

**PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA SIFAT FISIK DAN CBR
TANAH LUNAK DI PROYEK JALAN TOL GEMPOL-PASURUAN**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**MUHAMMAD RIZKI FATHURRAHMAN
NIM. 145060100111035**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA SIFAT FISIK DAN CBR TANAH LUNAK DI PROYEK JALAN TOL GEMPOL- PASURUAN

SKRIPSI TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan memperoleh gelar Serjana Teknik



Disusun oleh:

MUHAMMAD RIZKI FATHURRAHMAN
145060100111035

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 13 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Harimurti, MT
NIP. 19600926 198802 1 001

Dr. Eng. Ir. Yulvi Zaika, MT
NIP. 19680707 199403 2 002

Mengetahui
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Pengaruh Penambahan *Fly Ash* pada Sifat Fisik dan CBR Tanah Lunak di Proyek Jalan Tol Gempol - Pasuruan

Nama Mahasiswa : M. Rizki F.

NIM : 145060100111035

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Rernat Ir. Arief Rachmansyah

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Harimurti, MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT.

Tanggal Ujian : 09 Juli 2018

SK Penguji : 1338 / UN 10. F07 / KP / 2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, Juli 2018

Mahasiswa,

M. Rizki Fathurrahman

NIM. 145060100111035

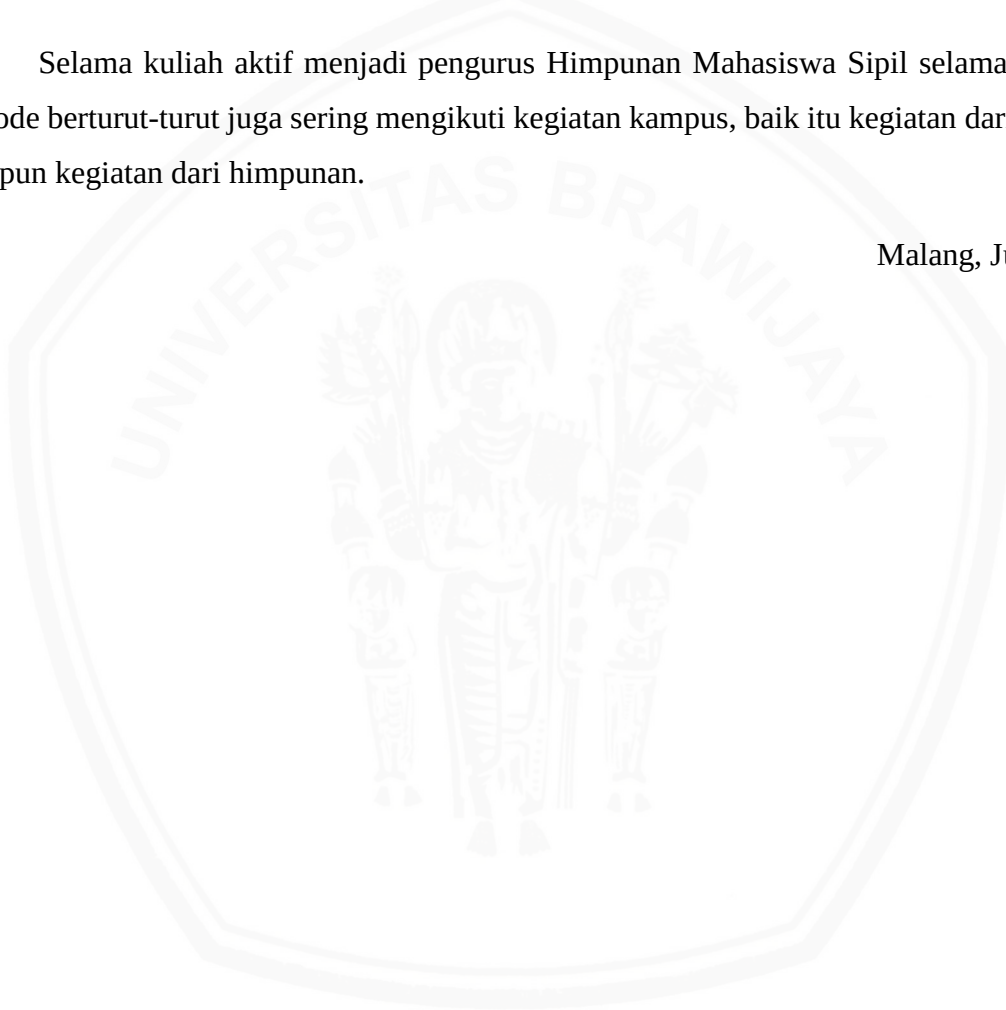
RIWAYAT HIDUP

Muhammad Rizki Fathurrahman, lahir di Kota Bandung pada 15 Maret 1997, anak pertama dari Bapak Besar Rachmadi dan Ibu Sri Sumiati Sariningsih. Menjalani pendidikan sekolah dasar di Sekolah Alam Bandung, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPIT As-Syifa Boarding School pada tahun pertama dan SMP Semesta Hati sampai lulus, lalu melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAIT As-Syifa Boarding School, selanjutnya dengan mengambil pendidikan Sarjana Teknik Sipil di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2018.

Selama kuliah aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Sipil selama 3 (tiga) periode berturut-turut juga sering mengikuti kegiatan kampus, baik itu kegiatan dari jurusan maupun kegiatan dari himpunan.

Malang, Juni 2018

Penulis





Kupersembahkan ini untuk

Mu

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA SIFAT FISIK DAN CBR TANAH LUNAK DI PROYEK JALAN TOL GEMPOL-PASURUAN”** dengan baik dan lancar. Skripsi ini merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Tentunya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar karena bantuan dari banyak pihak. Karena itu, kami ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

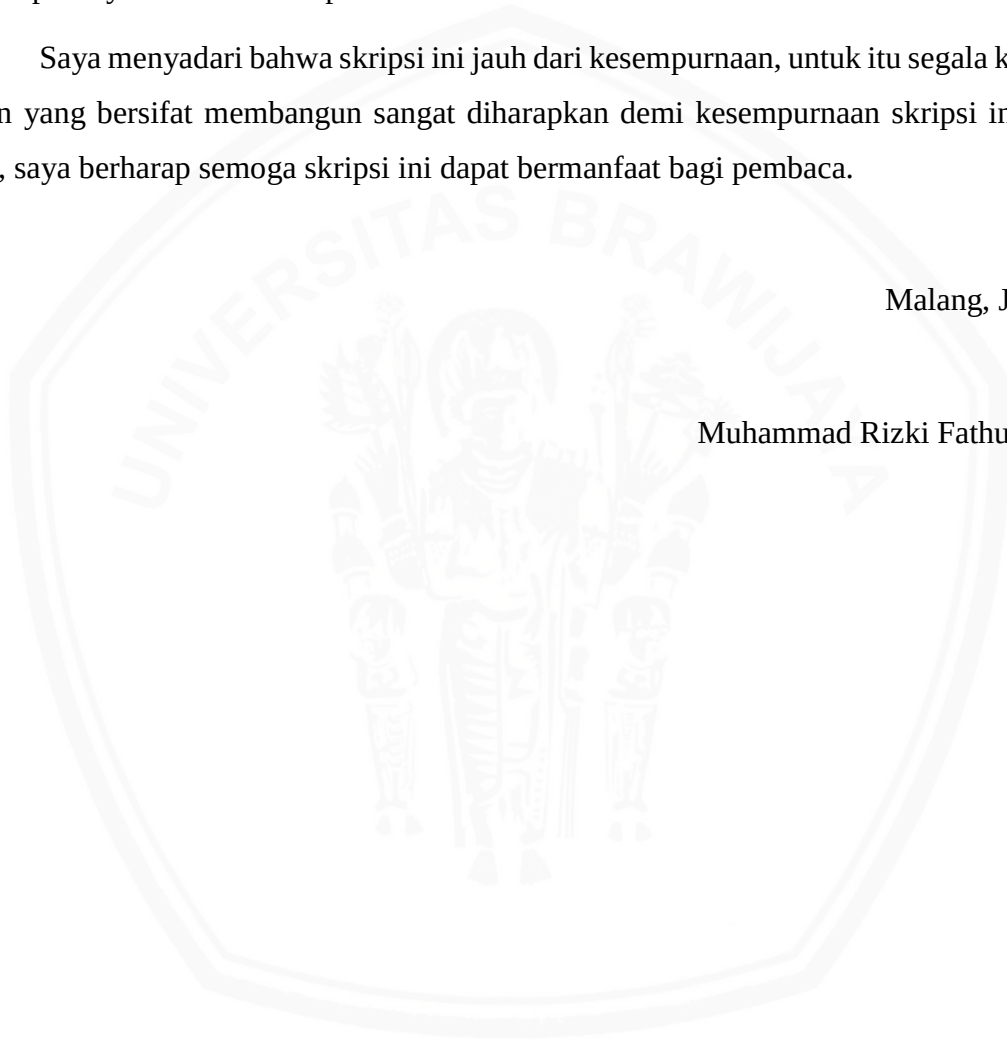
1. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng Indradi W, ST, M.,Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Dr. Eng. Yulvi Zaika., MT dan Dr. Ir. Harimurti., MT selaku dosen pembimbing atas segala arahan, masukan, dan bimbingannya.
5. Ir. M. Taufik Hidayat, MT. selaku dosen pembimbing akademik.
6. Segenap dosen dan Karyawan di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Pak Ketut selaku dosen PLP Laboratorium Mekanika Tanah.
8. Mbak Indah, Mbak Asmi, dan Mbak Meisy selaku Admin Laboratorium Mekanika Tanah.
9. Keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa tanpa henti.
10. Teman-teman dalam tim skripsi Stadium Akhir (Alit, Simpu, Ejak, Arin, Ainul, Adiz, Gates, Yansen) yang telah bekerja bersama-sama dalam mengerjakan skripsi dari awal hingga akhir.
11. Mayland Isya Aria Yudha yang selalu menemani mengerjakan revisi.

12. Sas, Abiel, Jojo, Ilmik, Cembun, Dinda, Afu, Arga, Ast, Aceng, Simpu, Rahmin, Ruroh, Kordes, Shinta, Yansen selaku biji.
13. Teman – teman Teknik Sipil angkatan 2014 yang selalu membantu dari awal hingga sekarang.
14. Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Sipil yang memberi warna pada keseharian saya
15. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan skripsi ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juli 2018

Muhammad Rizki Fathurrahman



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah.....	5
2.1.1 Pengertian Tanah.....	5
2.2 Tanah Lempung.....	7
2.2.1 Mineralogi Tanah Lempung Lunak.....	7
2.2.2 Karakteristik Sifat Fisik Tanah Lempung Lunak	9
2.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah	11
2.3.1 Sistem Klasifikasi Tanah.....	11
2.3.2 Sistem Klasifikasi Tanah <i>Unified</i>	11
2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO	11
2.3.4 Batas – Batas Konsistensi Tanah	14
2.3.5 Berat Isi Tanah (<i>Density Test</i>) dan Porositas Tanah	16

2.4	Penelitian Sifat Mekanik Tanah	16
2.4.1	Uji Pemadatan (<i>Compaction</i>)	18
2.4.2	Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	19
2.5	Korelasi Daya Dukung Tanah dan CBR	20
2.6	Fly Ash	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 23

3.1	Rencana Penelitian	23
3.2	Pekerjaan Persiapan.....	23
3.3	Pekerjaan Lapangan	23
3.4	Pekerjaan Laboratorium	23
3.4.1	Percobaan Penelitian	23
3.4.2	Pengumpulan Data	24
3.5	Metode Penelitian.....	24
3.5.1	Uji Dasar	24
3.5.2	Uji Perilaku	27
3.6	Rencana Penelitian	28
3.7	Analisis Data	28
3.8	Bagan Alir Pengujian	29

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 31

4.1	Pembacaan Data SPT	31
4.2	<i>Fly Ash</i>	31
4.2.1	Uji Kandungan <i>Fly Ash</i>	32
4.2.2	Uji Berat Isi <i>Fly Ash</i>	33
4.3	Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah	33
4.3.1	Uji Analisis Butiran.....	33

4.3.1.1	Sistem Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unified</i>	34
4.3.1.2	Sistem Klasifikasi Tanah Sistem <i>AASHTO</i>	35
4.3.2	Pengujian Batas – Batas Konsistensi (<i>Atterberg Limit</i>)	36
4.3.3	Pengujian <i>Density</i> (Porositas Tanah)	41
4.3.4	Pemeriksaan Pemadatan Standar	42
4.3.5	Pemeriksaan CBR Laboratorium	44
4.3.5.1	Pemeriksaan CBR Tak Terendam (<i>Unsoaked</i>)	44
4.3.5.2	Pemeriksaan CBR Terendam (<i>Soaked</i>)	47
4.3.5.3	Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam dan Terendam	48
BAB V PENUTUP		51
5.1	KESIMPULAN	51
5.2	SARAN	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat umum lempung lunak.....	10
Tabel 2.2	Batas – batas <i>atterbergh</i> untuk mineral lempung	15
Tabel 2.3	Angka Pori, Kadar Air, dan Berat Volume Kering untuk Beberapa Tipe Tanah yang Masih Dalam Keadaan Asli	16
Tabel 2.4	Klasifikasi Abu Terbang Berdasarkan ASTM C 618 – 05	23
Tabel 4.1	Pengelompokan jenis tanah berdasarkan hasil SPT	31
Tabel 4.2	Hasil Pengujian <i>Fly ash</i> dengan Metode XRF (<i>X-Ray Fluoresence</i>)	33
Tabel 4.3	Uji Berat <i>Fly Ash</i>	35
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Batas Cair (Liquid Limit).....	36
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Batas Plastis (Plastic Limit) dan Indeks Plastis	37
Tabel 4.6	Klasifikasi tanah menurut USCS dan AASHTO	39
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Batas Susut (Shrinkage Limit)	40
Tabel 4.8	Hasil Pemeriksaan Density	41
Tabel 4.9	Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standar	43
Tabel 4.10	Hasil Pengujian CBR tak terendam (<i>unsoaked</i>).....	45
Tabel 4.11	Hasil Pengujian CBR terendam (<i>soaked</i>)	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram fase tanah	6
Gambar 2.2	Struktur atom <i>kaolinite</i>	8
Gambar 2.3	Struktur atom <i>montmorillonite</i>	9
Gambar 2.4	Gambar Struktur : (a) <i>kaolinite</i> ; (b) <i>illite</i> ; (c) <i>montmorillonite</i>	9
Gambar 2.5	Grafik plastisitas, sistem USCS	11
Gambar 2.6	Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO.....	13
Gambar 2.7	Batas-batas Atterbergh.....	14
Gambar 2.8	Diagram Fase Tanah	16
Gambar 2.9	Alat uji proctor standar: (a) cetakan; (b) penumbuk.....	19
Gambar 2.10	Grafik korelasi antara Daya Dukung Tanah dengan CBR.....	21
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1	Analisis saringan dan hidrometer.....	34
Gambar 4.2	Klasifikasi tanah USCS.....	35
Gambar 4.3	Klasifikasi tanah AASHTO	35
Gambar 4.4	Hubungan batas cair tanah dengan penambahan <i>fly ash</i>	36
Gambar 4.5	Klasifikasi Tanah Menurut Teori AASHTO.....	38
Gambar 4.6	Klasifikasi Tanah Menurut Teori USCS.....	38
Gambar 4.7	Hubungan batas susut tanah dengan penambahan <i>fly ash</i>	40
Gambar 4.8	Hubungan nilai porositas tanah dengan penambahan <i>fly ash</i>	41
Gambar 4.9	Perbandingan Hasil Pemadatan Tiap Persentase Bahan Stabilisasi.....	42
Gambar 4.10	Hubungan kadar air optimum tanah dengan penambahan <i>fly ash</i>	43
Gambar 4.11	Hubungan berat isi kering maksimum tanah dengan penambahan <i>fly ash</i>	44
Gambar 4.12	Perbandingan Penambahan <i>Fly Ash</i> Terhadap CBR Tak Terendam	45
Gambar 4.13	Perbandingan Penambahan <i>Fly Ash</i> Terhadap CBR Terendam	47
Gambar 4.14	Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (<i>Unsoaked</i>) dan Terendam (<i>Soaked</i>)	48

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Campuran Fly Ash.....	55
Lampiran 2	Data Pengujian Fly Ash	84
Lampiran 3	Data Pengujian SPT	85



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Muhammad Rizki Fahurrahman, Department of civil engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya June 2018, *The Influence of Fly Ash to Physical Behavior and CBR of Soft Soil in Project of Gempol-Pasuruan Toll Road*, Supervisor: Professor Yulvi Zaika and Harimurti.

Gempol – Pasuruan toll road is a road that connects the region with the town of Sidoarjo, Gempol Pasuruan. Because it will use the land as a highway purposes, then the expected ground essentially can withstand the load plan, either from the load of the structure as well as the load the vehicle will pass through the roads. As it has been known that the soil in the area is cohesive, so that in the event of climate anomalies that can cause variations in moisture content is received by the land, which led to unstable ground conditions. This research aims to know the influence of the addition of additives, namely, fly ash, soil characteristics against based on physical properties and had engineer so as to enhance support of the land.

This research was conducted on the analysis of physical and mechanical properties of the soil that has been dicampurakan with the rate of fly ash varyby 5%; 10%; 15%; 20%; and 25% that will be compared to the original land that has been done by previous researchers. As for the test will be compared to the standard Compaction test, California Bearing Ratio (CBR) test, density test, and Atterberg Limit test (LL/PL/SL).

The value of Atterberg Limit test, liquid limit, plastic limit, and shrinkage limit on soil that have mixed by fly ash is reduced. On testing the weight content of soil and soil porosity, soil that has been mixed with fly ash, contents weight tends is increased, however soil porosity is decreased. On standart compaction test, the weight of the contents of dry land that has been mixed with fly ash are likely to increase while the optimum moisture content soil is decreased. On testing California Bearing Ratio (CBR) unsoaked original land has a value of CBR of 11.60%, with a percentage of mixture of fly ash 15% generate value highest of CBR is 25.63% while the testing of California Bearing Ratio (CBR)soaked the original has the value soil is CBR 5.24%, with a percentage of mixture of fly ash yields a value of 15% of the highest of CBR is 13.75%.

Keywords: soft soil, power ground support, fly ash, soil attributes (mechanical and physical).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



RINGKASAN

Muhammad Rizki Fahurrahman, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Penambahan Fly Ash pada Sifat Fisik dan CBR Tanah Lunak di Proyek Jalan Tol Gempol-Pasuruan*, Dosen Pembimbing: Yulvi Zaika dan Harimurti.

Jalan tol Gempol – Pasuruan merupakan jalan yang menghubungkan daerah Gempol, Sidoarjo dengan Kota Pasuruan. Karena akan digunakannya lahan tersebut sebagai keperluan jalan tol, maka diharapkan tanah dasarnya dapat menahan beban rencana, baik dari beban struktur maupun beban kendaraan yang akan melewati jalan tersebut. Seperti yang telah diketahui bahwa tanah di daerah tersebut bersifat kohesif, sehingga apabila terjadi anomali iklim yang dapat menyebabkan adanya variasi kadar air yang diterima oleh tanah, yang menyebabkan kondisi tanah menjadi tidak stabil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif, yaitu *fly ash*, terhadap karakteristik tanah berdasarkan sifat fisik dan mekaniknya sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah.

Pada penelitian ini dilakukan analisis sifat fisik dan mekanik tanah yang telah dicampurkan dengan kadar *fly ash* yang bervariasi, yaitu sebesar 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25% yang akan dibandingkan dengan tanah asli yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Adapun pengujian yang akan dibandingkan yaitu uji Pemadatan standar, uji *California Bearing Ratio* (CBR), uji *density*, dan uji Atterberg Limit (LL/PL/SL).

Pada pengujian Atterberg Limit, batas plastis, batas cair, dan batas susut tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* mengalami penurunan. Pada pengujian berat isi tanah dan porositas tanah, tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* berat isinya cenderung naik, sementara porositas tanah mengalami penurunan. Pada pengujian pemadatan, berat isi kering tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* cenderung mengalami kenaikan sementara kadar air optimum tanah cenderung mengalami penurunan. Pada pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) tanpa rendaman tanah asli memiliki nilai CBR sebesar 11,60%, dengan presentase campuran *fly ash* 15% menghasilkan nilai CBR tertinggi yaitu sebesar 25,63% sementara pada pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) rendaman, tanah asli memiliki nilai CBR 5,24%, dengan presentase campuran *fly ash* sebesar 15% menghasilkan nilai CBR tertinggi yaitu sebesar 13,75%.

Kata kunci: tanah lunak, *fly ash*, daya dukung tanah, sifat tanah (mekanik dan fisik).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Tanah merupakan salah satu aspek terpenting dari suatu infrastruktur karena fungsi tanah yaitu menerima dan menahan beban struktural di atasnya. Pada tanah lunak terdapat beberapa kekurangan yang membuatnya perlakuan khusus seperti salah satunya yaitu penambahan zat tambah (*additive*) terhadap tanah tersebut sebelum dilakukannya pembangunan karena sifat tanah lunak yang mempunyai kadar air yang tinggi juga memiliki daya dukung tanah yang rendah.

Fly ash merupakan suatu bahan yang bisa menjadi alternatif untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan mencampurkannya kepada tanah yang membutuhkan perlakuan tersebut khususnya terhadap tanah lempung ekspansif karena ukuran partikel *fly ash* yang relatif kecil sehingga bisa mengisi pori yang terdapat di dalam tanah tersebut. Penggunaan *fly ash* sebagai zat tambah (*additive*) juga bisa mengurangi limbah batu bara yang menimbulkan dampak pencemaran lingkungan yang cukup besar.

Dalam penelitian ini penguji mengambil sampel tanah lempung ekspansif dari daerah Pasuruan yang menjadi area proyek pembangunan jalan tol Gempol yang menghubungkan antara daerah Gempol dengan Kota Pasuruan yang direncanakan akan berjarak $\pm 34,15$ km. Pada daerah tersebut, muka air tanah relatif tinggi dan terdapat tanah humus di lapisan atasnya. *Fly ash* yang digunakan untuk pencampuran adalah *fly ash* kelas-C yang umum digunakan masyarakat sebagai zat tambah untuk campuran semen.

