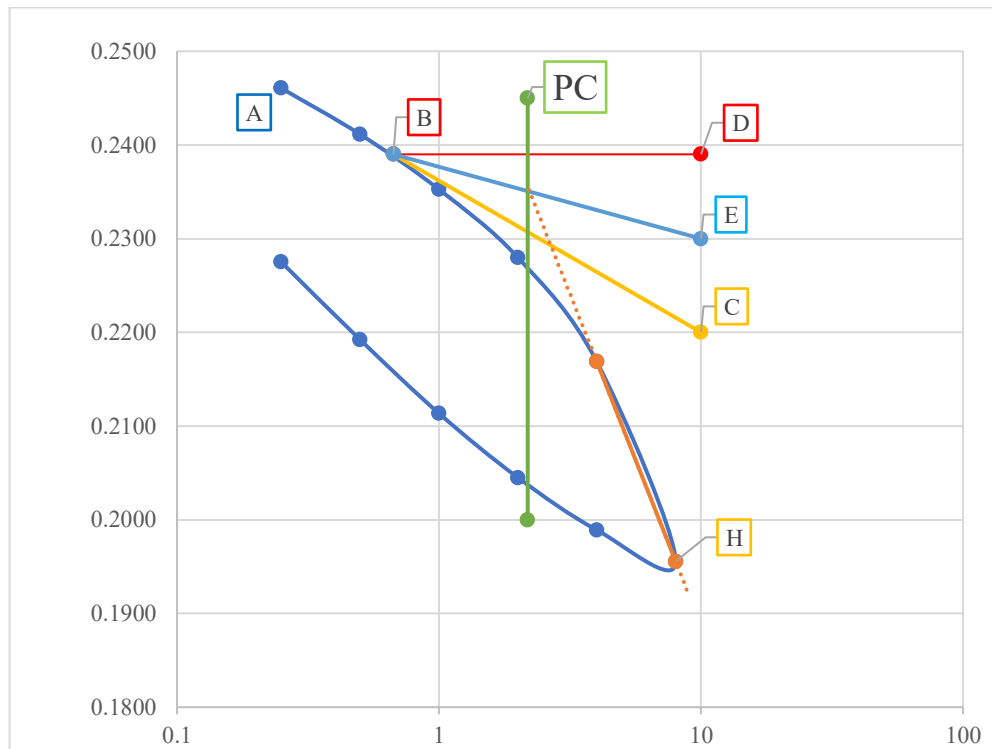
Lampiran 28 Grafik Akar Waktu Campuran Tanah+*Bottom ash* 30% Pembebanan 8Kg



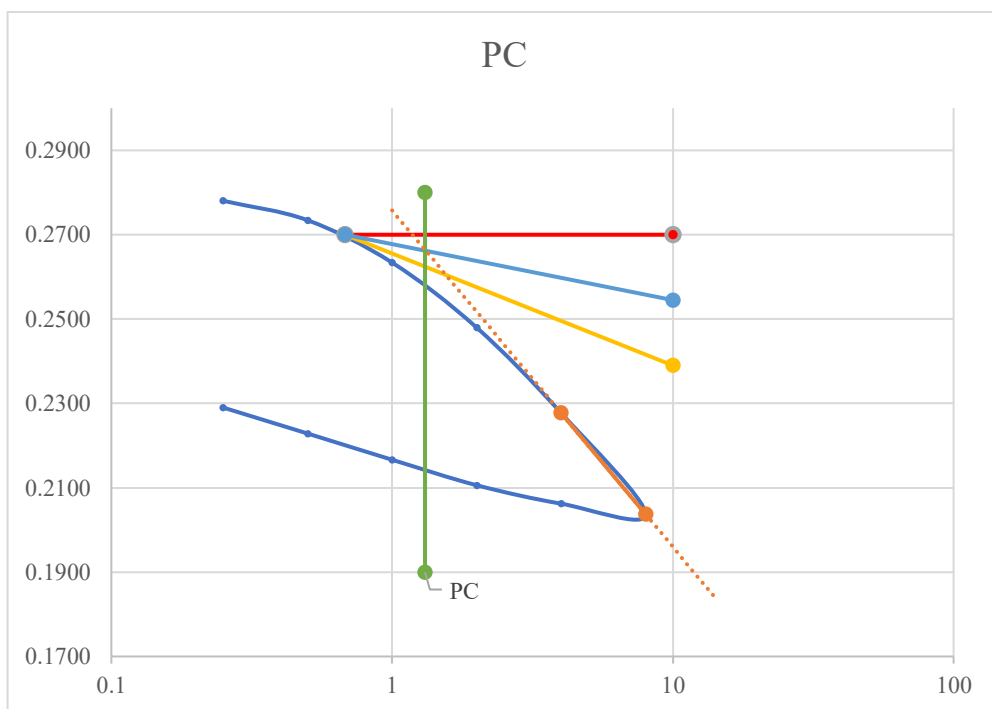
Lampiran 29 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Tanah Asli



Lampiran 30 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Campuran Tanah dan Bottom ash 10%



Lampiran 31 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Campuran Tanah dan *Bottom ash* 20%



Lampiran 32 Grafik $e - \log p$ Mentukan Nilai Prakonsolidasi Campuran Tanah dan *Bottom ash* 30%

Attachment-2 : CRT-488/SIBAT-IV/NNI/2023

LABORATORY ANALYSIS REPORT							
Customer : PT PLN INDONESIA POWER UPDK KEPULAUAN RIAU Address : ULPLTU TANJUNG BALAI KARIMUN : Jl. Pertambangan No 39 Kampung Ranggalang Tanjung Sebatok Kel. Tebing, : Kec. Tebing, Kab. Karimun, Prov. Kepulauan Riau Sample Received : March, 28 th 2023 : Bottom Ash (Triwulan I Tahun 2023) Date of Analysis : March, 28 th - 31 st 2023 Sample Matrix : Solid							
NO	PARAMETER	UNIT	RESULT				METHOD
			AR	ADB	DB	DAFB	
1	Total Moisture	%	27.67	-	-	-	ASTM D3302/D3302M-22
2	Moisture in the Analysis Sample	%	-	2.22	-	-	ASTM D3173/D3173M-17a
3	Loss of Ignition, LOI	%	-	-	0.36	-	Gravimetric
4	Total carbon	%	-	3.64	3.72	-	ASTM D5373-21
5	Fineness on 45 Mikron	%	3.61				Gravimetric
NO	ASH ANALYSIS PARAMETER	UNIT	RESULT				METHOD
1	SiO ₂	%	54.37				Ignited 800°C ASTM D3682-13
2	Al ₂ O ₃	%	33.73				
3	Fe ₂ O ₃	%	6.36				
4	CaO	%	1.78				
5	MgO	%	0.63				
6	K ₂ O	%	0.29				
7	Na ₂ O	%	0.25				ASTM D5016-16
8	SO ₃	%	0.15				
Description Sampel, Form : Bulk, Commodity : Bottom Ash, Weight/Volume : ± 5 Kg, Packing : Unsealed Plastic Bag Result are measurements by Laboratorium Batubara PT Surveyor Indonesia Cabang Semarang The Result relate only to the samples tested and report shall not be reproduced except full, without written approval of the Laboratory							

Lampiran 33 Data Mineral *Bottom ash* Hasil Uji Laboratorium



Lampiran 34 Gambar Campuran Tanah + *Bottom ash*