Presentase pencampuran *fly ash* pada penelitian ini berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Supandi et. al. (2017), Rama Indera K et. al. (2016), dan Ibrahim (2014) , dimana peneliti terdahulu mendapatkan bahwa

presentase optimum pencampuran fly ash berada pada rentang 7,5% sampai dengan 25% dengan masa pengeraman selama 14 hari. Maka dari itu saya sebagai peneliti membuat beberapa sampel tanah lempung yang terdiri dari beberapa presentase campuran *fly ash*, yaitu 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dipaparkan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana konsistensi tanah dari pencampuran *Fly Ash* terhadap *Atterberg Limit* ?
2. Bagaimana pengaruh dari pencampuran *Fly Ash* terhadap porositas dan berat isi tanah ?
3. Bagaimana pengaruh dari pencampuran *Fly Ash* terhadap kadar air optimum dan berat isi kering maksimum tanah ?
4. Bagaimana pengaruh dari pencampuran *Fly Ash* terhadap nilai CBR tanah ?

1.3. Batasan Penelitian

Agar tujuan hasil penelitian ini lenih jelas, maka dari itu diberikan batasan terhadap masalah yang terjadi , yaitu :

1. Penelitian dilakukan di laboratorium mekanikan tanah jurusan sipil fakultas Teknik Universitas Brawijaya, dengan penelitian sebagai berikut :
 - Pemadatan Tanah
 - CBR
 - Atterberg Limit
 - Density Test
2. Tanah yang digunakan adalah tanah di daerah rencana jalan tol Gempol – Pasuruan
3. Presentase campuran *fly ash* di dalam tanah yang digunakan sebesar 5%; 10%; 15%; 20%; 25%.
4. Zat tambah (*additive*) yang digunakan adalah *Fly Ash*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah dijelaskan diatas maka dapat didapatkan tujuan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh dan hasil dari tanah asli yang ditambahnkan / diperbaiki menggunakan zat tambah *Fly Ash* terhadap sifat fisik tanah (LL,PL,SL, dan *density*).
2. Mengetahui pengaruh dan hasil dari tanah asli yang ditambahnkan / diperbaiki menggunakan zat tambah *Fly Ash* terhadap uji pemadatan dan nilai CBR tanah.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Sebagai salah satu solusi perbaikan tanah lunak menggunakan zat tambah *Fly Ash* untuk pembangunan jalan tol Gempol – Pasuruan Jawa Timur.
2. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai perbandingan antara perbaikan tanah yang menggunakan zat tambah *Fly Ash* dengan zat aditif lainnya (kapur dan semen).
3. Penggunaan *Fly Ash* sebagai zat tambah untuk meningkatkan daya dukung dan nilai CBR tanah dapat mengurangi limbah batu bara, yaitu *Fly Ash* itu sendiri.
4. Untuk mengetahui konsistensi tanah terhadap nilai *Atterberg Limit*.
5. Untuk mengetahui berat isi tanah setelah dilakukan pencampuran dengan *Fly Ash*.
6. Untuk mengetahui nilai porositas tanah setelah dilakukan pencampuran dengan *Fly Ash*.
7. Untuk mengetahui berapa kadar campuran *Fly Ash* yang dapat memberikan daya dukung tanah maksimum.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

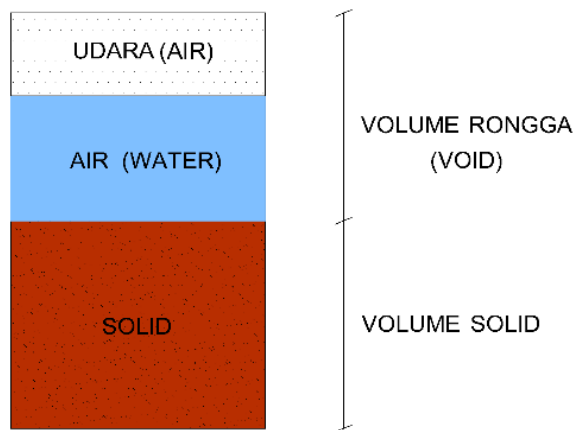
2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak bersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan bahan-bahan organik (yang berpartikel padat). Partikel tanah tersebut di atas terdapat dalam rentang ukuran yang cukup lebar, mulai dari berangkal (boulder) sampai serbuk batu halus. (Herlien, 2008). Tanah ini merupakan hal yang sangat penting sebagai bahan bangunan dalam pekerjaan teknik, yang berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Tanah terdiri dari berbagai macam partikel diantaranya potongan batuan ukuran besar (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (*colloids*).

Adapun menurut para ahli teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai :

1. Tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat dimaksud diaduk dalam air (Terzaghi, 1987).
2. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991)
3. Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahanbahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).
4. Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butir tanahnya sendiri serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antar butir-butir tersebut (Wesley, 1997).



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah (Das, 1995)

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat (Gambar 2.1). Udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran (ruang ini disebut pori atau voids) sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Sehingga jika beban diterapkan pada tanah kohesif yang jenuh maka pertama kali beban tersebut akan didukung oleh tekanan air dalam rongga pori tanahnya. Pada kondisi ini butiran-butiran lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk meningkatkan tahanan geser selama pori di dalam rongga pori tidak keluar meninggalkan rongga tersebut. Karena rongga pori tanah lempung sangat kecil, keluarnya air pori meninggalkan rongga pori memerlukan waktu yang lama. Jika sesudah waktu yang lama setelah air dalam rongga pori berkurang butiran-butiran lempung dapat mendekat satu sama lain sehingga tahanan geser tanahnya meningkat. Masalah ini tak dijumpai pada tanah granuler yang rongga porinya relatif besar karena sewaktu beban diterapkan air langsung keluar dari rongga pori dan butiran dapat mendekat satu sama lain yang mengakibatkan tekanan gesernya langsung meningkat.

Peranan tanah ini sangat penting didalam perencanaan dan pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada diatasnya. Oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan sebagai pendukung konstruksi haruslah dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat *multi component* yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair, dan udara. Bagian yang padat merupakan polymorphous terdiri dari mineral inorganic dan organis. Mineral – mineral lempung merupakan substansi – substansi Kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan kimia pada pembentukan mineral – mineral batuan dasar. Semua mineral lempung sangat tipis termasuk dalam kelompok – kelompok partikel kristalnya berukuran koloid ($<0,002$ mm) dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop electron.

Mitchell (1976) memberikan batasan bahwa yang dimaksud dengan ukuran butir lempung adalah partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, sedangkan mineral lempung adalah kelompok – kelompok partikel Kristal berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang terjadi akibat proses pelapukan dari batuan ditambah dengan sifatnya yang dijelaskan lebih lanjut. Sedangkan menurut Craig (1987), tanah lempung adalah mineral tanah sebagai kelompok – kelompok partikel kristal koloid berukuran kurang dari 0,002 mm, yang terjadi akibat proses pelapukan kimia pada batuan yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam ataupun alkali, dan karbondioksida.

Lapisan lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban.

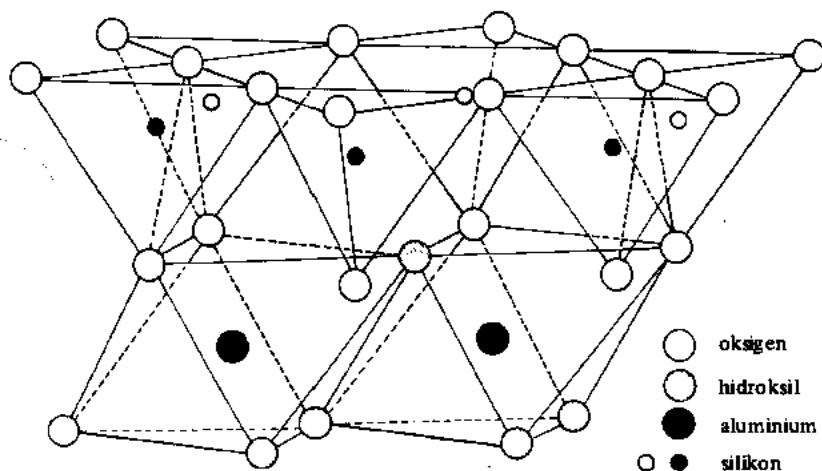
Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi, bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

2.2.1 Minerologi Tanah Lempung Lunak

Mineral lempung merupakan hasil pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran kurang dari 0,002 mm. partikel lempung memiliki bentuk menyerupai lembaran yang memiliki permukaan khusus, sehingga lempung memiliki sifat yang dipengaruhi oleh gaya – gaya pada permukaan. Terdapat kira – kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Tiga jenis mineral lempung utama yang sudah dikenal yaitu:

i) . Kaolinite

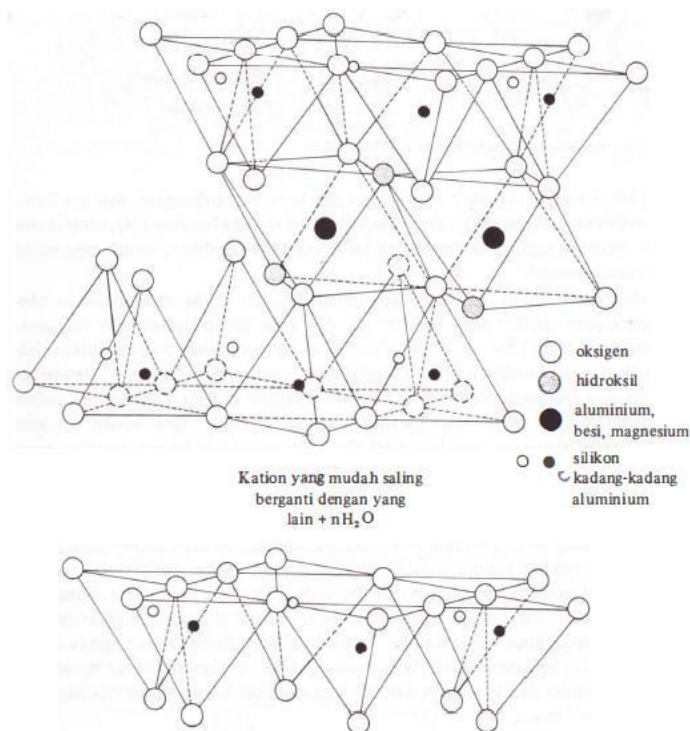
Kaolinite merupakan mineral lempung paling tidak aktif yang pernah diamati. *Kaolinite* dapat dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif atau dapat juga terbentuk langsung dari produk sampingan pelapukan batuan. Warna *kaolinite* murni umumnya putih, putih kelabu, kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan.



Gambar 2.2 Struktur atom *Kaolinite* (Das, 1995)

2. Montmorillonite

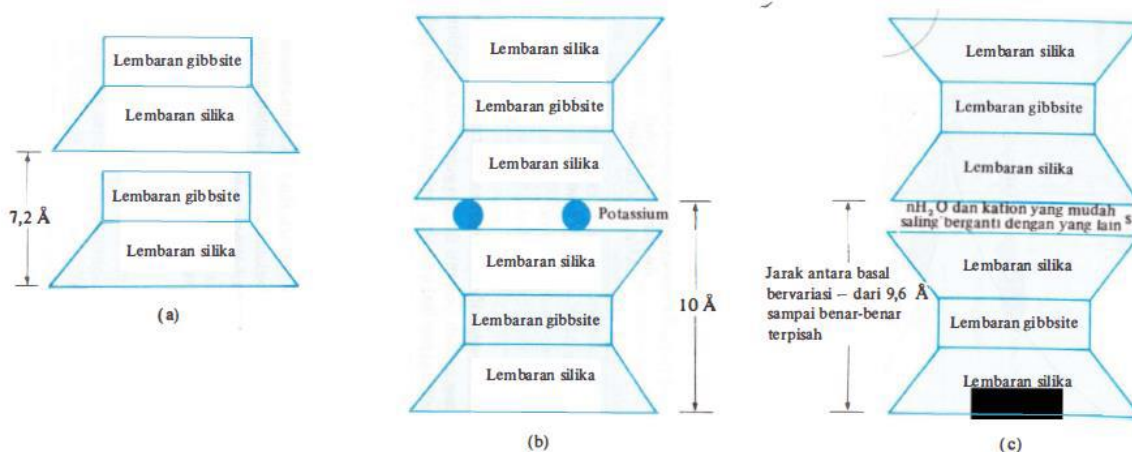
Montmorillonite memiliki susunan kristal yang terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya, maka dari itu *montmorillonite* disebut mineral dua banding satu (2:1). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Walls. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



Gambar 2.3 Struktur atom *Montmorillonite* (Das, 1995)

3. Illite

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula hidrat-mika. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *montmorillonite*.



Gambar 2.4 Gambar Struktur : (a) *kaolinite* ; (b) *illite* ; (c) *montmorillonite* (Das, 1995).

2.2.2 Karakteristik Sifat Fisik Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besarnya dari butir – butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah

lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan memiliki daya dukung yang rendah dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah – tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

1. Kuat geser rendah.
2. Berkurang kuat gesernya bila kadar air bertambah.
3. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu.
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
5. Menyusut bila kering dan mengembang basah.
6. Kompresibilitasnya besar.
7. Berubah volume dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan.
8. Merupakan material kedap air.

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lempung lunak apabila mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (N-value < 4). Berdasarkan uji lapangan, lempung lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Toha (1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat-sifat umum lempung lunak (Toha, 1989)

No.	Parameter	Nilai
1.	Kadar air	80 – 100%
2.	Batas cair	80 – 100%
3.	Batas plastis	30 – 45%
4.	Lolos saringan no.200	>90%
5.	Kuat geser	20 – 40 Kn/m ²

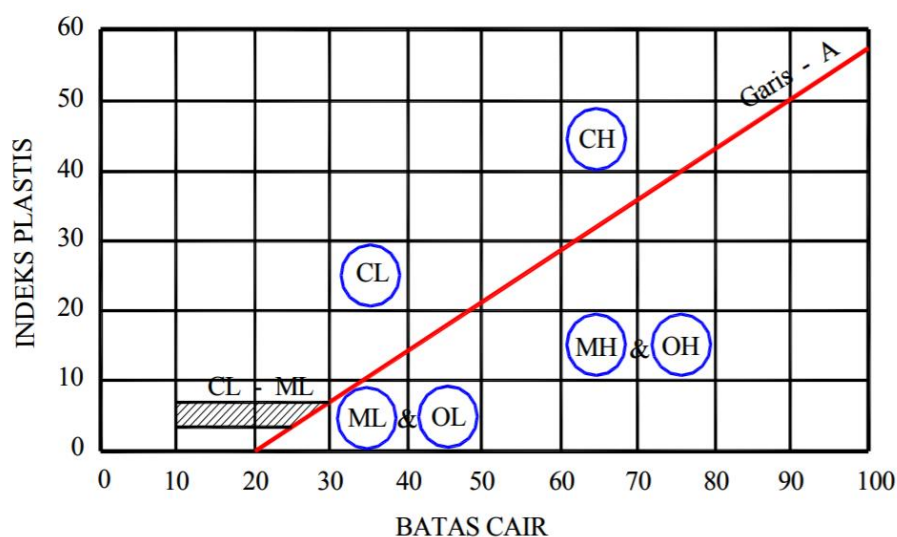
2.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah

2.3.1 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran tanah dan plastisitas. Sistem klasifikasi tanah tersebut ada bermacam-macam tetapi tidak ada satupun yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat tanah yang bervariasi.

2.3.2 Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan hasil laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah *Unified Soil Classification System*. Ada dua golongan besar, tanah yang berbutir kasar < 50% melalui saringan No. 200 dan tanah berbutir halus > 50% melalui saringan No.200. Seperti dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Plastisitas, sistem USCS (Das, 1995)

2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official Classification* (AASHTO) membagi tanah menjadi 7 kelompok. Tanah – tanah dalam kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-

rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterbergh. Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dan kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (Hardiyatmo H,C, hal 45) :

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

Dimana :

GI = Indeks Kelompok

F = Persen tanah lolos saringan No. 200

LL = Batas Cair

PI = Indeks Plastisitas

Menurut AASHTO tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai A-7. Tanah dengan klasifikasi A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir yaitu 35% atau kurang jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200, sedangkan tanah dengan klasifikasi A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% dan butirannya lolos ayakan No.200. Dimana masing-masing dibedakan lagi menjadi :

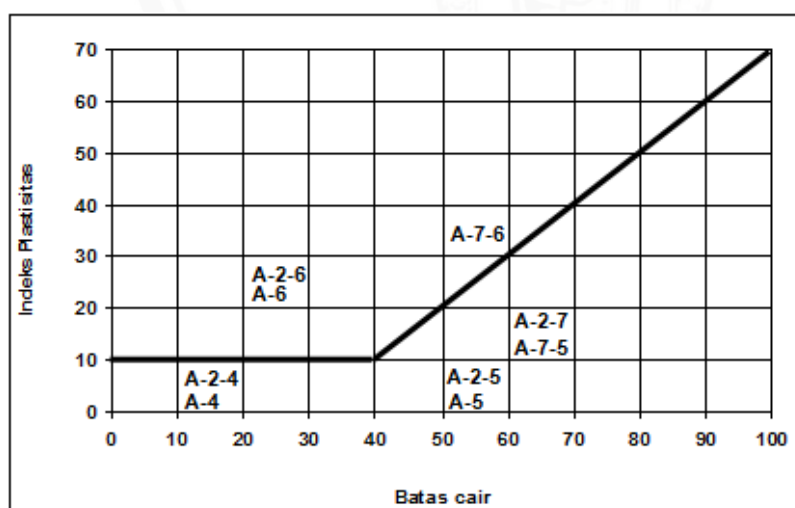
- 1) A-1 (A-1-a ; A-1-b), kelompok ini termasuk granular. Tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastis.
- 2) A-2 (A-2-4 ; A-2-5 ; A-2-6 ; A-2-7), termasuk kelompok gravel dan sand, terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus lolos No. 200 dan tidak plastis.
- 3) A-3, termasuk kelompok gravel dan sand, kelompok batas tanah berbutir kasar dan halus Dan merupakan campuran kerikil / pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak (< 35%)
- 4) A-4, tanah lanau dengan sifat plastis rendah
- 5) A-5, tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir – butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari A-4
- 6) A-6 (silt dan clay), tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
- 7) A-7, tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200				
	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Min 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

*Untuk A-7-5, $PI \leq LL-30$

^Untuk A-7-6, $PI > LL-30$

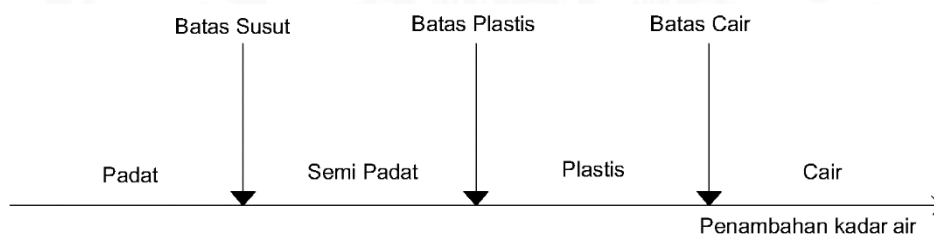


Gambar 2.6 Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO

2.3.4 Batas – Batas Konsistensi Tanah

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*absorbed water*) dikelilingi partikel lempung. Seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterbergh mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar airnya (*w*) tinggi, campuran tanah dan air menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang didukung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar yaitu, padat, semi padat, plastis, dan cair seperti pada gambar 2.7.

Kadar air dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat menjadi keadaan semi padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air pada keadaan antara daerah plastis dan semi plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*).



Gambar 2.7 Batas-batas Atterbergh (Hardiyatmo, 2012)

1. Batas Cair / *Liquid Limit* (LL)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi dimana tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.

2. Batas Plastis / *Plastic Limit* (PL)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak ketika digulung.

3. Batas Susut / *Shrinkage Limit* (SL)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air

selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyatakan dalam persamaan :

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% \right) - \left(\frac{(v_1 - v_2)}{m_2} \times \gamma_w \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

m_1 = berat tanah basah (gr)

m_2 = berat tanah kering oven (gr)

V_1 = volume tanah basah (cm^3)

V_2 = volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat jenis air (gr/cm^3)

Tabel 2.2 Batas – batas *atterbergh* untuk mineral lempung (Mitchel, 1976)

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
<i>Montmorillonite</i>	100 – 90	50 – 100	8,5 – 15
<i>Illite</i>	60 – 120	35 – 60	15 – 17
<i>Kaolinite</i>	30 – 110	25 – 40	25 – 29

Berdasarkan Tabel 2.2 maka dapat dilihat, tanah lempung lunak dapat dikategorikan ke dalam kelompok MH atau OH berdasarkan sistem klasifikasi tanah *unified*. Dalam sistem *Unified*, yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh Casagrande (1948), simbol kelompok terdiri dari huruf-huruf deskriptif primer dan sekunder. Klasifikasi didasarkan atas prosedur-prosedur di laboratorium dan di lapangan. Tanah yang mempertunjukkan karakteristik dari dua kelompok harus diberi klasifikasi pembatas yang di tandai oleh simbol yang dipisahkan oleh tanda hubung.

4. Indeks Plastisitas / *Plastic Index* (IP)

Indeks plastisitas tanah adalah selisih antara batas cair dan batas plastis atau perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah. Indeks plastisitas didapat berdasarkan rumus:

$$IP = LL - PL \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

IP = indeks plastisitas

LL= batas cair

PL= batas plastis

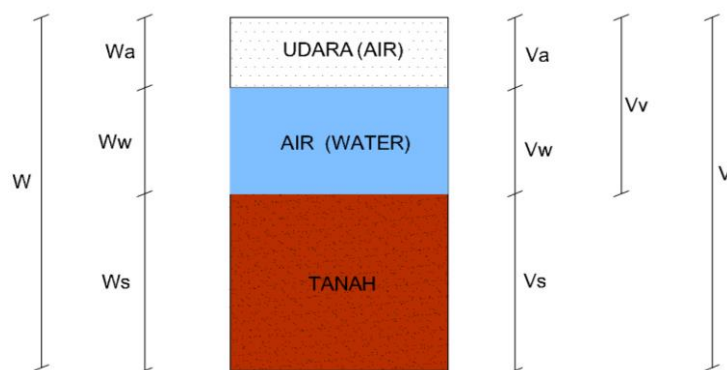
2.3.5 Berat Isi Tanah (*Density Test*) dan Porositas Tanah

Pengujian berat isi tanah (*density test*) memiliki tujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah, sedangkan pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Setelah diketahui hasil dari pengujian *density test*, maka tanah dapat diketahui termasuk ke dalam jenis tanah dari tabel 2.3.

Tabel 2.3 Angka Pori, Kadar Air, dan Berat Volume Kering untuk Beberapa Tipe Tanah yang Masih Dalam Keadaan Asli (Das, 1995)

Tipe Tanah	Angka Pori, e	Kadar air dalam keadaan jenuh	Berat volume kering, d
Pasir lepas dengan butiran seragam	0,8	30	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam	0,45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut	0,65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut	0,4	15	19
Lempung kaku	0,6	21	17
Lempung Lembek	0,9 - 1,4	30 - 50	11,5 - 14,5
Tanah	0,9	25	13,5
Lempung organik lembek	2,5 - 3,2	90 - 120	6 - 8.
Glacial till	0,3	10	21

2.4 Penelitian Sifat Mekanik Tanah



Gambar 2.8 Diagram Fase Tanah (Hardiyatmo, 2012)

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Bagian tersebut dapat

digambarkan dalam diagram fase, seperti pada gambar 2.8. Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_v = V_w - V_a \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat cair

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol.

Istilah umum yang digunakan untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit weight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut antara lain:

- a. Kadar air (w), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = 100 \times W_s \times W_w \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan w = kadar air ; W_w = berat air ; W_s = berat butiran

- b. Berat Volume Tanah (γ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = W_s / V \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan : γ = berat volume ; V = volume tanah

- c. Berat jenis (*Spesific Gravity* (G_s)) adalah perbandingan antara volume butiran tanah dengan volume air.

$$G_s = (W_s \times G_w) / (W_s - W_b) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan : G_w = berat jenis air ; W_b = berat tanah basah

2.4.1 Uji Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan penggunaan energi mekanik untuk menghasilkan pemampatan partikel. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dengan berat volume kering supaya tanah padat, setelahnya didapatkan nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya.

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya dapat digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.

Kurva yang didapatkan dari pengujian akan memperlihatkan kadar air terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan yang maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content, OMC*). Pada nilai kadar air yang rendah, keadaan tanah akan cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan, sehingga ketika ditambahkan kadar air maka tanah akan lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara didalam tanah dapat dipaksa keluar pada saat pemadatan, maka tanah akan berada pada keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

Untuk suatu kadar air tertentu, berat volume kering maksimum secara teoritis didapat bila pada pori-pori tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Keadaan ini disebut sebagai *zero air voids*. Dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\gamma_d = (G_s \cdot \gamma_w) / (1 + w \cdot G_s) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana: □

d = berat isi tanah kering

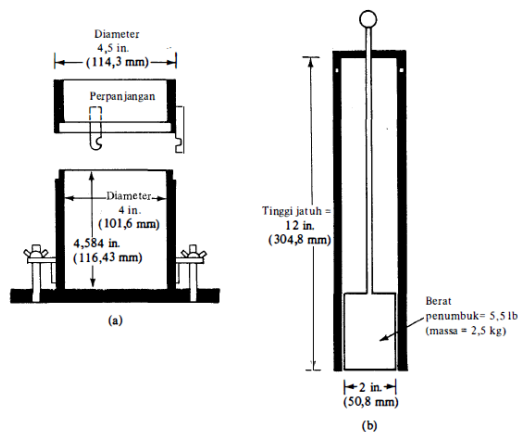
w = berat isi air

w = kadar air

G_s = berat jenis tanah

Selain bergantung pada kadar air, hasil pemadatan juga bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah dan kadar airnya. Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran, berat spesifik, dan jumlah serta jenis material lempung yang

ada pada tanah, mempunyai pengaruh besar terhadap harga berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut.



Gambar 2.9 Alat uji proctor standar: (a) cetakan; (b) penumbuk.

2.4.2 Uji California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai pada pembuatan perkerasan jalan raya. Nilai CBR selanjutnya digunakan untuk penentuan tebal perkerasan yang akan dibuat di atas tanah dasar. Semakin besar nilai CBR-nya, maka tebal perkerasannya akan semakin kecil.

Pengujian CBR Laboratorium menggunakan contoh tanah kering udara yang dicampur dengan air sampai kadar air optimum kemudian dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 56 kali pada lapisan pertama sepertiga dari tinggi mold, 56 kali pada lapisan kedua pada ketinggian dua pertiga tinggi mold, dan ditumbuk 56 kali saat mold penuh pada lapisan ketiga. Untuk pemeriksaan CBR langsung (*unsoaked CBR*), benda uji telah siap diperiksa nilai CBR-nya.

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang didapatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan beban penetrasi suatu bahan (dapat berupa tanah atau material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Biasanya pengujian CBR untuk mengetahui tingkat kekerasan material perkerasan jalan raya. CBR dapat diujikan di laboratorium ataupun di lapangan.

Dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, harga CBR dapat dihitung dengan cara membagi masing – masing beban dengan bahan standar CBR pada penetrasi 0,1” dengan beban standar 70,31 kg (1000psi), penetrasi 0,2” dengan beban standar 1045,47 kg

(1500 psi) Dan dikalikan dengan 100%. Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inch. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm (0,1 inch) Dan 5,08 mm (0,2 inch). Dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1 inch lebih kecil dari 0,2 inch maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua ini masih lebih kecil pada 0,1 inch maka nilai CBR yang dipakai adalah yang terbesar.

2.5 Korelasi Daya Dukung Tanah dan CBR

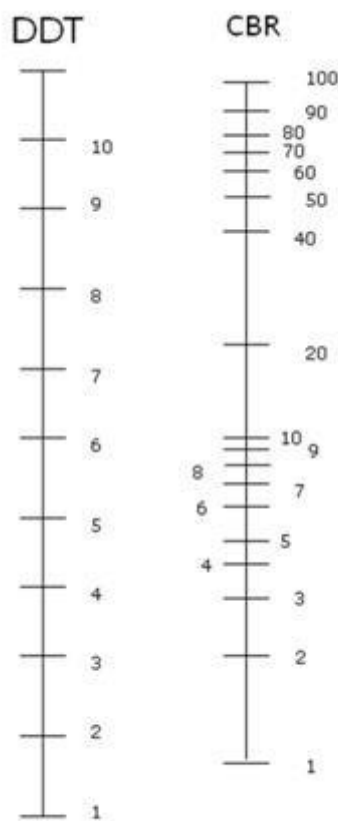
Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi antara daya dukung tanah dengan CBR. Nilai CBR yang dimaksudkan adalah harga CBR baik lapangan maupun laboratorium.

Jika digunakan CBR lapangan, maka pengambilan sampel tanah dilakukan dengan tabung (undisturbed) lalu direndam dan dilakukan pemeriksaan pada nilai CBR. Sedangkan untuk CBR laboratorium biasanya digunakan sebagai perencanaan pembangunan jalan.

Daya dukung tanah dasar dapat diperoleh dari nilai CBR atau *Plate Bearing Test*, DCP, dan sebagainya. Korelasi antara daya dukung tanah dengan CBR subgrade dapat dilihat menggunakan grafik pada gambar 2.15.

CBR : skala log

DDT : skala linear



Gambar 2.10 Grafik korelasi antara Daya Dukung Tanah dengan CBR

2.6 Fly Ash

Fly ash atau biasa disebut sebagai abu terbang merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu – abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batubara dalam PLTU menghasilkan 2 (dua) jenis limbah padat yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa *Fly ash* dikategorikan sebagai bahan B3. *Fly ash* yang diperoleh dari produksi pembakaran batubara, dengan corong gas dan menyebar ke atmosfer. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan karena *fly ash* hasil dari pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan.

Dalam usaha ntuk menciptakan konstruksi yang berwawasan lingkungan, pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pengganti sebagian semen pada campuran beton merupakan salah satu usaha yang efektif dalam pemanfaatan limbah abu terbang. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa penggunaan abu terbang sebagai bahan pengganti sebagian semen dapat memberikan dampak yang sangat baik.

Faktor – faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metode penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008). Menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton dan Wardani (2008), *fly ash* dikelompokkan menjadi 3 jenis, antara lain :

a. Kelas F

Jenis ini pada umumnya diperoleh dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau *bituminous* batubara. Jenis *fly ash* ini bersifat *Pozzolanic*. *Fly ash* kelas ini memiliki kadar kapur rendah sebesar $\text{CaO} < 10\%$.

b. Kelas C

Jenis ini pada umumnya diperoleh dari *lignite* atau batubara subitumen. Jenis *fly ash* ini bersifat pozzolan dan sifat yang menyerupai semen yaitu dapat mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air. Kandungan kapur sebesar $\text{CaO} > 20\%$.

c. Kelas N

Jenis ini adalah buangan atau pozzolan alam yang terkalsinasi. Seperti *opalinse chert*, tanah *diatomaceous* dan debu-debu vulkanik.

Tabel 2.4

Klasifikasi Abu Terbang Berdasarkan ASTM C 618 – 05.

	Class		
	N	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min, %	70.0	70.0	50.0
SO_3 , max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture Content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 ^A	6.0

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Rencana Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, pekerjaan lapangan, dan pekerjaan laboratorium. Perencanaan penelitian penting dilakukan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga didapatkan hasil sesuai yang diinginkan serta tepat waktu.

3.2. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan. Tahap pelaksanaan meliputi studi pendahuluan, konsultasi dengan beberapa narasumber, pengajuan proposal, mengurus perijinan penelitian, dan koordinasi untuk pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

3.3. Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pengambilan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil adalah lunak dari daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan, dengan cara pengambilan tak terganggu (*undisturbed soil*) dan keadaan terganggu (*disturbed*).

3.4. Pekerjaan Laboratorium

3.4.1. Percobaan Penelitian

Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Uji Pemadatan (Standar)
- b. Uji CBR
- c. Uji Atterberg Limit
- d. Uji Berat Isi Tanah (Density) dan Porositas Tanah

3.4.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada studi ini hanya berasal dari data primer yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan di laboratorium.

3.5. Metode Penelitian

3.5.1. Uji Dasar

Melakukan penelitian dengan data-data yang dimiliki oleh tanah asli yang sudah didapatkan dari penelitian sebelumnya yang mendapatkan kadar air optimum (OMC) untuk dipakai sebagai kadar air dari tanah yang akan dicampur oleh bahan tambah (*additive*) :

a) Pengujian Atterbergh Limit

Pemeriksaan atterbergh limit dilakukan dengan 3 cara yaitu Plastic Limit yang bertujuan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis, Liquid Limit yang bertujuan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair, dan Shrinkage Limit yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanah setelah dioven.

Dilakukan pemeriksaan batas konsistensi (Atterbergh Limit) tanah dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Plastic Limit

1. Letakkan 100 gram benda uji yang sudah mengandung zat aditif di dalam sebuah wadah
2. Aduk benda uji tersebut sambil menambahkan air sedikit demi sedikit sampai kadar air merata

3. Setelah contoh menjadi campuran yang rata, buat bola-bola tanah dari benda uji tersebut seberat 8 gram, kemudian bola-bola tanah itu digiling-giling di atas plat kaca. Penggilingan dilakukan dengan telapak tangan sampai membentuk batang dengan diameter ± 3 mm
4. Jika pada saat penggilingan ternyata sebelum benda uji mencapai ± 3 mm sudah retak, maka benda uji disatukan kembali, kemudian ditambah sedikit air dan diaduk sampai merata. Setelah itu, buat bola-bola lagi dan lakukan kembali penggilingan hingga mencapai diameter ± 3 mm
5. Jika ternyata penggilingan bola-bola itu bisa mencapai diameter lebih dari 3 mm tanpa menunjukkan retakan-retakan, maka contoh tanah perlu dibiarkan beberapa menit di udara agar airnya berkurang sedikit
6. Pengadukan dan penggilingan diulangi terus sampai retakan-retakan itu terjadi tepat pada saat pilinan mempunyai diameter ± 3 mm

- Liquid Limit

1. Aduk benda uji sebanyak 100 gram dengan menggunakan spatula, dan tambahkan air sambil diaduk hingga tanah menjadi homogeny.
2. Setelah merata, letakkan sebagian benda uji diatas mangkuk batas cair, dan ratakan permukaan hingga bagian paling tebal sekitar 1cm.
3. Buat alur dengan membagi 2 tanah sample tersebut dengan grooving tool
4. Putar tuas alat dengan kecepatan jatuhnya mangkuk 2 putaran per detik
5. Lakukan putaran terus hingga belahan sample bersinggungan sepanjang 1.25cm dan catat jumlah ketukannya.
6. Ulangi pekerjaan c dan e beberapa kali hingga didapat jumlah ketukan yang sama.
7. Kembalikan lagi sample uji, dan buat adonan baru dengan merubah kadar airnya hingga dapat perbedaan jumlah pukulan sebesar 8-10 pukulan.
8. Sampel tanah yang memenuhi, diambil untuk ditimbang dan dioven.
9. Setelah dioven, ditimbang dan dicatat berat keringnya.

- Shrinkage Limit

1. Menimbang berat shrinkage disk
2. Mengisi shrinkage disk dengan air raksa untuk menentukan volume tanah basah

3. Masukkan tanah yang telah ditambahkan air dan melalui uji Plastic Limit sebanyak 25 ketukan ke dalam cawan penyusut dan ratakan dengan mengetuk-ngetuk agar cawan benar-benar terisi, kemudian ratakan permukaan tanah dengan menggunakan grass plate.
4. Kemudian tanah tersebut ditimbang. Biarkan pasta mengering di udara dan kemudian masukkan kedalam oven.
5. Setelah sample benar-benar kering, timbang ulang berat cawan kosong bersih dan kering.
6. Alirkan raksa ke dalam cawan yang berisi sampel yang sudah mengering, dan kemudian tekan dengan kaca secara kuat hingga raksa yang berlebih mengalir keluar.
7. Ukur banyaknya air raksa yang meluber untuk mengetahui volume tanah kering (V_s).

b) Pengujian Angka Pori

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan density tanah di lapangan dengan menggunakan *drive cylinder* untuk tanah *undisturbed*.

Dilakukan pemeriksaan angka pori tanah dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Menimbang ring silinder dalam keadaan kosong.
2. Sampel tanah yang telah diambil menggunakan ring silinder ditimbang dalam keadaan basah.
3. Setelah itu sampel dioven selama ± 6 jam atau sampai keadaan sampel mencapai berat konstan.
4. Setelah dikeringkan, sampel lalu ditimbang dan dicatat beratnya.

c) Pengujian Pemadatan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar *fly ash* dan kepadatan tanah yang dinyatakan dalam berat isi kering dengan memadatkan.

Dilakukan percobaan pemadatan dengan langkah – langkah berikut :

1. Tanah lunak dikeringkan, lalu disaring dengan saringan No.4.

2. Lalu tanah lunak yang telah dikeringkan tersebut dibagi menjadi 5 sampel dengan berat masing-masing 5 kg (sudah termasuk kadar *fly ash* di dalam tanah; yaitu 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%) dan dicampurkan dengan air masing – masing untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) tanah yang sudah dicampur *fly ash*.
3. Untuk perlakuan pertama, tanah yang sudah dicampur *fly ash* 250gr (5%) diratakan pada wadah dan dibagi menjadi 3 bagian dengan asumsi pembagian beratnya sama.
4. Mulai dari potongan sampel yang pertama dimasukkan ke dalam tabung pemadatan (terdiri dari tabung atas dan tabung bawah) setinggi sepertiga tabung, kemudian dipadatkan dengan tumbukan proctor seberat 2,45 kg dan tinggi jatuh 30,5 cm yang dijatuhkan sebanyak 56 kali merata ke seluruh permukaan sampel.
5. Kemudian dilanjutkan pada lapisan kedua dan ketiga dengan prosedur yang sama.
6. Setelah penumbukan, sampel tanah diratakan bagian atas tabung dan bawah tabung dengan asumsi kepadatan merata muai pada bagian tersebut.
7. Sampel diambil di permukaan, bagian tengah, dan bagian bawah tabung untuk ditimbang dan kemudian dioven untuk keperluan analisa berat volume dan kadar air.
8. Lakukan hal yang sama dengan campuran kadar *fly ash* di dalam tanah untuk 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%.
9. Dari uji diatas didapat kadar air optimum (OMC) dan kadar *fly ash* optimum.

3.5.2. Uji Perilaku

a. Pengujian CBR

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai CBR tanah dari campuran tanah agregat yang dipadatkan pada kadar air tertentu.

Dilakukan percobaan CBR dengan variasi persentase kadar air dengan langkah – langkah berikut :

1. Tanah lunak dikeringkan, lalu disaring dengan saringan No.4.

2. Untuk perlakuan pertama campurkan tanah dengan kadar *fly ash* yang sudah ditentukan lalu tambahkan kadar air sebanyak OMC pada sampel tanah dengan berat masing – masing 5 kg, kemudian sampel tanah dibiarkan selama 1 hari.
3. Kemudian tanah dimasukkan ke dalam mold standar diameter 6 inchi hingga mencapai setengah tinggi mold lalu ditumbuk dengan penumbuk standar sebanyak 56 kali pukulan dengan tinggi jarak pukulan 45 cm secara merata hingga memadat dan mengisi kira – kira sepertiga dari tinggi mold.
4. Lakukan hal yang sama pada lapisan kedua dan ketiga hingga mold terisi penuh.
5. Melepaskan collar dan meratakan tanah yang berlebihan dengan menggunakan pisau perata.
6. Melakukan tes CBR pada sampel pertama.
7. Percobaan diulang pada sampel kedua, ketiga, dan keempat dengan persentase kadar air yaitu $OMC \pm 20\% - 45\%$

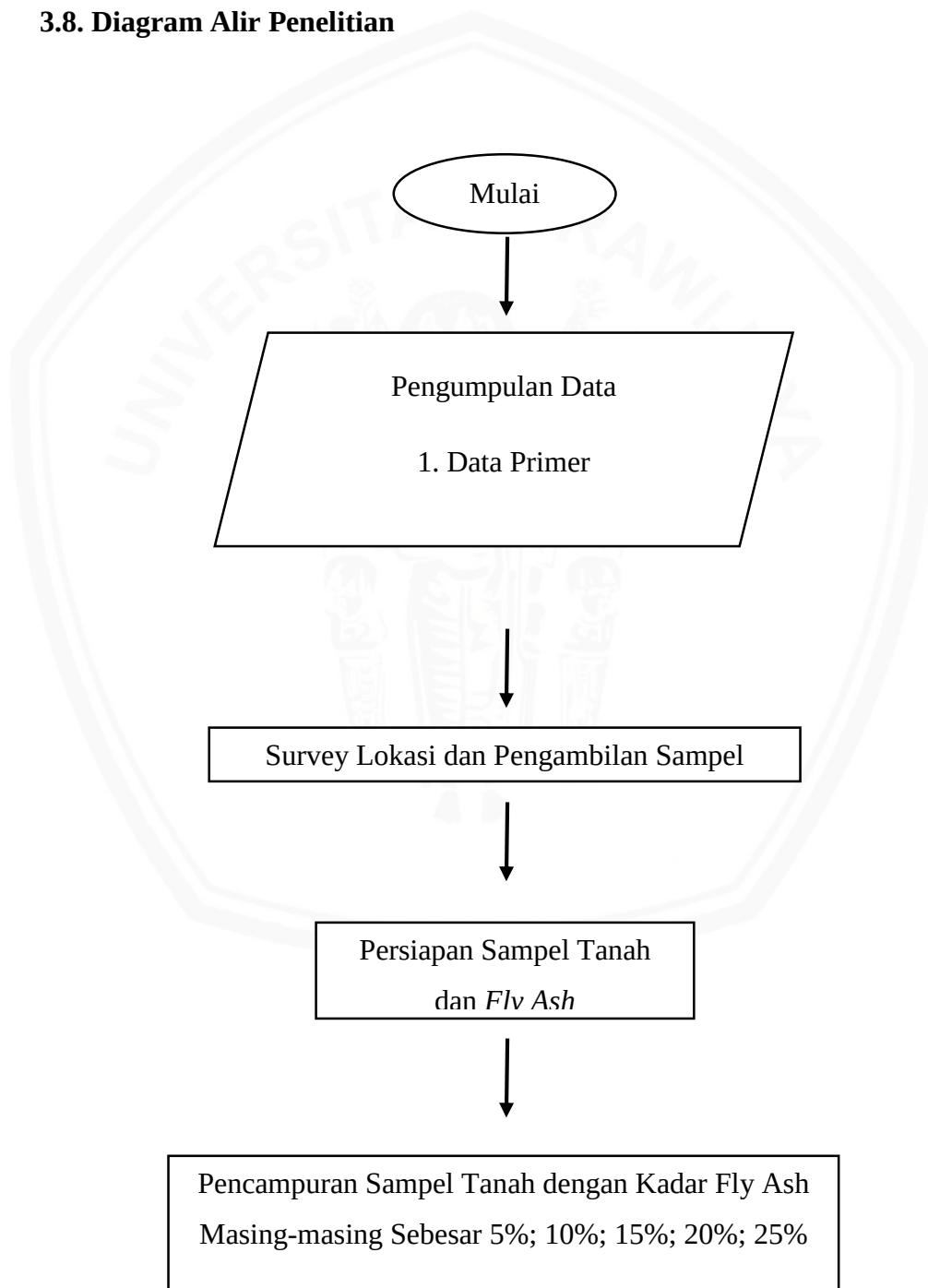
3.6. Rencana Penelitian

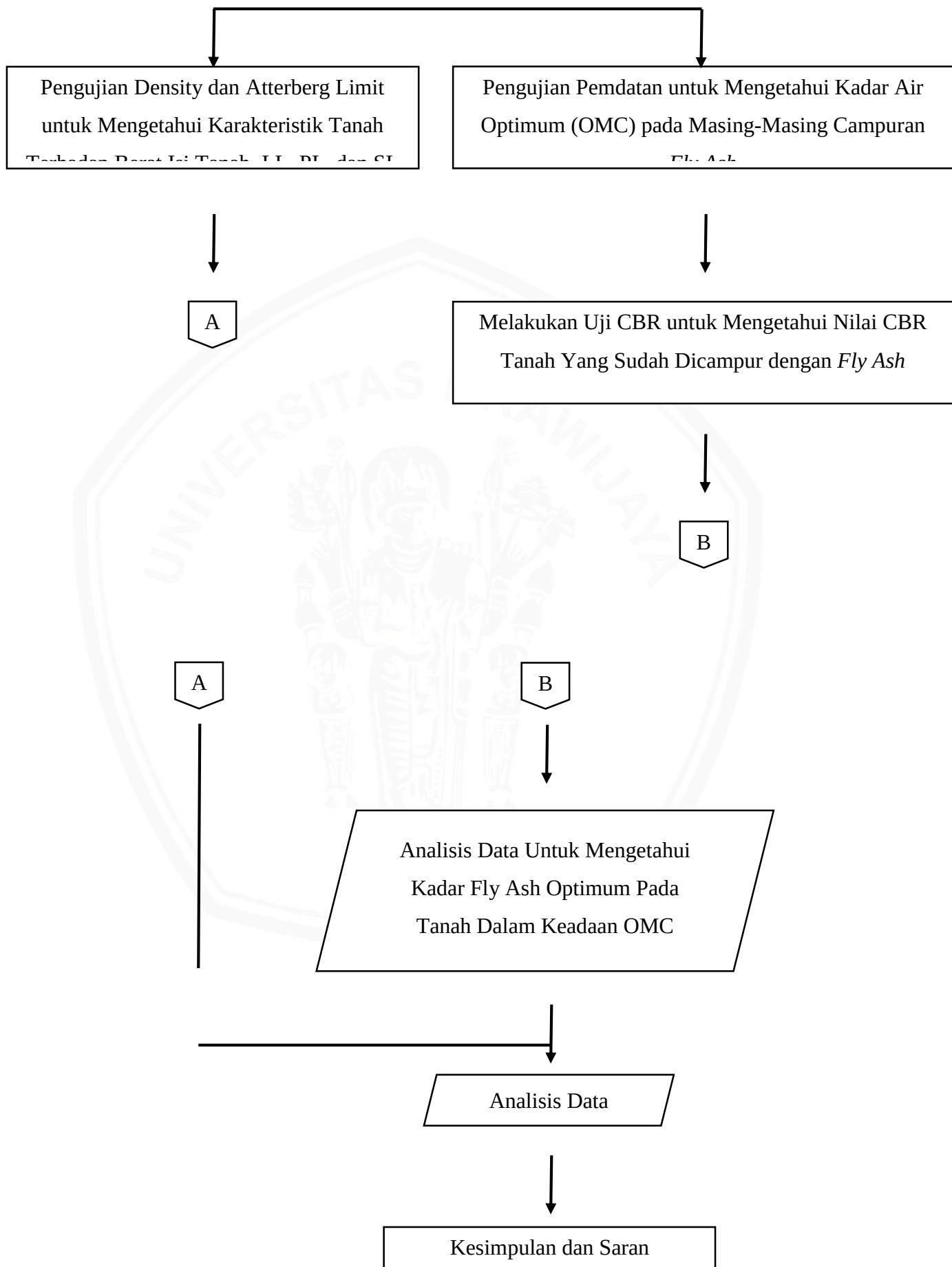
Pada percobaan ini dilakukan perlakuan, dimana masing – masing perlakuan terdiri dari satu buah sampel. Perlakuan tersebut adalah penambahan persentase kadar *fly ash* yaitu sebesar 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25% dan penambahan kadar air pada tanah asli. Lalu dilakukan uji *Atterberg Limit*, *density*, pemadatan, dan CBR untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) dan kadar *fly ash* optimum serta pengaruhnya terhadap daya dukung tanah.

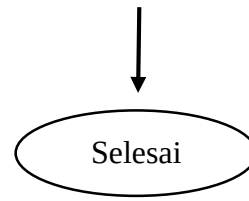
3.7. Analisis Data

Setelah didapatkan data hasil percobaan CBR, pemadatan, dan density, selanjutnya analisis data untuk mengetahui perilaku tanah lunak terhadap kepadatan dengan variasi nilai kadar air dan *fly ash* yang ditentukan. Hasil pengujian *Atterberg Limit* digunakan untuk mengetahui karakteristik *Liquid Limit*, *Plastic Limit*, dan *Shrinkage Limit*.

3.8. Diagram Alir Penelitian







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Sampel yang diuji merupakan tanah lempung yang diambil dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur yang sudah dicampuran dengan zat aditif yang digunakan pada penelitian kali ini, yaitu *fly ash* dan membandingkannya dengan tanah asli yang belum ditambahkan *fly ash* terhadap sifat fisik dan sifat mekanik tanah.

Sifat fisik tanah yang akan dibandingkan yaitu kadar air, *density test*, dan uji batas – batas konsistensi. Sedangkan sifat mekanik tanah yang akan dibandingkan yaitu uji pemadatan, dan uji CBR (*soaked* dan *unsoaked*).

4.1 Pembacaan Data SPT

Uji yang dilakukan dengan cara pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Dari pengujian SPT, dapat diketahui jenis tanah yang sedang diuji dengan menggunakan tabel seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengelompokan jenis tanah berdasarkan hasil SPT

Consistency	N	c_u (kN/m ²)
Very soft	0–2	<12
Soft	2–4	12–25
Medium	4–8	25–50
Stiff	8–15	50–100
Very stiff	15–30	100–200
Hard	>30	>200

Dari pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) yang dilakukan oleh pihak Adhi Karya seperti pada lampiran 3, didapatkan nilai NSPT dengan rentang 1-9 yang apabila dihubungkan dengan tabel penentuan jenis tanah menurut data SPT, maka didapatkan hasil bahwa tanah termasuk ke dalam jenis tanah lunak . Tanah lunak ditemukan pada kedalaman 1 sampai 15,5m.

4.2 Fly Ash

4.2.1 Uji kandungan Fly Ash

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui klasifikasi *fly ash* yang akan digunakan pada campuran beton porus berdasarkan kandungannya. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Universitas Negeri Malang menggunakan metode XRF atau *X-Ray Fluorescence* untuk melihat kandungan senyawa silika, alumina, fero oksida serta kalsium oksida. Berikut ini adalah hasil pengujian *fly ash* di laboratorium dengan metode XRF disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2

Hasil Pengujian *Fly ash* dengan Metode XRF (*X-Ray Fluoresence*)

Senyawa	Kandungan (%)	Metode
Al	11	XRF
Si	23,8	
K	2,04	
Ca	19,6	
Ti	2,32	
V	0,11	
Cr	0,097	
Mn	0,36	
Fe	36,7	
Ni	0,049	
Cu	0,097	
Zn	0,03	
Sr	0,47	
Mo	2,5	

Ba	0,43
Eu	0,3
Re	0,38

Berdasarkan tabel 4.2, pengujian kandungan *fly ash* dilakukan menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluoresence*) atau metode spektrometri yaitu mengidentifikasi dan pencacahan karakteristik sinar X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa *fly ash* termasuk ke dalam tipe C berdasarkan kandungan terbesar pada *Fly ash* yaitu 36,7 % Fe (Besi); 23,8 % Si (Silika); 19,6 % Ca (Kalsium) dan 11% Al (Alumunium). Kandungan kalsium dioksida (CaO) tersebut lebih besar dari 10% dan memiliki kemampuan mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan hasil reaksi semen dan air. Hasil ini sesuai dengan ASTM C618. Selain itu dengan kandungan kalsium dioksida yang lebih banyak maka *fly ash* bisa digunakan untuk bahan penambah untuk meningkatkan kekuatan beton dengan sifat pozzolanik yang dimiliki *fly ash*. Selain itu, lebih dari 50% kandungan dalam *fly ash* terdiri dari unsur-unsur Fe, Si dan Alumunium.

4.2.2 Uji Berat isi *Fly Ash*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat isi *fly ash* yang akan digunakan. Nilai berat isi digunakan untuk mencari berat *fly ash* yang dipakai untuk campuran beton porus yang menggunakan perbandingan volume. Berikut hasil pengujian berat isi *fly ash*.

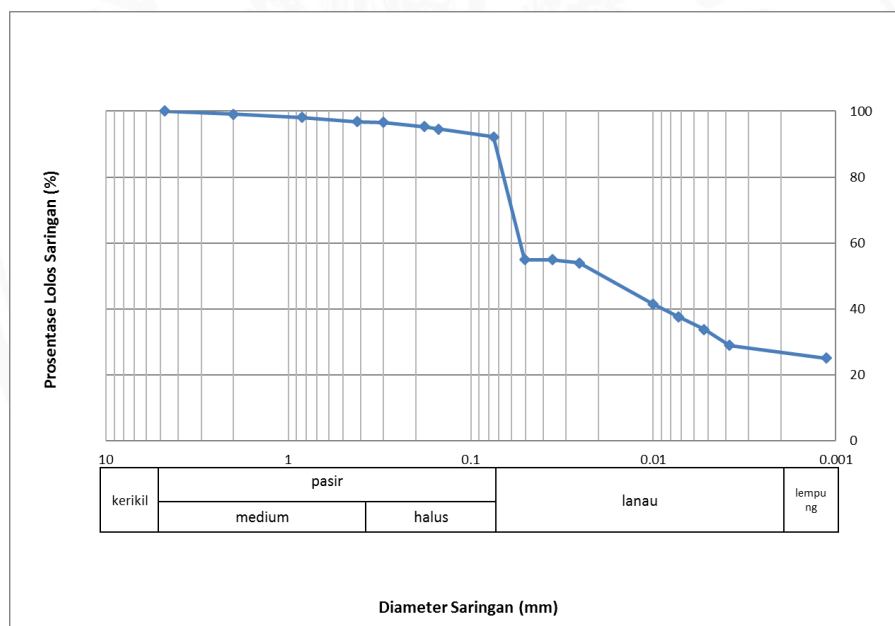
Tabel 4.3
Uji Berat Isi *Fly Ash*

<i>Fly Ash</i>		RODDED			SHOVELED		
		1	2	3	1	2	3
Berat takaran +benda uji	gr	8050	8060	8065	7760	7750	7730
berat benda uji (6-1)	gr	6415	6425	6430	6125	6115	6095
Berat isi	gr/cm3	2,033	2,036	2,038	1,941	1,938	1,932
Berat isi rata2	gr/cm3	2,036			1,937		
Berat isi	gr/cm3	1,987					

4.3 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

4.3.1 Uji Analisis Butiran

Uji analisis butiran dibagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan dan uji analisis hidrometer. Analisis hidrometer berperan dalam menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang mengandung butir tanah lolos saringan no. 200. Sedangkan uji analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah yang tertahan saringan no. 200. Sampel yang diuji termasuk kedalam tanah lempung, maka akan cukup sulit dalam proses pengayakan, oleh karena itu dilakukan uji analisis saringan basah (*Wet Sieve Analysis*) agar hasil pembagian butiran semakin valid. Hasil dari analisis saringan dan hidrometer disajikan dalam satu grafik dapat dilihat pada gambar 4.1 :

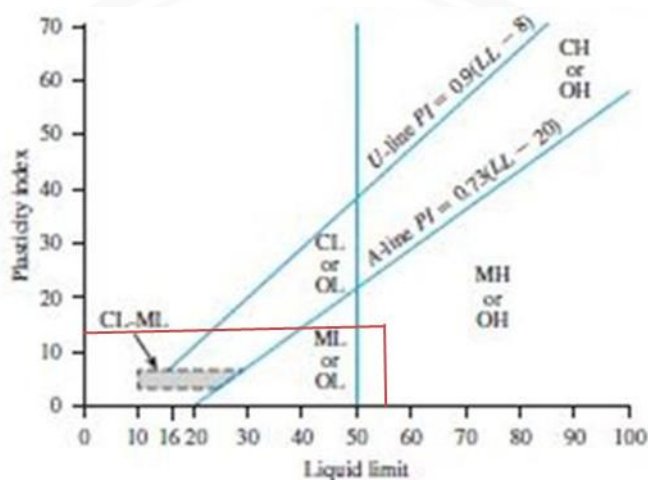


Gambar 4.1 Analisis saringan dan hidrometer

Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa tanah dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini memiliki persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,15% dan menurut sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) termasuk jenis tanah berbutir halus.

4.3.1.1 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

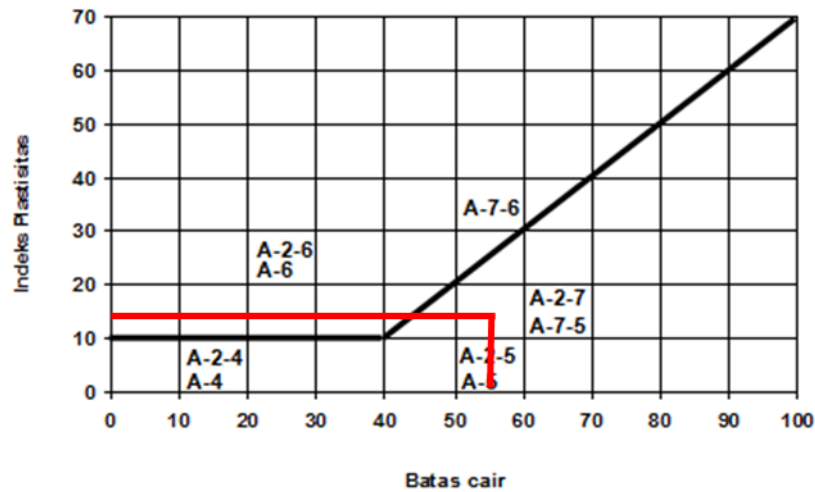
Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem *unified* yang sudah diplotkan pada gambar 4.2, tanah lempung dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini tergolong sebagai tanah MH atau OH (lempung organik). Hasil ini didapatkan karena melihat dari hasil analisis butiran dengan persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,25% maka tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus dan dilihat dari batas-batas atterberg tanah ini memiliki batas cair (*liquid limit*) sebesar 56,12 %, batas plastis (*plastic limit*) sebesar 43,36%, batas susut (*shrinkage limit*) sebesar 11,863 %, maka tanah ini mempunyai indeks plastisitas sebesar 12,76%.



Gambar 4.2 Klasifikasi Tanah USCS

4.3.1.2 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem *AASHTO*

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem *American Assosiation of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) yang sudah diplotkan pada gambar 4.3, tanah lempung dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini memiliki nilai $LL = 56,12$ %, $PI = 12,76$ %, maka tanah tersebut termasuk ke dalam golongan tanah berlempung (A-7-5).



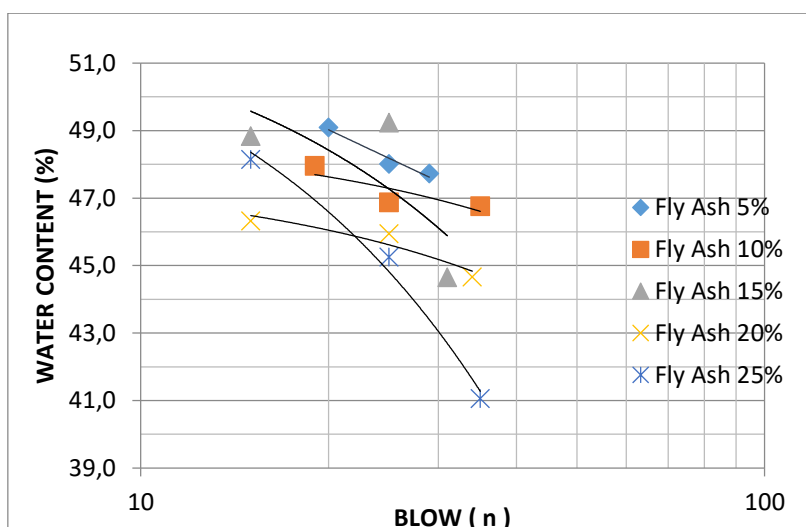
Gambar 4.3 Klasifikasi Tanah AASHTO

4.3.2 Pengujian Batas-Batas Konsistensi (Atterberg Limit)

Pengujian batas-batas konsistensi atau *Atterberg Limit* terdiri dari 3 (tiga) penelitan, yaitu :

a. Pengujian Batas Cair (Liquid Limit)

Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan batas cair dari suatu sampel tanah dan mengetahui jenis serta sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no.40. Hasil dari pengujian yang telah di lakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4. Hubungan batas cair tanah dengan penambahan *fly ash*

Tabel 4.4. Hasil Pemeriksaan Batas Cair (Liquid Limit)

KOMPOSISI TANAH	BATAS CAIR (LL)
	(%)
100% Tanah Asli	56,12
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	48,18
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	47,24
85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	47,12
80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	46,05
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	44,34

Dari Grafik dan tabel diatas dapat diketahui bahwa penambahan *fly ash* sebagai zat tambah bisa menurunkan nilai batas cair (LL) dari tanah asli. Hal ini dikarenakan bentuk partikel abu terbang yang bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk workabilitas, karena akan mengurangi permintaan air atau superplastiscizer.

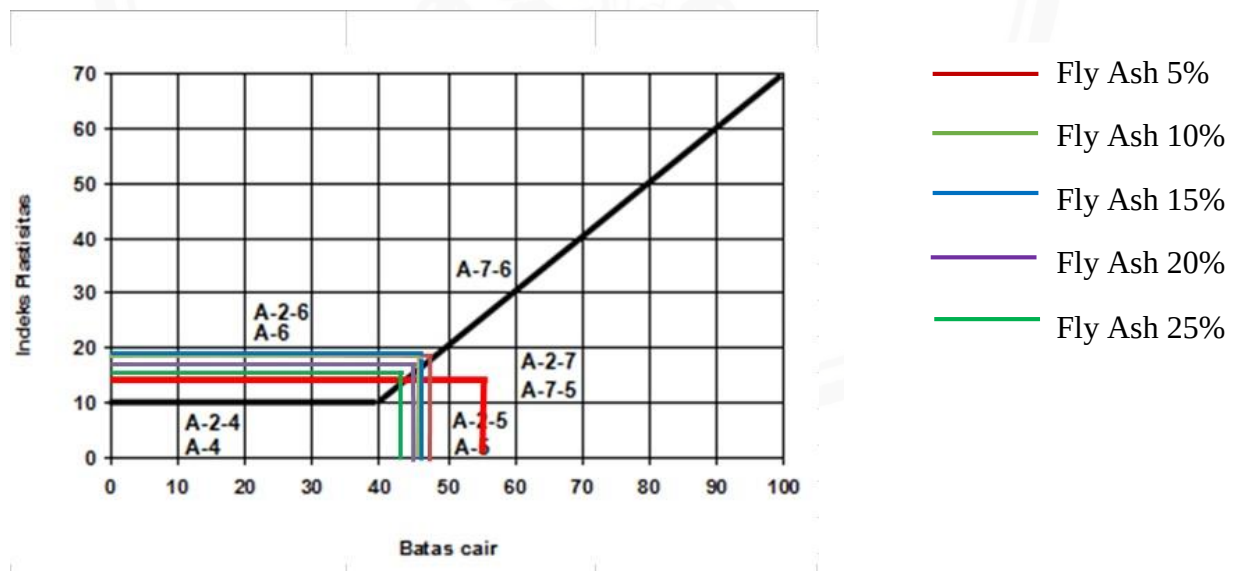
b. Pengujian Batas Plastis (Plastic Limit) dan Indeks Plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai batas plastis (PL) dan indeks plastis (PI) tanah sebagai berikut :

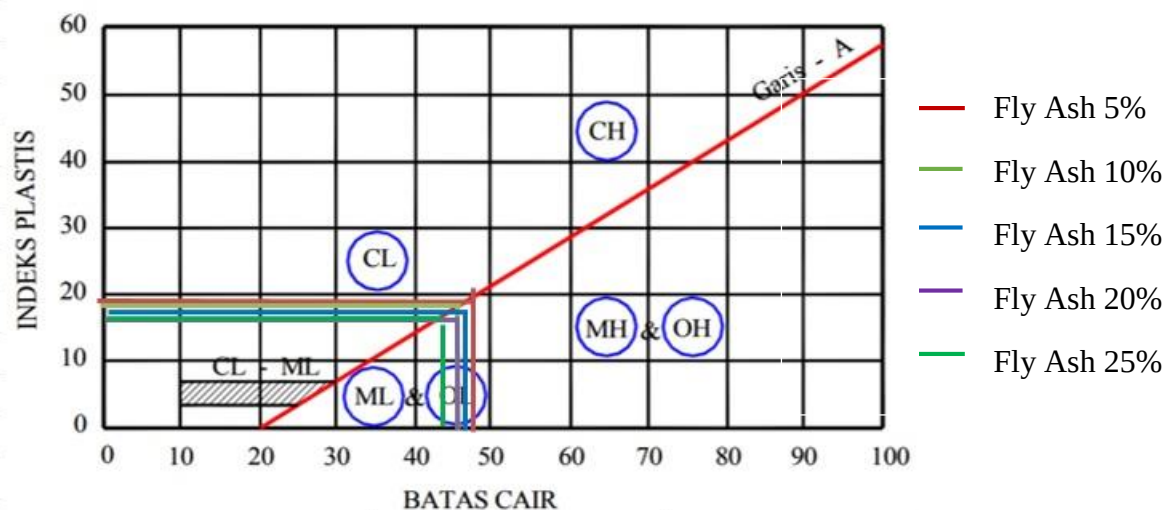
Tabel 4.5. Hasil Pemeriksaan Batas Plastis (Plastic Limit) dan Indeks Plastis

KOMPOSISI TANAH	BATAS PLASTIS (PL)	INDEKS PLASTIS (PI)
	(%)	(%)
100% Tanah Asli	43,36	12,75
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	28,94	19,24
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	28,80	18,44
85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	27,94	19,18
80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	27,26	18,79
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	26,56	17,78

Dari nilai indeks plastisitas dan batas plastis yang sudah diketahui, maka kita bisa mengklasifikasikan tanah yang sudah dicampur dengan *fly ash* yang bisa kita lihat *gambar 4.4*



Gambar 4.5. Klasifikasi Tanah Menurut Teori AASHTO



Gambar 4.6 Klasifikasi Tanah Menurut Teori USCS

Tabel 4.6. Klasifikasi tanah menurut USCS dan AASHTO

KOMPOSISI TANAH	KLASIFIKASI TANAH	
	USCS	AASHTO
100% Tanah Asli	MH (Lanau Plastisitas Tinggi)	A-7-5 (Tanah Berlempung)
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	MH (Lanau Plastisitas Tinggi)	A6 (Lanau & Lempung)
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	MH (Lanau Plastisitas Tinggi)	A6 (Lanau & Lempung)
85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	MH (Lanau Plastisitas Tinggi)	A6 (Lanau & Lempung)

80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	MH (Lanau Plastisitas Tinggi)	A6 (Lanau & Lempung)
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	MH (Lanau Plastisitas Tinggi)	A6 (Lanau & Lempung)

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* sebagai zat aditif tanah dapat menurunkan nilai batas plastis (PL) namun tidak sampai merubah sifat dari tanah asli. Hal ini dikarenakan bentuk partikel abu terbang yang bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk workabilitas, karena akan mengurangi permintaan air atau superplastiscizer.

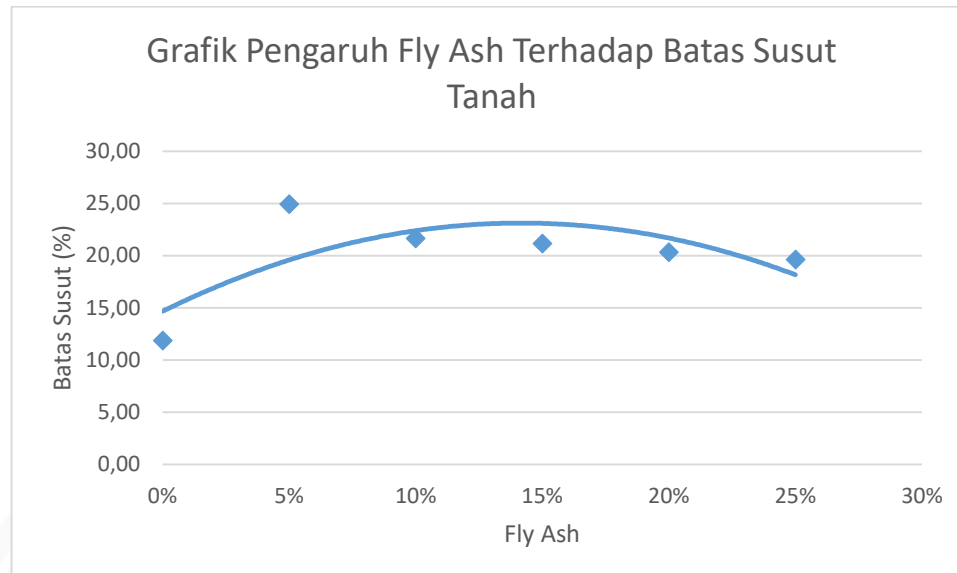
c. Pengujian Batas Susut (Shrinkage Limit)

Pengujian batas susut bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi antara daerah semi padat dan padat. Dari pengujian batas susut, didapatkan nilai batas susut (SL) sebagai berikut :

Tabel 4.7. Hasil Pemeriksaan Batas Susut (Shrinkage Limit)

KOMPOSISI TANAH	BATAS SUSUT (SL)
	(%)
100% Tanah Asli	11,86
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	24,94
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	21,63

85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	21,16
80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	20,34
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	19,62



Gambar 4.7. Hubungan batas susut tanah dengan penambahan *fly ash*

Dari data diatas dapat dikatakan bahwa penambahan *fly ash* dapat menaikkan nilai batas susut tanah,). Hal ini dikarenakan peran *fly ash* sebagai *filler* sehingga dapat mengurangi volume penyusutan.

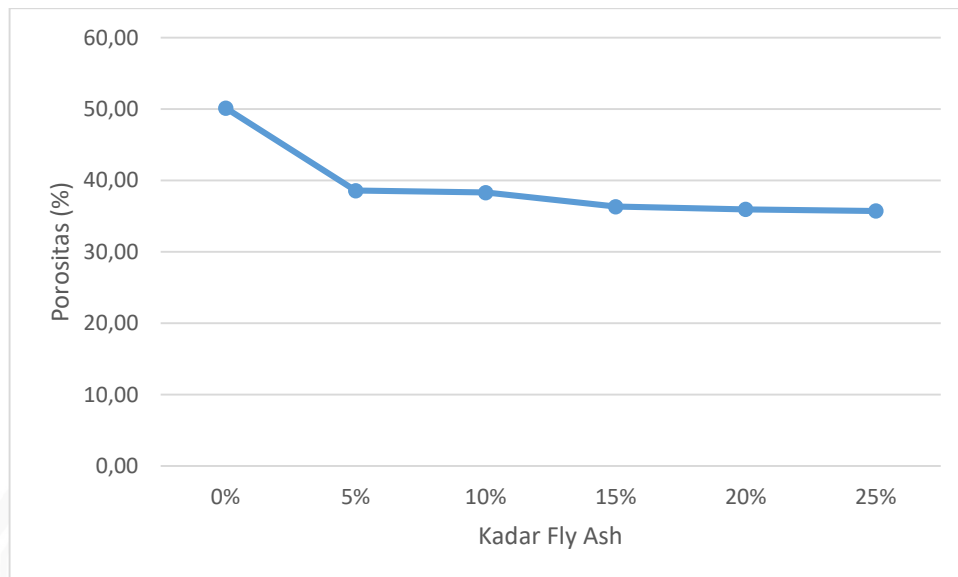
4.3.3 Pengujian *Density* (Porositas Tanah)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Hasil pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. Hasil Pemeriksaan *Density*

KOMPOSISI TANAH	POROSITAS (%)
100% Tanah Asli	50,15
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	38,59
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	38,32
85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	36,35

80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	35,95
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	35,73



Gambar 4.8. Hubungan nilai porositas tanah dengan penambahan *fly ash*

Dari data diatas, dapat diketahui bahwa penambahan *fly ash* dapat memperkecil nilai porositas tanah, hal ini dikarenakan sifat *fly ash* yang berperan sebagai *filler* atau pengisi rongga yang ada di dalam tanah, yang pada tanah asli rongga tersebut diisi oleh air dan udara.

4.3.4 Pemeriksaan Pemadatan Standar

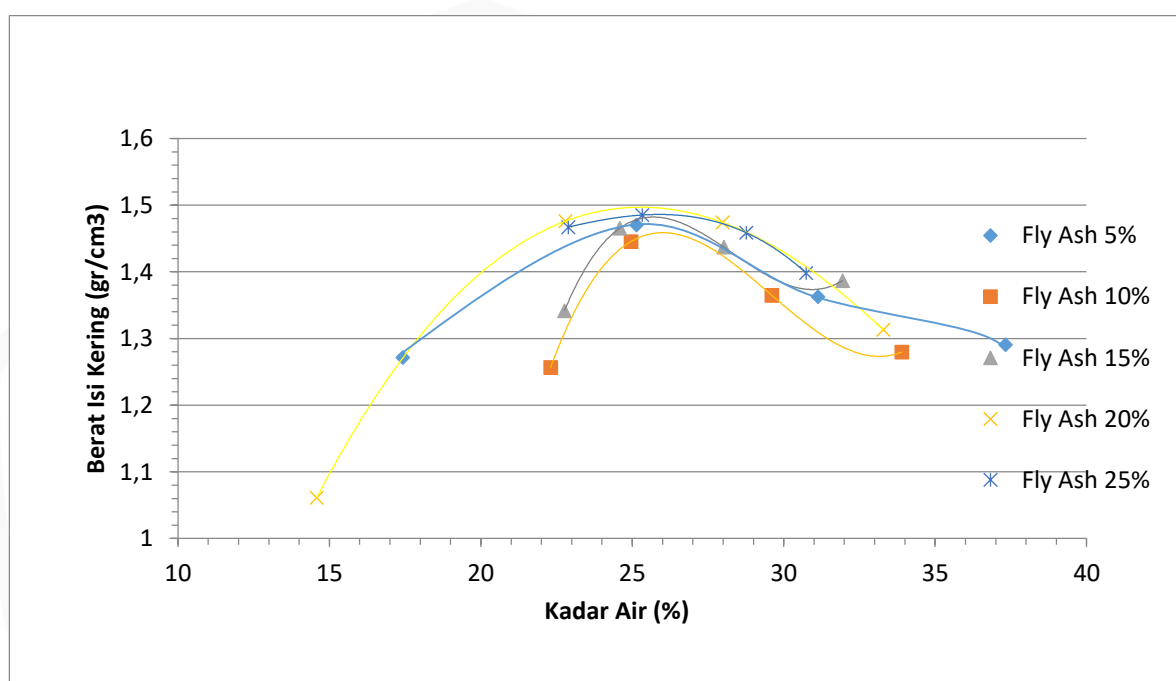
Pengujian pemadatan standart dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dari sampel tanah benda uji. Uji pemadatan dilakukan dengan cara mekanis atau ditumbuk menggunakan *proctor* standart dengan proses dimana udara pada pori-pori dikeluarkan. Pemadatan standart dilakukan terhadap benda uji tanah lempung ekspansif dan menggunakan campuran *fly ash* dengan masing-masing prosentase 5%; 10%; 15%; 20%; 25% dari berat total campuran.

Pengujian pemadatan standar ini menggunakan metode B (ASTM D-698) dengan spesifikasi alat sebagai berikut

- Tinggi jatuh penumbuk 30,48 cm

- Jumlah lapisan tanah 3 lapis
- Jumlah tumbukan tiap lapis 56 kali
- Fraksi tanah yang diuji lolos ayakan no.4
- Diameter cetakan 152,4 mm
- Berat penumbuk 2,5 kg

Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah dengan bahan stabilisasi fly ash dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



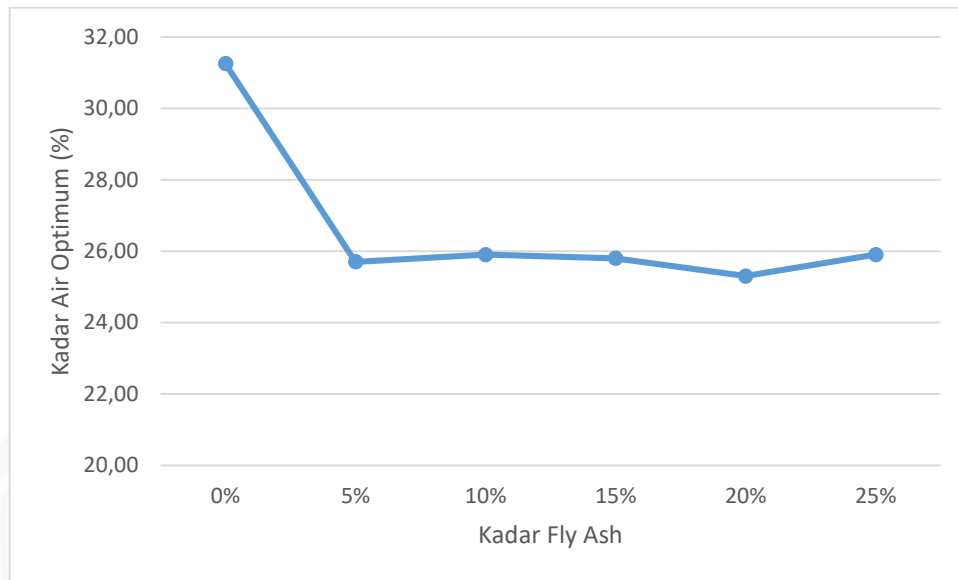
Gambar 4.9. Perbandingan Hasil Pemadatan Tiap Persentase Bahan Stabilisasi

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa hasil pemadatan dari tiap penambahan prosentase *fly ash* memiliki nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum yang berbeda-beda. Nilai dari kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dapat dilihat pada tabel 4.9.

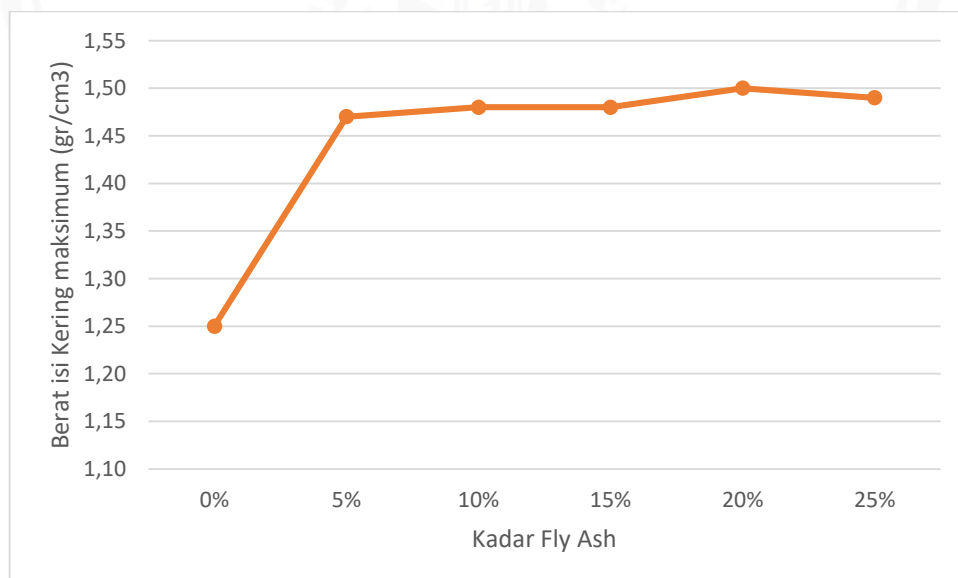
Tabel 4.9. Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standar

KOMPOSISI TANAH	KADAR AIR	BERAT ISI KERING
	OPTIMUM (%)	MAKSIMUM (gr/cm³)
100% Tanah Asli	31.25	1.25
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	25.7	1.47

90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	25.9	1.48
85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	25.6	1.49
80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	25.2	1.50
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	25.9	1.49



Gambar 4.10. Hubungan kadar air optimum tanah dengan penambahan *fly ash*



Gambar 4.11. Hubungan berat isi kering maksimum tanah dengan penambahan *fly ash*

Dari *tabel 4.9*, dapat diketahui bahwa nilai kadar air optimum tanah asli adalah sebesar 31,25% dengan berat isi kering maksimum 1,25 gr/cm³. Dari *tabel 4.9* juga diketahui kadar air optimum pada setiap penambahan presentase campuran *fly ash* cenderung mengalami penurunan namun tidak signifikan sehingga pada saat penelitian didapatkan hasil yang naik turun. Penurunan kadar air optimum ini terjadi karena terjadinya hidrasi pada saat proses pencampuran *fly ash*. Menurunnya kadar air optimum di setiap penambahan bahan campuran diiringi dengan kecenderungan peningkatan pada berat kering maksimum namun tidak signifikan sehingga pada saat penelitian didapatkan hasil yang naik turun, hal ini dikarenakan penambahan *fly ash* sebagai *filler* atau pengisi rongga pori tanah, yang pada kondisi tanah asli, rongga pori tersebut terisi oleh air dan udara.

4.3.5 Pemeriksaan CBR Laboratorium

Pada penelitian stabilisasi tanah ini dilakukan pengujian CBR yang dibedakan menjadi dua kondisi CBR, yaitu CBR tak terendam (*unsoaked*) dan CBR terendam (*soaked*). Kadar air yang digunakan adalah kadar air optimum yang diperoleh dari hasil pemadatan.

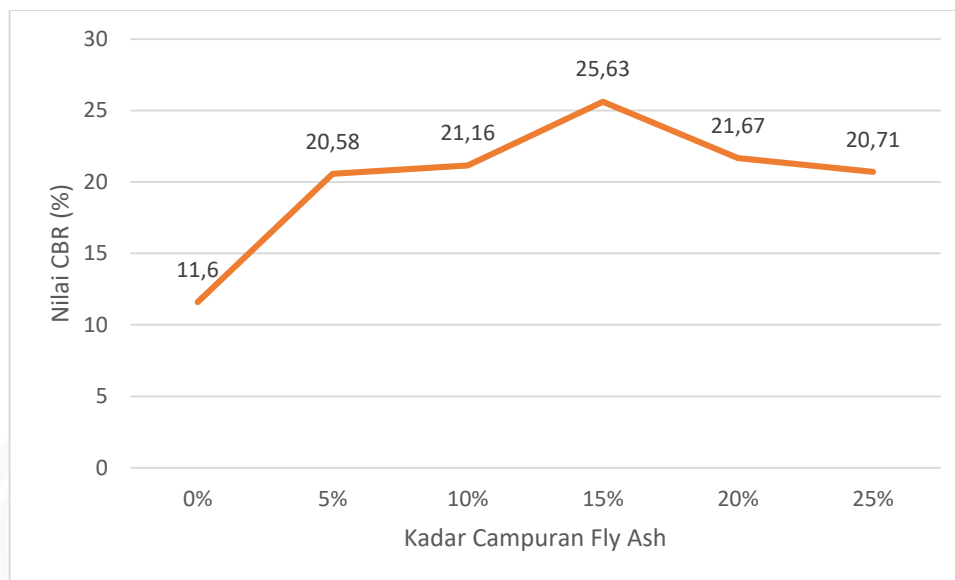
4.3.5.1 Pemeriksaan CBR Tak Terendam (*Unsoaked*)

Pengujian CBR tak terendam dilakukan pada sampel tanah yang tanpa melalui proses perendaman terlebih dahulu. Sebelum diuji, sampel CBR tak terendam di *curing* selama 1 (satu) hari dan dibuat berdasarkan kadar air optimum dari hasil pengujian pemadatan. Hasil pengujian CBR tak terendam dapat dilihat pada *tabel 4.10*.

Tabel 4.10. Hasil Pengujian CBR tak terendam (*unsoaked*)

KOMPOSISI TANAH	CBR UNSOAKED
	(%)
100% Tanah Asli	15,53
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	20.58
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	21.16
85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	25.63
80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	21.67
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	18.64

Dari *tabel 4.10*, dapat diketahui bahwa CBR tak terendam tanah asli sebesar 15,53%. Setelah ditambahkan bahan stabilisasi berupa *fly ash* nilai CBR cenderung mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi dengan bahan campuran tersebut dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Perbandingan pengaruh penambahan *fly ash* terhadap CBR *unsoaked* dapat dilihat pada *gambar 4.12*.



Gambar 4.12. Perbandingan Penambahan *Fly Ash* Terhadap CBR Tak Terendam

Dari *grafik 4.8*, hasil pengujian CBR tak terendam menunjukkan peningkatan dari tanah asli sebesar 15,53% menjadi 20,58% pada presentase campuran *fly ash* 5% dan terus meningkat sampai penambahan *fly ash* sebanyak 15 %, kemudian nilai CBR terus turun sampai pada presentase campuran *fly ash* sebanyak 25% . Nilai CBR tak terendam maksimum terdapat pada prosentase campuran *fly ash* 15% yaitu sebesar 25,63% dan nilai CBR minimum pada prosentase *fly ash* 25% yaitu sebesar 18,64%. Penyebab menurunnya nilai CBR di presentase *fly ash* 25% karena berkurangnya efektifitas pengikatan yang terjadi antara air dan *fly ash*.

Peningkatan nilai CBR tak terendam pada setiap prosentase campurannya disebabkan oleh sifat pozzolanic *fly ash* yang bereaksi dengan air pada benda uji tanah. *Fly ash* dapat mengisi pori tanah dengan baik dan proses pozzolan yang terjadi antara antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO_2) dan aluminat (AlO_3) dari aditif membentuk material pengikat yang terdiri dari kalsium silikat atau aluminat silikat. Reaksi dari ion Ca^{2+} dengan silikat dan aluminat dari permukaan partikel lempung membentuk pasta semen (hydrated gel) sehingga mengikat partikel-partikel tanah dan meningkatkan

nilai CBR itu sendiri. Selain itu dengan campuran *fly ash* pada tanah mengakibatkan proses flokulasi yaitu terjadinya proses pertukaran kation alkali (Na^+ dan K^+) dari tanah digantikan oleh kation dari aditif sehingga ukuran butiran lempung bertambah besar.

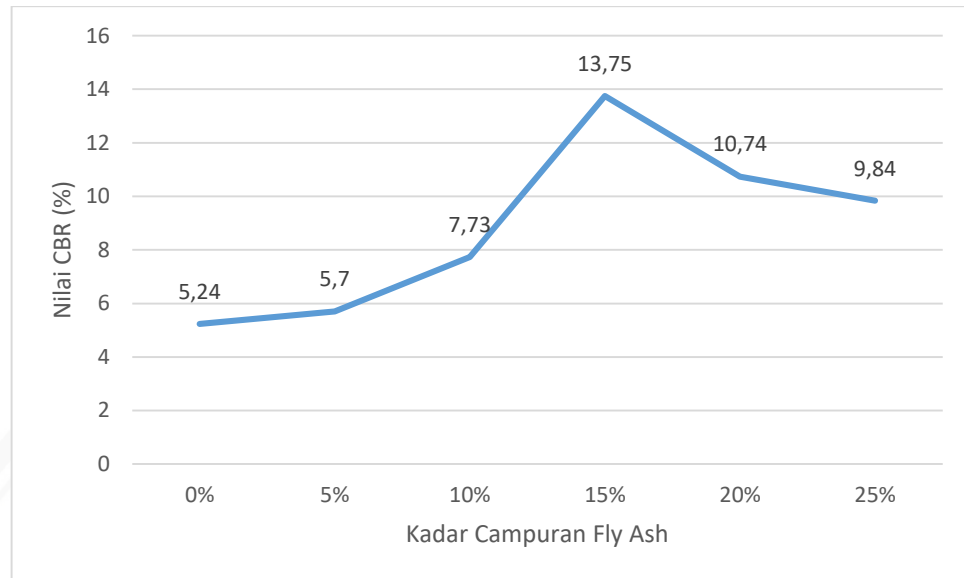
4.3.5.2 Pemeriksaan CBR Terendam (*soaked*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai CBR pada saat tanah mengalami kondisi terburuk. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah dalam keadaan jenuh air dengan perendaman tanah dan cetakan di dalam air selama 4 (empat) hari dimana tanah mengalami kondisi jenuh maksimum. Hasil dari CBR terendam (*soaked*) ditunjukkan dalam *tabel 4.11*. dan *Gambar 4.13*. sebagai berikut.

Tabel 4.11. Hasil Pengujian CBR terendam (*soaked*)

KOMPOSISI TANAH	CBR SOAKED
	(%)
100% Tanah Asli	5,24
95% Tanah Asli + 5% Fly Ash	5,70
90% Tanah Asli + 10% Fly Ash	7,73

85% Tanah Asli + 15% Fly Ash	13,70
80% Tanah Asli + 20% Fly Ash	10,74
75% Tanah Asli + 25% Fly Ash	9,71

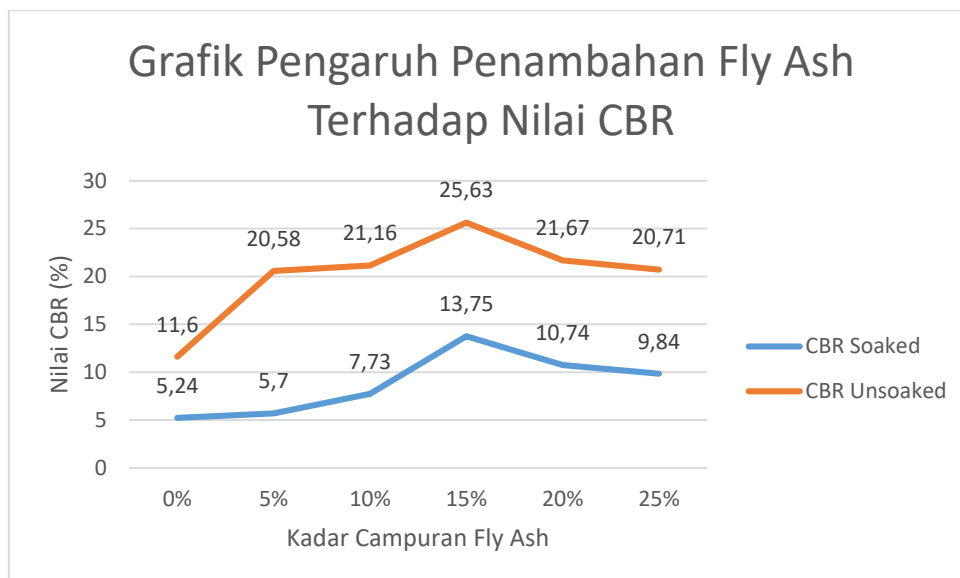


Gambar 4.13. Perbandingan Penambahan Fly Ash Terhadap CBR Terendam

Hasil pengujian CBR terendam menunjukkan peningkatan dari tanah asli sebesar 5,24% menjadi 5,70% pada penambahan campuran stabilisasi *fly ash* 5%. Nilai CBR terendam maksimum berada pada prosentase campuran *fly ash* 15% yaitu sebesar 13,70% dan nilai CBR terendam turun di prosentasi campuran selanjutnya. Nilai CBR terendam tidak lebih baik daripada nilai CBR tak terendam. Hal ini dikarenakan pengaruh kadar air yang tinggi membuat tanah menjadi lunak dan nilai CBR terendam menjadi rendah.

4.3.5.3 Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

Perbandingan nilai CBR laboratorium dalam keadaan tak terendam dan terendam dapat dilihat pada Gambar 4.14..



Gambar 4.14. Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

Dilihat pada *Gambar 4.14.*, nilai CBR maksimum antara CBR *unsoaked* dan CBR *soaked* berada pada kadar *fly ash* yang berbeda, dimana pada CBR *unsoaked* nilai CBR tertinggi terjadi pada presentase *fly ash* 15% yaitu sebesar 25,63% , sedangkan pada CBR *soaked* nilai CBR tertinggi terjadi pada presentase *fly ash* 15% sebesar 13,75%, hal ini bisa terjadi dikarenakan pengaruh jumlah air yang dibutuhkan *fly ash* untuk dapat beraksi dan melakukan pengikatan juga lama waktu terjadinya proses pengikatan, mengingat pada lamanya waktu pengerasan (*curing*) yang berbeda antara sampel CBR *soaked* yaitu 4 hari terendam dan CBR *unsoaked* yaitu selama 1 hari tanpa rendaman.

Disamping itu, nilai CBR tak terendam lebih besar dibandingkan nilai CBR terendam. Hal ini dikarenakan akibat dari meningkatnya kadar air pada tanah saat terendam yang menyebabkan tanah menjadi lunak dan semakin lemahnya daya dukung tanah. Perendaman tanah membuat kadar air dalam tanah tersebut melebihi kadar air optimum yang sebenarnya dan memberikan pengaruh yang kurang baik pada tanah yaitu kekuatan tanah akan semakin lebih kecil.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat fisik tanah yang sudah dicampurkan dengan *fly ash* sebagai berikut :
 - a. Menurut sistem klasifikasi tanah *Unified* termasuk ke dalam golongan MH (lanau plastisitas tinggi) sedangkan menurut klasifikasi AASHTO, termasuk ke dalam golongan tanah lempung grup A 6 (Silt & Clay), dimana hasil tersebut tidak merubah dari sifat tanah asli yang sudah ada.
 - b. Penambahan *fly ash* dapat menurunkan batas cair dan plastis, sementara meningkatkan batas susut dari tanah asli.
 - c. Penambahan *fly ash* dapat meningkatkan berat isi tanah sekaligus memperkecil nilai porositas dari tanah asli.
2. Hasil pemadatan dan CBR tanah yang sudah dicampurkan dengan *fly ash* sebagai berikut :
 - a. Penambahan *fly ash* dapat meningkatkan berat isi kering tanah dan menurunkan kadar air optimum (OMC) dari tanah asli.
 - b. Nilai CBR *unsoaked* mengalami peningkatan pada kadar *fly ash* tertentu dikarenakan reaksi kimia yang terjadi selama proses *curing*, peningkatan nilai CBR tanah tidak berbanding lurus dengan penambahan *fly ash* dikarenakan *fly ash* hanya bersifat sebagai *filler* dan pengikat dengan peningkatan maksimum nilai CBR adalah sebesar 120,95% pada kadar *fly ash* 15% jika dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli.
 - c. Sedangkan pada CBR *soaked* nilai CBR yang didapat lebih kecil daripada CBR *unsoaked* dalam presentase kadar *fly ash* yang sama, namun penambahan *fly ash* sangat efektif pada keadaan tanah terendam dan bisa meningkatkan nilai CBR tanah sampai 162,40% pada kadar *fly ash* 15% jika dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli.

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:

1. Penelitian perlu dilakukan dalam kurun waktu yang relatif sama, kurun waktu yang berbeda dapat menyebabkan sifat zat aditif khususnya *fly ash* dapat berubah tergantung suhu dan kondisi ruangan tempat disimpannya *fly ash*.
2. Dikarenakan sifat sementasi *fly ash* tergolong lambat dan warna *fly ash* yang digunakan relatif sama dengan warna tanah, maka ketelitian pada saat melakukan penelitian harus diprioritaskan, terkhusus pada saat mencampurkan *fly ash* dengan tanah..



DAFTAR PUSTAKA

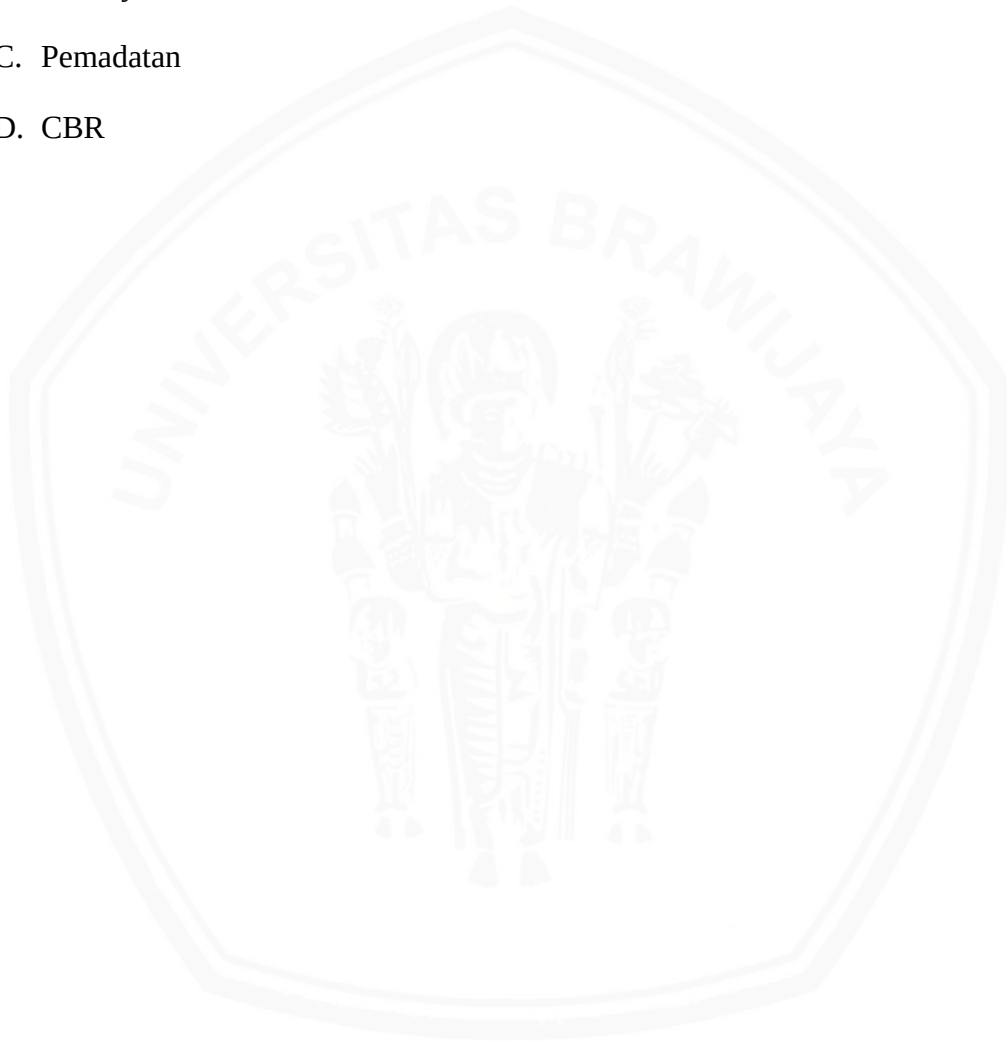
- Bowles, Joseph E. 1992. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid I (Edisi Keempat)*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1993. *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Craig, RF. 1991. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1999. *Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement*, CRC Press, Sacramento, California.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. *Mekanika Tanah I*. Malang : Bargie Media.
- Suroso. dkk. 2013. *Pengaruh Variasi Lama Perendaman, Energi Pemadatan, dan Kadar Air terhadap Pengembangan (swelling) dan DDT Ekspansif di Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi*. Jurnal Volume 7 Nomor 1. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Terzaghi, Karl. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- Wesley. 1997. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Rama, Indera K. dkk. 2016. *Stabilisasi Tanah dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*. Jurnal Fondasi Volume 5 Nomor 1. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Mina, Enden. dkk. 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*. Jurnal Fondasi Volume 6 Nomor 2. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

- Cristanto, Andy. dkk. 2003. *Pengaruh Fly Ash Terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif*. Civil Engineering Dimension Volume 5 Nomor 1. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra.
- Apriyanti, Yayuk. dkk. 2014. *Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar*. Jurnal Fropil Volume 2 Nomor 2. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- Widianto, Alvin Krisnanta. dkk. 2016. *Pengaruh Konsistensi Fly Ash Terhadap Sifat - Sifat Mortar HVFA*.
- Ibrahim. 2014. *Stabilisasi Tanah Lempung dengan Bahan Aditif Fly Ash Sebagai Lapisan Pondasi Dasar Jalan (Subgrade)*. Jurnal Teknik Sipil Volume 10 Nomor 1. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Putri, A. dan Zaika, Y. 2018. *Pengaruh Kadar Air terhadap Daya Dukung pada Tanah Lunak di Jalan Tol Gempol-Pasuruan*. Naskah Terpublikasi Teknik Sipil FT-UB. Malang: Universitas Brawijaya.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli

- A. Batas – Batas Konsistensi
- B. *Density Test*
- C. Pemadatan
- D. CBR

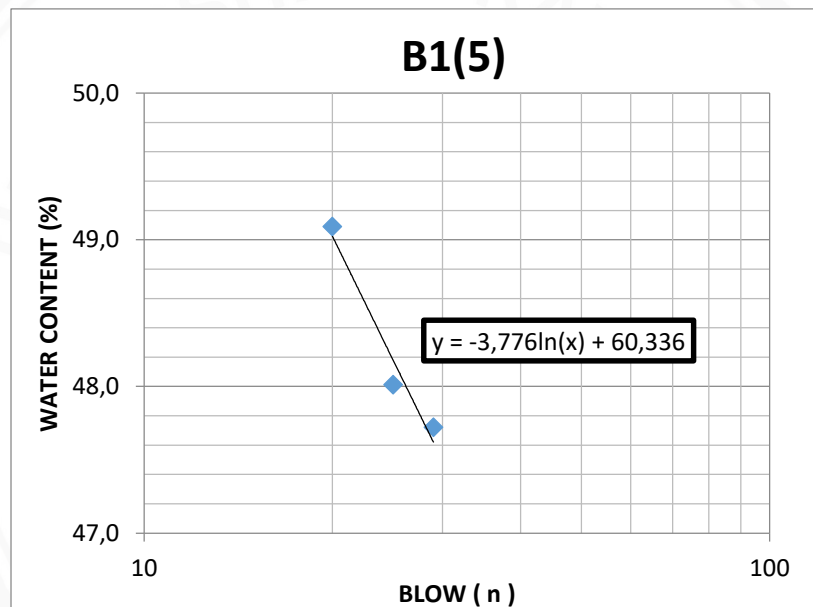


A. Batas - batas konsistensi

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 5% dari berat total tanah
 - Batas Cair

LL B1(5-10)

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	12,6	10,8	12,2
Mass of dry soil + can	10,4	9,1	10,3
Mass of can	6,0	5,6	6,1
Mass of dry soil	4,4	3,52	4,2
Mass of moisture	2,2	1,69	2,0
Water content, w %	49,1	48,0	47,7
No. of blows N	20	25	29



- Batas Plastis

PL

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	9,6	7,3	10,6
Mass of dry soil + can	8,8	6,6	9,2
Mass of can	6,0	3,9	4,2
Mass of dry soil	2,82	2,7	5,0
Mass of moisture	0,83	0,8	1,4
Water content, w %	29,4	28,6	28,8
Average of water content	28,94		

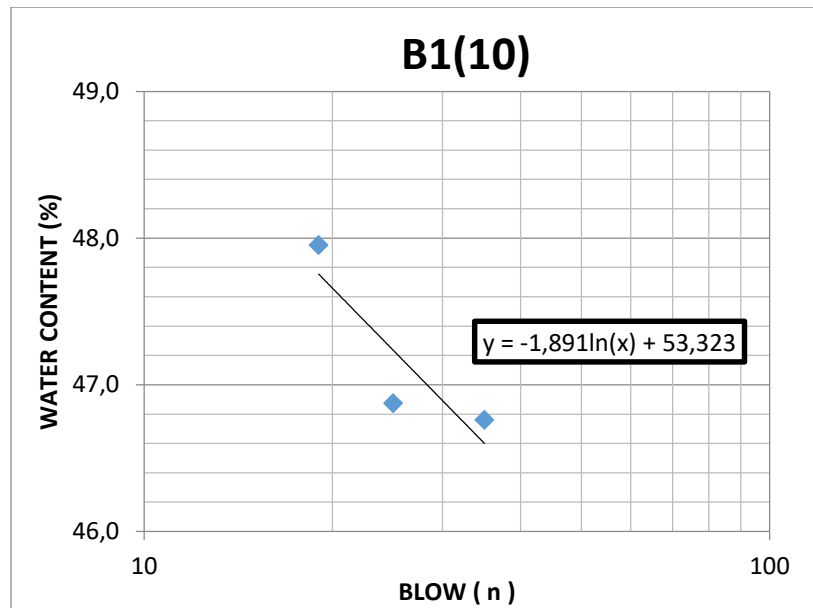
- Batas Susut

Container no.	unit	1	2
Mass of shrinkage disk	gr	30,09	18,12
Mass of wet soil + shrinkage disk	gr	55,21	63,68
Mass of dry soil + shrinkage disk	gr	46,85	48,53
Mass of wet soil	gr	25,12	45,56
Mass of water	gr	8,36	15,15
Mass of dry soil	gr	16,76	30,41
Content of wet soil	ml	13,4	26
Content of dry soil	ml	9,35	18,2
Water content (ω)	%	49,88	49,82
Shrinkage limit		25,72	24,17
Average of shrinkage limit		24,94	

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 10% dari berat total tanah

- Batas Cair

LL B1(5-10)			
Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	12,6	10,8	12,2
Mass of dry soil + can	10,4	9,1	10,3
Mass of can	6,0	5,6	6,1
Mass of dry soil	4,4	3,52	4,2
Mass of moisture	2,1	1,65	2,0
Water content, w %	48,0	46,9	46,8
No. of blows N	19	25	35



- Batas Plastis

PL

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	9,8	11,3	9,8
Mass of dry soil + can	8,9	10,1	8,9
Mass of can	5,7	5,6	6,0
Mass of dry soil	3,16	4,5	2,9
Mass of moisture	0,94	1,3	0,8
Water content, w %	29,7	28,1	28,6
Average of water content	28,80		

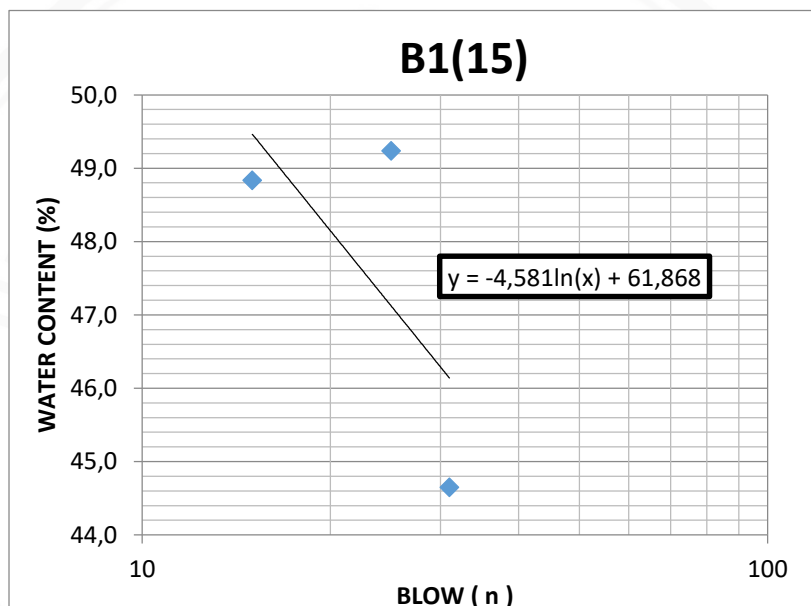
- Batas Susut

Container no.	unit	1	2
Mass of shrinkage disk	gr	19,03	18,8
Mass of wet soil + shrinkage disk	gr	63,3	62,85
Mass of dry soil + shrinkage disk	gr	48,99	48,79
Mass of wet soil	gr	44,27	44,05
Mass of water	gr	14,31	14,06
Mass of dry soil	gr	29,96	29,99
Content of wet soil	ml	26,2	26,3
Content of dry soil	ml	18	19,1
Water content (ω)	%	47,76	46,88
Shrinkage limit		20,39	22,87
Average of shrinkage limit		21,63	

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 15% dari berat total tanah
 - Batas Cair

LL B1(15-20)

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	8,2	9,5	8,7
Mass of dry soil + can	7,4	8,2	7,7
Mass of can	5,6	5,6	5,6
Mass of dry soil	1,7	2,62	2,2
Mass of moisture	0,8	1,29	1,0
Water content, w %	48,8	49,2	44,7
No. of blows N	15	25	31



- Batas Plastis

PL

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	6,1	5,9	8,0
Mass of dry soil + can	5,4	5,2	7,6
Mass of can	2,9	2,9	6,1
Mass of dry soil	2,52	2,3	1,6
Mass of moisture	0,72	0,7	0,4
Water content, w %	28,6	28,1	27,1
Average of water content	27,94		

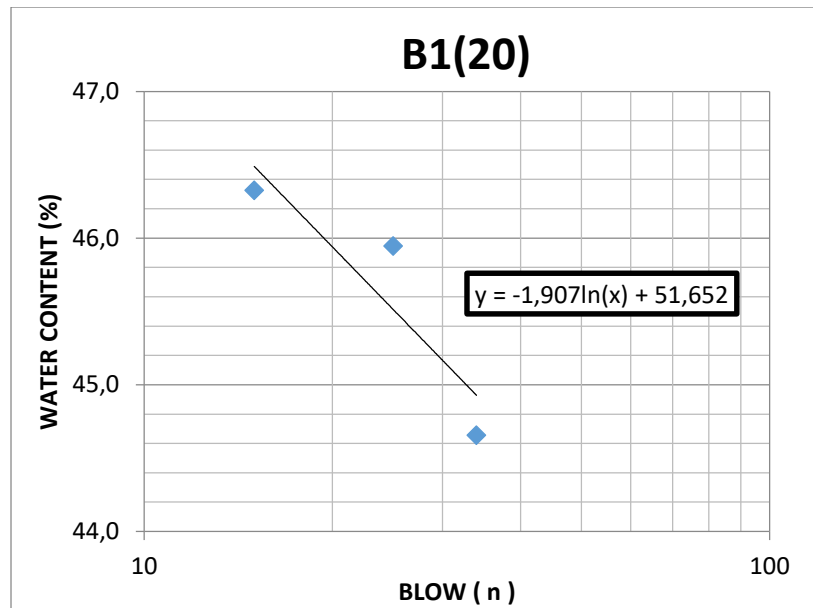
○ Batas Susut

Container no.	unit	1	2
Mass of shrinkage disk	gr	17,94	30,06
Mass of wet soil + shrinkage disk	gr	64,01	54,85
Mass of dry soil + shrinkage disk	gr	48,82	46,66
Mass of wet soil	gr	46,07	24,79
Mass of water	gr	15,19	8,19
Mass of dry soil	gr	30,88	16,6
Content of wet soil	ml	28,4	13,8
Content of dry soil	ml	19,6	9,2
Water content (ω)	%	49,19	49,34
Shrinkage limit		20,69	21,63
Average of shrinkage limit		21,16	

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 20% dari berat total tanah

○ Batas Cair

LL B1(15-20)			
Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	15,2	11,8	9,8
Mass of dry soil + can	12,3	10,0	7,7
Mass of can	6,1	5,9	3,0
Mass of dry soil	6,3	4,07	4,7
Mass of moisture	2,9	1,87	2,1
Water content, w %	46,3	45,9	44,7
No. of blows N	15	25	34



- Batas Plastis

PL

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	12,4	9,4	9,8
Mass of dry soil + can	11,0	8,3	8,9
Mass of can	5,7	4,2	5,8
Mass of dry soil	5,3	4,1	3,1
Mass of moisture	1,46	1,1	0,8
Water content, w %	27,5	27,5	26,8
Average of water content	27,26		

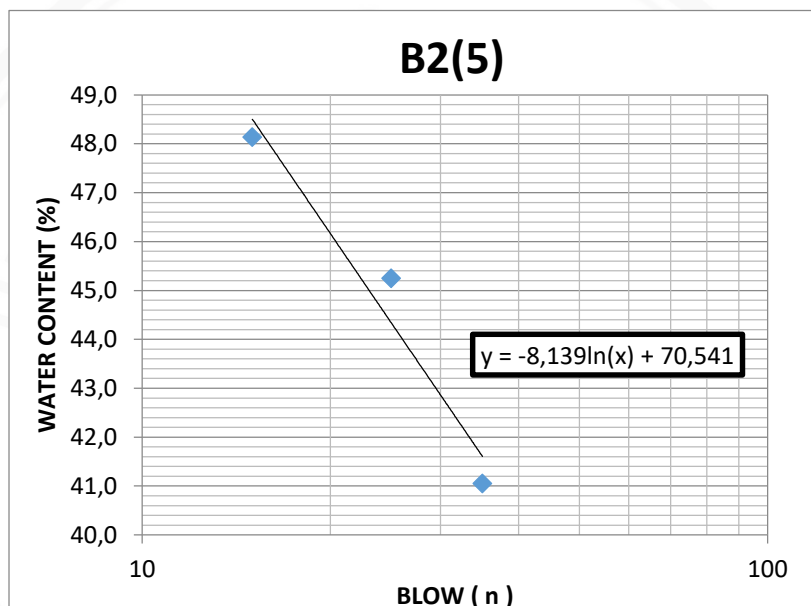
- Batas Susut

Container no.	unit	1	2
Mass of shrinkage disk	gr	18,81	18,07
Mass of wet soil + shrinkage disk	gr	68	63,09
Mass of dry soil + shrinkage disk	gr	52,41	48,84
Mass of wet soil	gr	49,19	45,02
Mass of water	gr	15,59	14,25
Mass of dry soil	gr	33,6	30,77
Content of wet soil	ml	27,4	27,6
Content of dry soil	ml	18	20,2
Water content (ω)	%	46,40	46,31
Shrinkage limit		18,42	22,26
Average of shrinkage limit		20,34	

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 25% dari berat total tanah
 - Batas Cair

LL B2(5-10)

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	10,5	8,1	13,8
Mass of dry soil + can	8,0	6,5	11,6
Mass of can	2,9	2,9	6,1
Mass of dry soil	5,1	3,58	5,5
Mass of moisture	2,5	1,62	2,3
Water content, w %	48,1	45,3	41,1
No. of blows N	15	25	35



- Batas Plastis

PL

Can no.	I	II	III
Mass of wet soil + can	7,3	6,1	4,7
Mass of dry soil + can	6,9	5,4	4,4
Mass of can	5,5	2,9	3,0
Mass of dry soil	1,45	2,5	1,3
Mass of moisture	0,37	0,7	0,4
Water content, w %	25,5	27,1	27,1
Average of water content	26,56		

○ Batas Susut

Container no.	unit	1	2
Mass of shrinkage disk	gr	18,93	19
Mass of wet soil + shrinkage disk	gr	65,67	64,14
Mass of dry soil + shrinkage disk	gr	51,13	51,57
Mass of wet soil	gr	46,74	45,14
Mass of water	gr	14,54	12,57
Mass of dry soil	gr	32,2	32,57
Content of wet soil	ml	26,6	28,4
Content of dry soil	ml	18,4	22,2
Water content (ω)	%	45,16	38,59
Shrinkage limit		19,69	19,56
Average of shrinkage limit		19,62	

B. Density Test

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 5% dari berat total tanah

No	Keterangan	Satuan	C	A	B
	Tinggi Ring	cm	2,40	2,50	2,54
	Diameter Ring	cm	2,50	2,30	2,30
1	Berat Ring	gr	18,14	17,50	17,83
2	Berat Ring + Tanah Basah	gr	42,29	38,46	38,88
3	Berat Tanah Basah (2)-(1)	gr	24,15	20,96	21,05
4	Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	11,79	10,39	10,56
5	Berat Isi Tanah (3)/(4)	gr/cm ³	2,05	2,02	1,99
6	Berat Ring + Tanah Kering	gr	37,44	34,23	34,79
7	Berat Tanah Kering (6)-(1)	gr	19,2951	16,73292	16,96067
8	Berat Air (3)-(7)	gr	4,85	4,23	4,09
9	Kadar Air (8)/(7) x 100%	%	25,16	25,26	24,11
10	γ_d (7)/(4)	gr/cm ³	1,64	1,61	1,61
11	Spesific Gravity (Gs)		2,63	2,63	2,63
12	Volume Tanah Kering (7)/(Gs)		7,32	6,35	6,44
13	Isi Pori (4)-(12)	cm ³	4,46	4,04	4,12
14	Derajat Kejenuhan $S_r = (8)/(13) \times 100\%$	%	108,81	104,63	99,26
15	Porositas (13)/(4) x 100%	%	0,38	0,39	0,39

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 10% dari berat total tanah

No	Keterangan	Satuan	D	E	F
	Tinggi Ring	cm	2,25	2,5	2,45
	Diameter Ring	cm	2,52	2,3	2,4
1	Berat Ring	gr	16,06	17,42	16,78
2	Berat Ring + Tanah Basah	gr	37,16	36,89	37,35
3	Berat Tanah Basah (2)-(1)	gr	21,1	19,47	20,57
4	Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	11,227	10,391	11,088
5	Berat Isi Tanah (3)/(4)	gr/cm ³	1,879465	1,873724	1,855159
6	Berat Ring + Tanah Kering	gr	33,23066	33,06402	33,20889
7	Berat Tanah Kering (6)-(1)	gr	17,17066	15,64402	16,42889
8	Berat Air (3)-(7)	gr	3,929337	3,825983	4,141105
9	Kadar Air (8)/(7) x 100%	%	22,88401	24,45652	25,20623
10	$\gamma_d (7)/(4)$	gr/cm ³	1,529462	1,505525	1,481682
11	Spesific Gravity (Gs)		2,441048	2,441048	2,441048
12	Volume Tanah Kering (7)/(Gs)		7,034135	6,408729	6,730262
13	Isi Pori (4)-(12)	cm ³	4,192	3,982	4,358
14	Derajat Kejenuhan $S_r = (8)/(13) \times 100\%$	%	93,72378	96,07368	95,02879
15	Porositas $(13)/(4) \times 100\%$	%	0,37344	0,383247	0,393014

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 15% dari berat total tanah

No	Keterangan	Satuan	A	B	C
	Tinggi Ring	cm	2,5	2,54	2,4
	Diameter Ring	cm	2,3	2,3	2,5
1	Berat Ring	gr	17,5	17,83	18,14
2	Berat Ring + Tanah Basah	gr	37,88	38,84	41,75
3	Berat Tanah Basah (2)-(1)	gr	20,38	21,01	23,61
4	Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	10,391	10,557	11,786
5	Berat Isi Tanah (3)/(4)	gr/cm ³	1,961299	1,990087	2,003273
6	Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,09855	34,87801	37,31917
7	Berat Tanah Kering (6)-(1)	gr	16,59855	17,04801	19,17917
8	Berat Air (3)-(7)	gr	3,781445	3,961995	4,430831
9	Kadar Air (8)/(7) x 100%	%	22,78177	23,24022	23,10231
10	$\gamma_d (7)/(4)$	gr/cm ³	1,597386	1,614803	1,627323
11	Spesific Gravity (Gs)		2,534297	2,534297	2,534297
12	Volume Tanah Kering (7)/(Gs)		6,549571	6,726918	7,567847
13	Isi Pori (4)-(12)	cm ³	3,842	3,830	4,218
14	Derajat Kejenuhan $S_r = (8)/(13) \times 100\%$	%	98,43667	103,4352	105,0491
15	Porositas $(13)/(4) \times 100\%$	%	0,369692	0,36282	0,35788

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 20% dari berat total tanah

No	Keterangan	Satuan	D	E	F
	Tinggi Ring	cm	2,25	2,50	2,45
	Diameter Ring	cm	2,52	2,30	2,40
1	Berat Ring	gr	16,06	17,42	16,78
2	Berat Ring + Tanah Basah	gr	37,56	36,19	37,02
3	Berat Tanah Basah (2)-(1)	gr	21,50	18,77	20,24
4	Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	11,23	10,39	11,09
5	Berat Isi Tanah (3)/(4)	gr/cm ³	1,92	1,81	1,83
6	Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,46	34,40	35,08
7	Berat Tanah Kering (6)-(1)	gr	18,40	16,98	18,30
8	Berat Air (3)-(7)	gr	3,10	1,79	1,94
9	Kadar Air (8)/(7) x 100%	%	23,88	23,82	24,23
10	γ_d (7)/(4)	gr/cm ³	1,55	1,46	1,47
11	Spesific Gravity (Gs)		2,56	2,56	2,56
12	Volume Tanah Kering (7)/(Gs)		7,18	6,63	7,14
13	Isi Pori (4)-(12)	cm ³	4,05	3,76	3,95
14	Derajat Kejenuhan $S_r = (8)/(13) \times 100\%$	%	76,62	47,55	49,16
15	Porositas (13)/(4) x 100%	%	0,36	0,36	0,36

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 25% dari berat total tanah

No	Keterangan	Satuan	A	B	C
	Tinggi Ring	cm	2,5	2,54	2,4
	Diameter Ring	cm	2,3	2,3	2,5
1	Berat Ring	gr	17,5	17,83	18,14
2	Berat Ring + Tanah Basah	gr	38,25	39,05	41,73
3	Berat Tanah Basah (2)-(1)	gr	20,75	21,22	23,59
4	Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	10,391	10,557	11,786
5	Berat Isi Tanah (3)/(4)	gr/cm ³	1,996907	2,009978	2,001576
6	Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,36886	35,08959	37,32653
7	Berat Tanah Kering (6)-(1)	gr	16,86886	17,25959	19,18653
8	Berat Air (3)-(7)	gr	3,881139	3,960415	4,403467
9	Kadar Air (8)/(7) x 100%	%	23,00771	22,94618	22,95082
10	$\gamma_d (7)/(4)$	gr/cm ³	1,6234	1,634844	1,627948
11	Spesific Gravity (Gs)		2,534297	2,534297	2,534297
12	Volume Tanah Kering (7)/(Gs)		6,65623	6,810405	7,570753
13	Isi Pori (4)-(12)	cm ³	3,735	3,747	4,215
14	Derajat Kejenuhan $S_r = (8)/(13) \times 100\%$	%	103,9171	105,6978	104,4723
15	Porositas (13)/(4) x 100%	%	0,359428	0,354912	0,357633

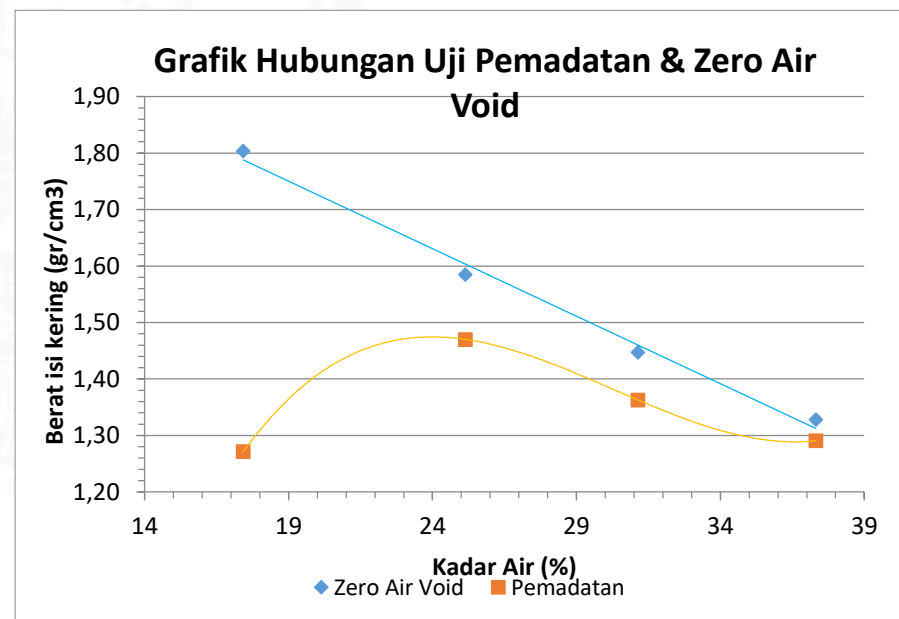
C. Pemadatan

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 5% dari berat total tanah

Penambahan Air	ml	500			700			1000			1300			878		
Berat Cawan	gr	6,07	5,81	5,60	2,97	2,87	2,92	4,04	4,20	4,19	3,99	2,83	4,35	2,88	2,91	4,18
Berat Tanah Basah + Berat Cawan	gr	16,22	17,27	19,48	17,13	22,29	16,66	26,44	30,93	25,17	26,18	27,42	28,00	18,80	15,64	18,44
Berat Tanah Kering + Berat Cawan	gr	14,72	15,58	17,40	14,39	18,51	13,95	21,22	24,53	20,14	20,14	20,75	21,57	15,68	13,08	15,51
Berat Air (Ww)	gr	1,5	1,690	2,08	2,74	3,78	2,71	5,22	6,4	5,03	6,04	6,67	6,43	3,12	2,56	2,93
Berat Tanah Kering (Ws)	gr	8,65	9,77	11,8	11,42	15,64	11,03	17,18	20,33	15,95	16,15	17,92	17,22	12,8	10,17	11,33
Kadar Air (w)	%	17,341	17,298	17,627	23,993	24,169	24,569	30,384	31,481	31,536	37,399	37,221	37,340	24,375	25,172	25,861
Kadar Air Rata-Rata ($\bar{w}$)	%	17,4220			24,244			31,1336			37,320			25,136		

Penambahan Air	ml	500	700	1000	1300	878
Berat Cetakan Mold	gr	2460	2560	2260	2680	2540
Berat Tanah Basah + Berat Cetakan	gr	5560	6140	6140	6360	6360
Berat Tanah Basah	gr	3100	3580	3880	3680	3820
Isi Cetakan	cm ³	2076,446	2133,077	2170,830	2076,446	2076,446
Berat Isi Basah (γ)	gr/cm ³	1,493	1,678	1,787	1,772	1,840
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,27	1,35	1,36	1,29	1,47

Penambahan Air	ml	500	1000	1300	878
Kadar Air (w)	%	17,422	31,134	37,320	25,136
Gs	-	2,63	2,63	2,63	2,63
Berat Volume Air (γ_w)	gr/cm ³	1	1	1	1
Berat Jenis Air Zero Air Void (γ_{zad})	gr/cm ³	1,804	1,447	1,328	1,585

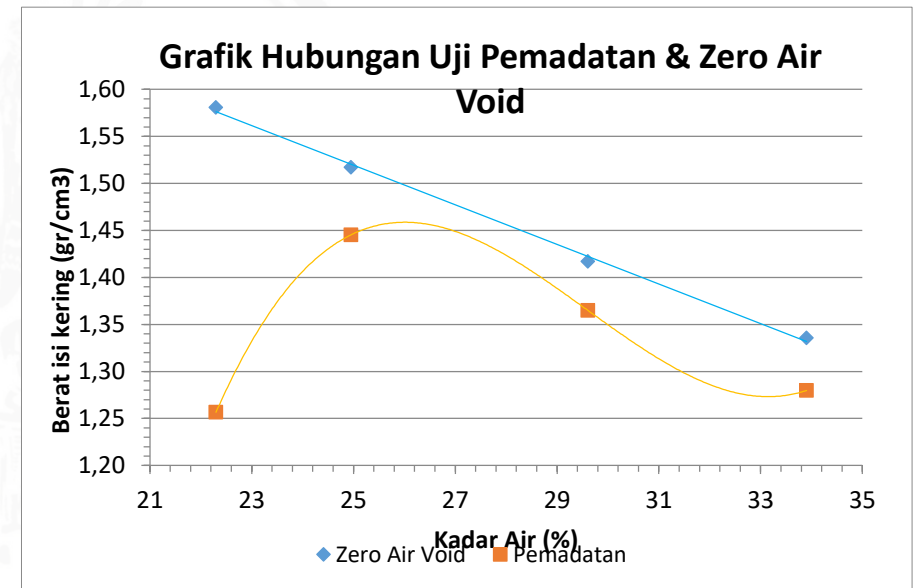


- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 10% dari berat total tanah

Penambahan Air	ml	700			1000			1300			875			1131,35		
Berat Cawan	gr	2,87	5,63	3,16	2,89	4,02	2,88	4,60	2,98	4,16	8,12	2,87	5,89	2,78	4,07	3,06
Berat Tanah Basah + Berat Cawan	gr	11,13	18,88	14,88	17,04	20,85	15,85	21,62	19,58	17,64	18,91	15,99	15,07	16,70	25,55	22,22
Berat Tanah Kering + Berat Cawan	gr	9,59	16,40	12,74	14,00	17,16	13,02	17,34	15,42	14,17	16,80	13,34	13,22	13,55	20,60	17,84
Berat Air (Ww)	gr	1,54	2,480	2,14	3,04	3,69	2,83	4,28	4,16	3,47	2,11	2,65	1,85	3,15	4,95	4,38
Berat Tanah Kering (Ws)	gr	6,72	10,77	9,58	11,11	13,14	10,14	12,74	12,44	10,01	8,68	10,47	7,33	10,77	16,53	14,78
Kadar Air (w)	%	22,917	23,027	22,338	27,363	28,082	27,909	33,595	33,441	34,665	24,309	25,310	25,239	29,248	29,946	29,635
Kadar Air Rata-Rata ($\bar{w}$)	%	22,3000			27,785			33,9003			24,953			29,609		

Penambahan Air	ml	700	1000	1300	875	1131,35
Berat Cetakan Mold	gr	2600	2600	2560	2700	2700
Berat Tanah Basah + Berat Cetakan	gr	5820	6560	6280	6450	6540
Berat Tanah Basah	gr	3220	3960	3720	3750	3840
Isi Cetakan	cm ³	2095,323	2076,446	2170,830	2076,446	2170,830
Berat Isi Basah (γ)	gr/cm ³	1,537	1,907	1,714	1,806	1,769
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,26	1,49	1,28	1,45	1,36

Penambahan Air	ml	700	1300	875	1131,35
Kadar Air (w)	%	22,300	33,900	24,953	29,609
Gs	-	2,44	2,44	2,44	2,44
Berat Volume Air (γ_w)	gr/cm ³	1	1	1	1
Berat Jenis Air Zero Air Void (γ_{zad})	gr/cm ³	1,581	1,336	1,517	1,417

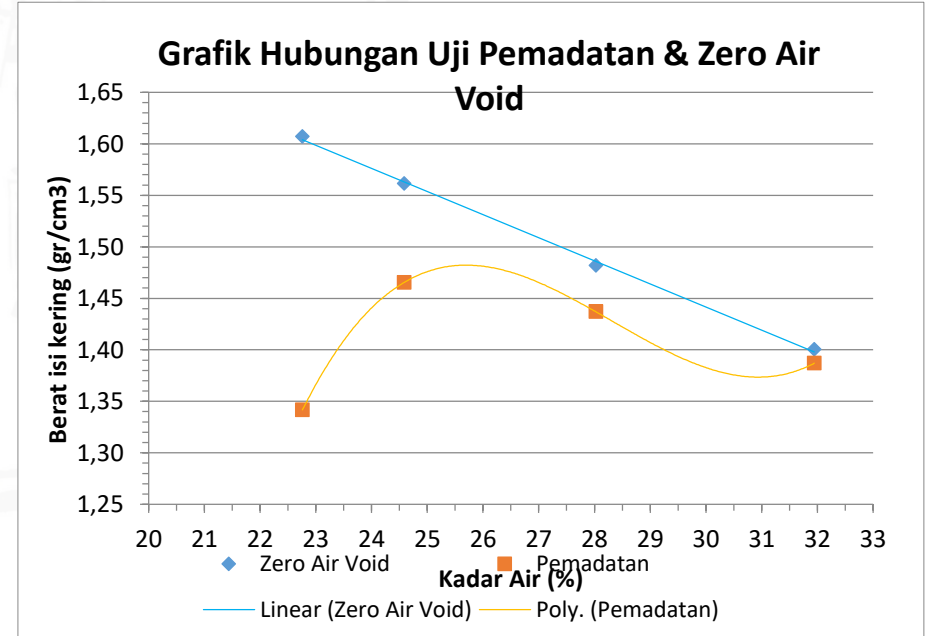


- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 15% dari berat total tanah

Penambahan Air	ml	800			1000			1150			1300			1039,13		
Berat Cawan	gr	5,70	5,61	8,12	2,88	2,91	4,18	4,02	3,20	4,08	4,24	5,17	4,60	4,32	5,66	2,93
Berat Tanah Basah + Berat Cawan	gr	21,20	23,27	20,77	18,80	15,64	18,44	23,03	15,21	24,46	20,43	31,40	22,64	17,95	17,46	12,79
Berat Tanah Kering + Berat Cawan	gr	18,14	19,75	18,30	15,68	13,08	15,51	18,44	12,31	19,50	16,21	24,65	17,92	14,98	14,82	10,67
Berat Air (Ww)	gr	3,06	3,520	2,47	3,12	2,56	2,93	4,59	2,9	4,96	4,22	6,75	4,72	2,97	2,64	2,12
Berat Tanah Kering (Ws)	gr	12,44	14,14	10,18	12,8	10,17	11,33	14,42	9,11	15,42	11,97	19,48	13,32	10,66	9,16	7,74
Kadar Air (w)	%	24,598	24,894	24,263	24,375	25,172	25,861	31,831	31,833	32,166	35,255	34,651	35,435	27,861	28,821	27,390
Kadar Air Rata-Rata ($\bar{w}$)	%	24,5851			25,136			31,9433			35,114			28,024		

Penambahan Air	ml	800	1000	1150	1300	1039,13	700
Berat Cetakan Mold	gr	2260	2600	2680	2980	2540	2540
Berat Tanah Basah + Berat Cetakan	gr	6120	6560	6480	6820	6360	5960
Berat Tanah Basah	gr	3860	3960	3800	3840	3820	3420
Isi Cetakan	cm ³	2114,200	2114,200	2076,446	2133,077	2076,446	2076,446
Berat Isi Basah (γ)	gr/cm ³	1,826	1,873	1,830	1,800	1,840	1,647
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,47	1,50	1,39	1,33	1,44	1,34

Penambahan Air	ml	800	1150	1039,13	700
Kadar Air (w)	%	24,585	31,943	28,024	22,761
Gs	-	2,53	2,53	2,53	2,53
Berat Volume Air (γ_w)	gr/cm ³	1	1	1	1
Berat Jenis Air Zero Air Void (γ_{zad})	gr/cm ³	1,561	1,401	1,482	1,607

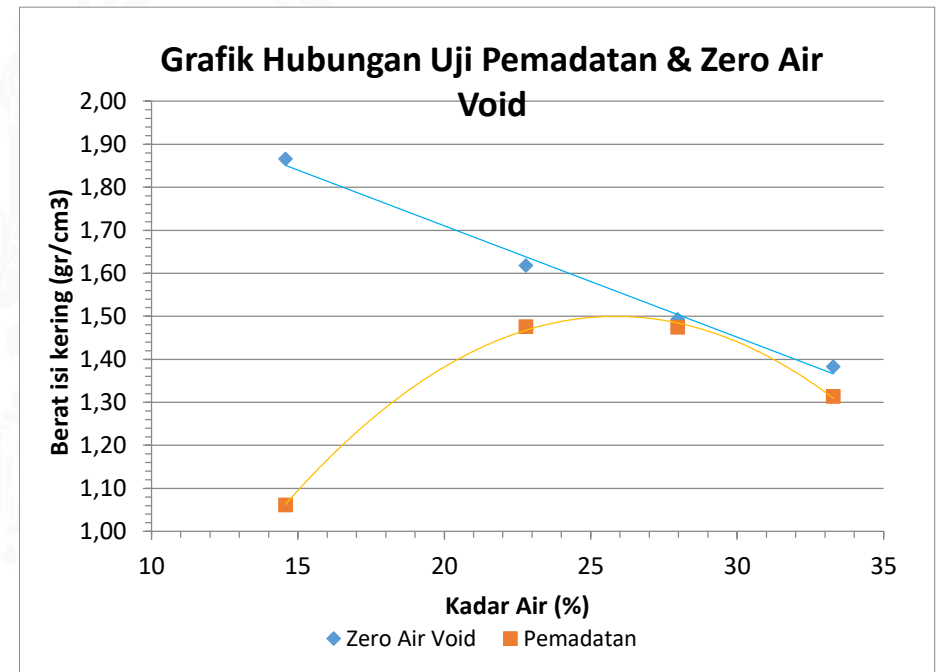


- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 20% dari berat total tanah

Penambahan Air	ml	800			1000			1100			1300			400		
Berat Cawan	gr	3,18	2,92	4,30	4,16	4,51	4,20	2,92	2,92	2,95	5,56	6,10	5,65	8,31	4,60	8,28
Berat Tanah Basah + Berat Cawan	gr	14,56	22,78	18,85	18,55	34,64	24,78	15,23	17,74	15,82	18,48	21,00	20,12	25,41	14,68	26,55
Berat Tanah Kering + Berat Cawan	gr	12,44	19,08	16,17	15,47	28,05	20,39	12,53	14,45	13,06	15,33	17,24	16,46	23,25	13,38	24,24
Berat Air (Ww)	gr	2,12	3,700	2,68	3,08	6,59	4,39	2,7	3,29	2,76	3,15	3,76	3,66	2,16	1,3	2,31
Berat Tanah Kering (Ws)	gr	9,26	16,16	11,87	11,31	23,54	16,19	9,61	11,53	10,11	9,77	11,14	10,81	14,94	8,78	15,96
Kadar Air (ω)	%	22,894	22,896	22,578	27,233	27,995	27,116	28,096	28,534	27,300	32,242	33,752	33,858	14,458	14,806	14,474
Kadar Air Rata-Rata ($\bar{\omega}$)	%	22,7894			27,448			27,9766			33,284			14,579		

Penambahan Air	ml	800	1000	1100	1300	400
Berat Cetakan Mold	gr	2260	2980	2900	2600	2260
Berat Tanah Basah + Berat Cetakan	gr	6160	7000	6960	6400	5840
Berat Tanah Basah	gr	3900	4020	4060	3800	3580
Isi Cetakan	cm ³	2151,954	2170,830	2151,954	2170,830	2944,779
Berat Isi Basah (γ)	gr/cm ³	1,812	1,852	1,887	1,750	1,216
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,48	1,45	1,47	1,31	1,06

Penambahan Air	ml	800	1100	1300	400
Kadar Air (ω)	%	22,789	27,977	33,284	14,579
Gs	-	2,56	2,56	2,56	2,56
Berat Volume Air (γ_w)	gr/cm ³	1	1	1	1
Berat Jenis Air Zero Air Void (γ_{zad})	gr/cm ³	1,618	1,492	1,383	1,865

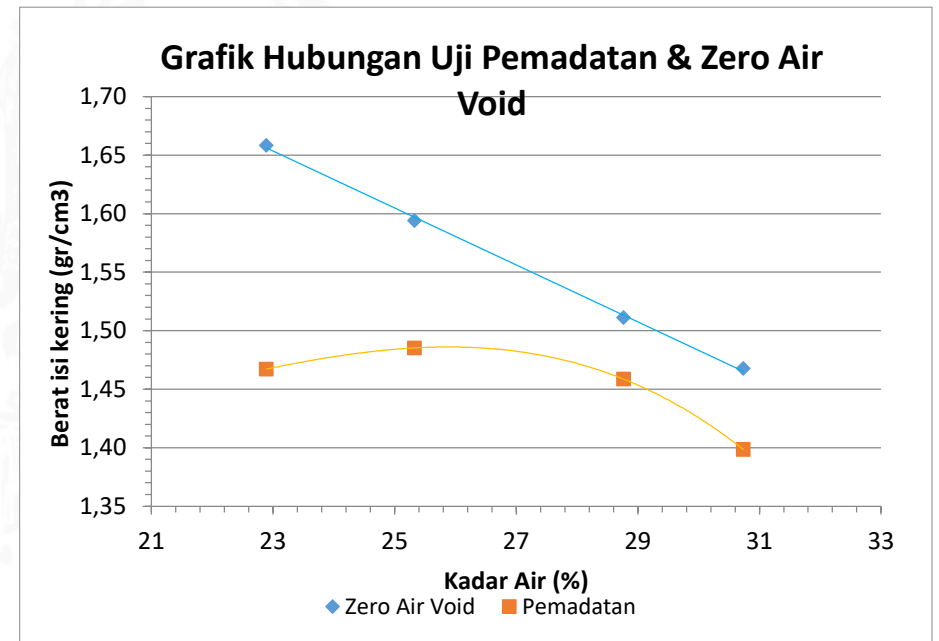


- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 25% dari berat total tanah

Penambahan Air	ml	800			1000			1100			1200			875		
Berat Cawan	gr	5,66	4,01	5,58	2,91	2,89	5,68	4,24	2,85	2,98	4,19	5,89	6,77	6,08	3,50	6,40
Berat Tanah Basah + Berat Cawan	gr	17,10	23,32	14,89	15,10	16,81	19,71	20,03	15,00	20,70	18,87	25,51	18,83	14,15	12,96	15,57
Berat Tanah Kering + Berat Cawan	gr	14,99	19,70	13,15	12,40	13,70	16,55	16,47	12,27	16,77	15,49	21,01	15,87	12,54	11,01	13,73
Berat Air (Ww)	gr	2,11	3,620	1,74	2,7	3,11	3,16	3,56	2,73	3,93	3,38	4,5	2,96	1,61	1,95	1,84
Berat Tanah Kering (Ws)	gr	9,33	15,69	7,57	9,49	10,81	10,87	12,23	9,42	13,79	11,3	15,12	9,1	6,46	7,51	7,33
Kadar Air (w)	%	22,615	23,072	22,985	28,451	28,770	29,071	29,109	28,981	28,499	29,912	29,762	32,527	24,923	25,965	25,102
Kadar Air Rata-Rata ($\bar{w}$)	%		22,8909		28,764			28,8629			30,734			25,330		

Penambahan Air	ml	800	1000	1100	1200	875
Berat Cetakan Mold	gr	2900	2560	2980	2600	2960
Berat Tanah Basah + Berat Cetakan	gr	6780	6460	6860	6500	6940
Berat Tanah Basah	gr	3880	3900	3880	3900	3980
Isi Cetakan	cm ³	2151,954	2076,446	2133,077	2133,077	2138,092
Berat Isi Basah (γ)	gr/cm ³	1,803	1,878	1,819	1,828	1,861
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,47	1,46	1,41	1,40	1,49

Penambahan Air	ml	800	1000	1200	875
Kadar Air (w)	%	22,891	28,764	30,734	25,330
Gs	-	2,67	2,67	2,67	2,67
Berat Volume Air (γ_w)	gr/cm ³	1	1	1	1
Berat Jenis Air Zero Air Void (γ_{zad})	gr/cm ³	1,659	1,511	1,468	1,594

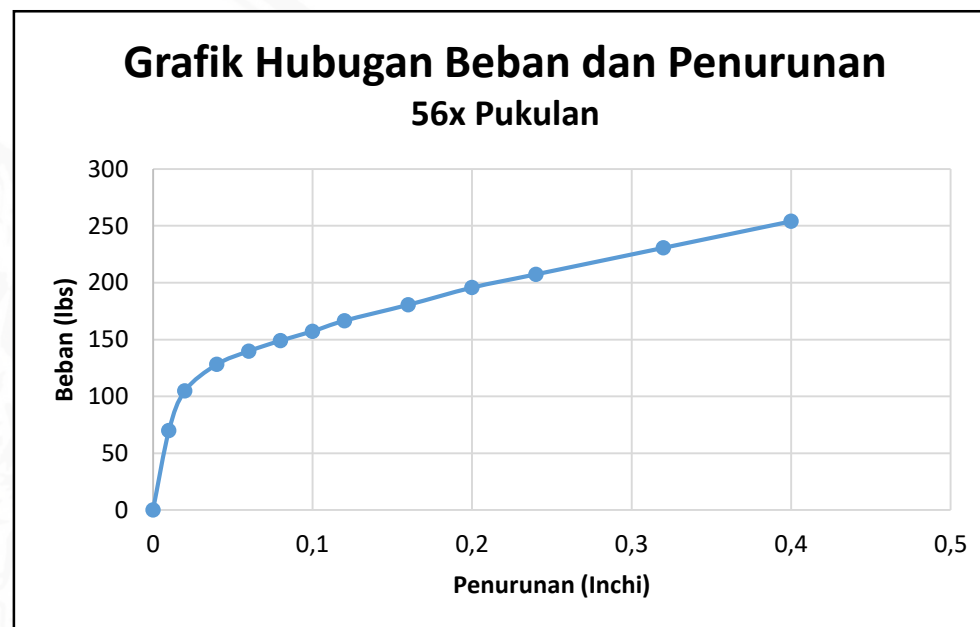


D. Uji CBR

➤ Tanpa Rendaman (Unsoaked)

- Tanah Asli

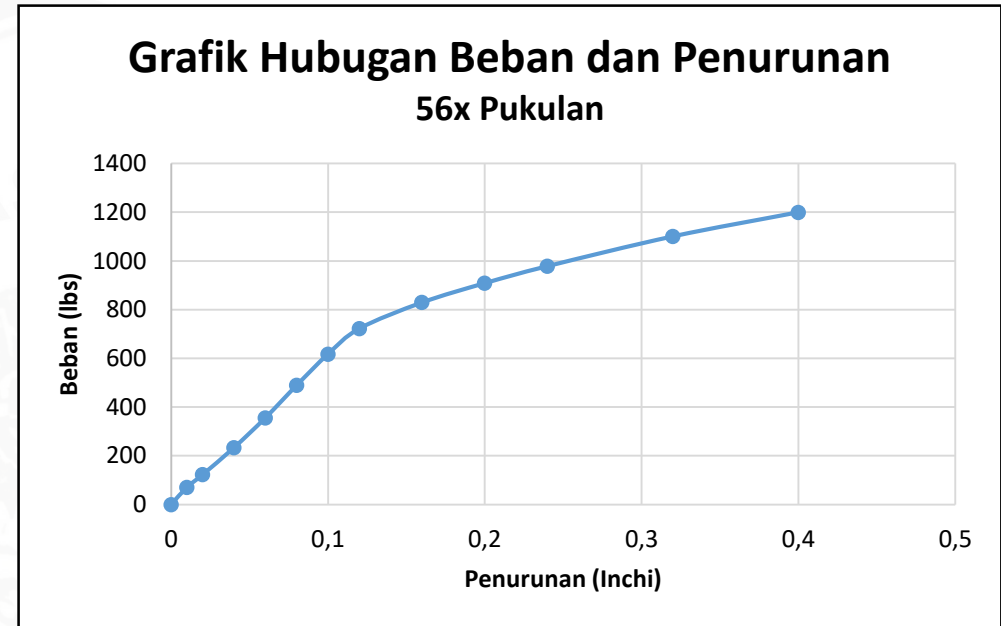
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	6	69,9
0,5	0,020	9	104,85
1	0,040	11	128,15
1,5	0,060	12	139,8
2	0,080	12,8	149,12
2,5	0,100	13,5	157,275
3	0,120	14,3	166,595
4	0,160	15,5	180,575
5	0,200	16,8	195,72
6	0,240	17,8	207,37
8	0,320	19,8	230,67
10	0,400	21,8	253,97



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
5,243	%	4,349	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 5% dari berat total tanah

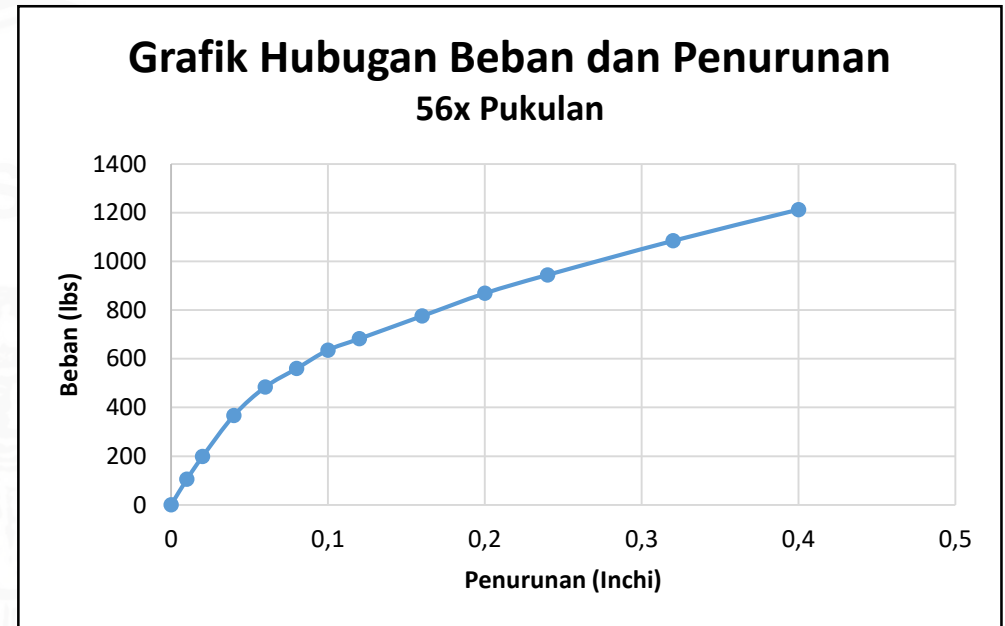
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	6	69,9
0,5	0,020	10,5	122,325
1	0,040	20	233
1,5	0,060	30,5	355,325
2	0,080	42	489,3
2,5	0,100	53	617,45
3	0,120	62	722,3
4	0,160	71,2	829,48
5	0,200	78	908,7
6	0,240	84	978,6
8	0,320	94,5	1100,93
10	0,400	103	1199,95



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
20,582	%	20,193	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 10% dari berat total tanah

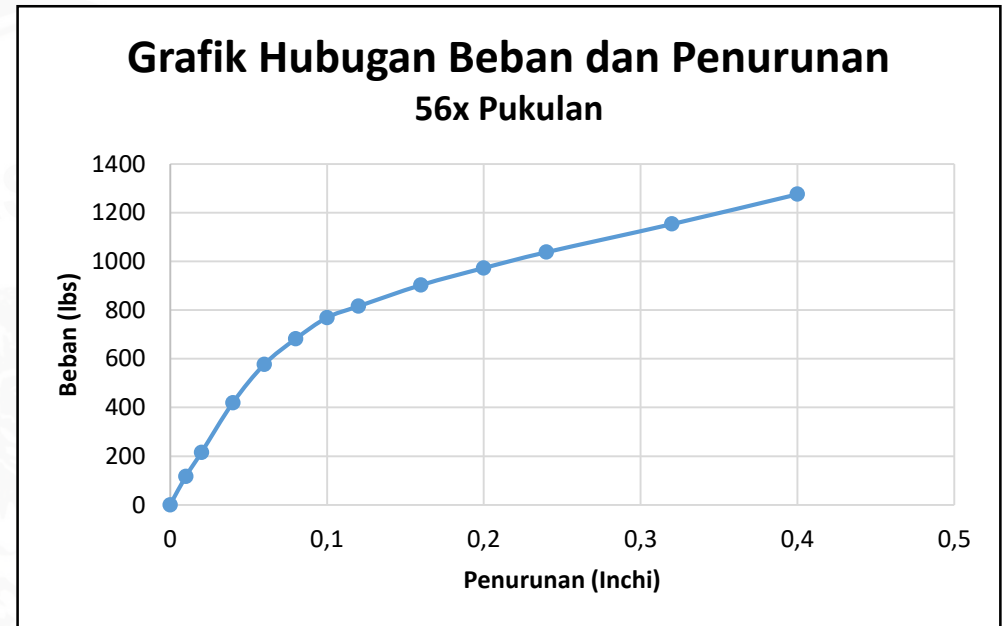
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	9	104,85
0,5	0,020	17	198,05
1	0,040	31,5	366,975
1,5	0,060	41,5	483,475
2	0,080	48	559,2
2,5	0,100	54,5	634,925
3	0,120	58,5	681,525
4	0,160	66,5	774,725
5	0,200	74,5	867,925
6	0,240	81	943,65
8	0,320	93	1083,45
10	0,400	104	1211,6



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
21,16416667	%	19,287	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 15% dari berat total tanah

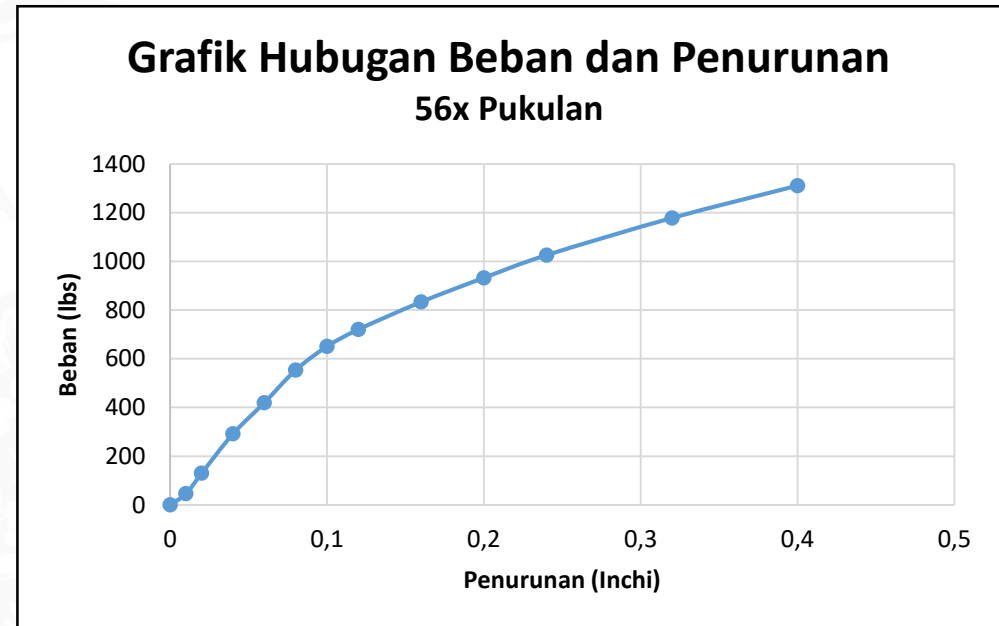
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	10	116,5
0,5	0,020	18,5	215,525
1	0,040	36	419,4
1,5	0,060	49,5	576,675
2	0,080	58,5	681,525
2,5	0,100	66	768,9
3	0,120	70	815,5
4	0,160	77,5	902,875
5	0,200	83,5	972,775
6	0,240	89,1	1038,02
8	0,320	99	1153,35
10	0,400	109,5	1275,68



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
25,630	%	21,617	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 20% dari berat total tanah

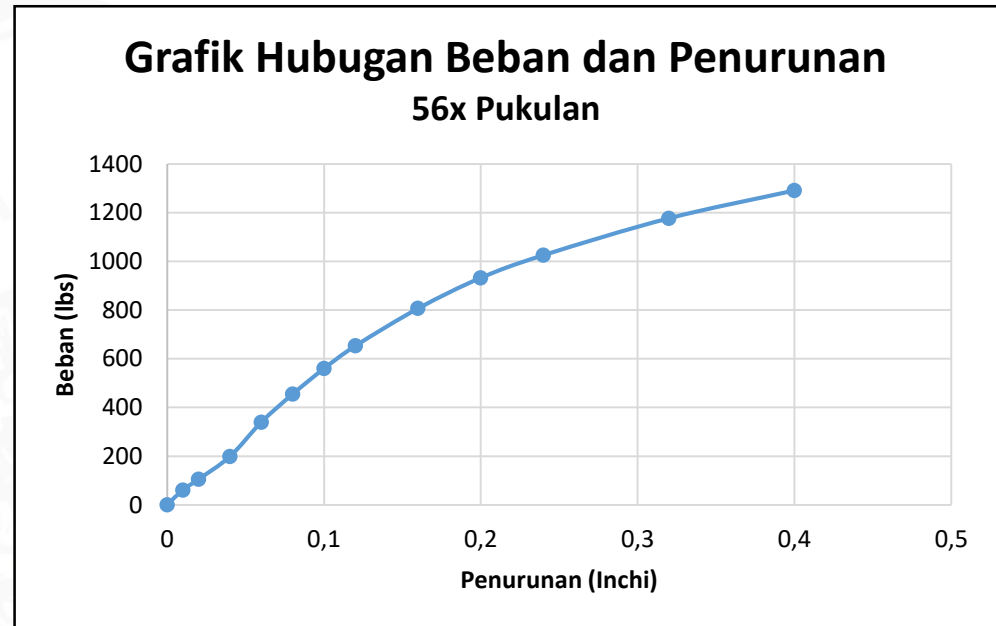
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	3,9	45,435
0,5	0,020	11,1	129,315
1	0,040	25	291,25
1,5	0,060	36	419,4
2	0,080	47,5	553,375
2,5	0,100	55,8	650,07
3	0,120	61,8	719,97
4	0,160	71,5	832,975
5	0,200	80	932
6	0,240	88	1025,2
8	0,320	101,1	1177,82
10	0,400	112,5	1310,63



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
21,669	%	20,711	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 25% dari berat total tanah

Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	5,2	60,58
0,5	0,020	9	104,85
1	0,040	17	198,05
1,5	0,060	29,1	339,015
2	0,080	39	454,35
2,5	0,100	48	559,2
3	0,120	56	652,4
4	0,160	69,2	806,18
5	0,200	80	932
6	0,240	88	1025,2
8	0,320	101	1176,65
10	0,400	110,8	1290,82

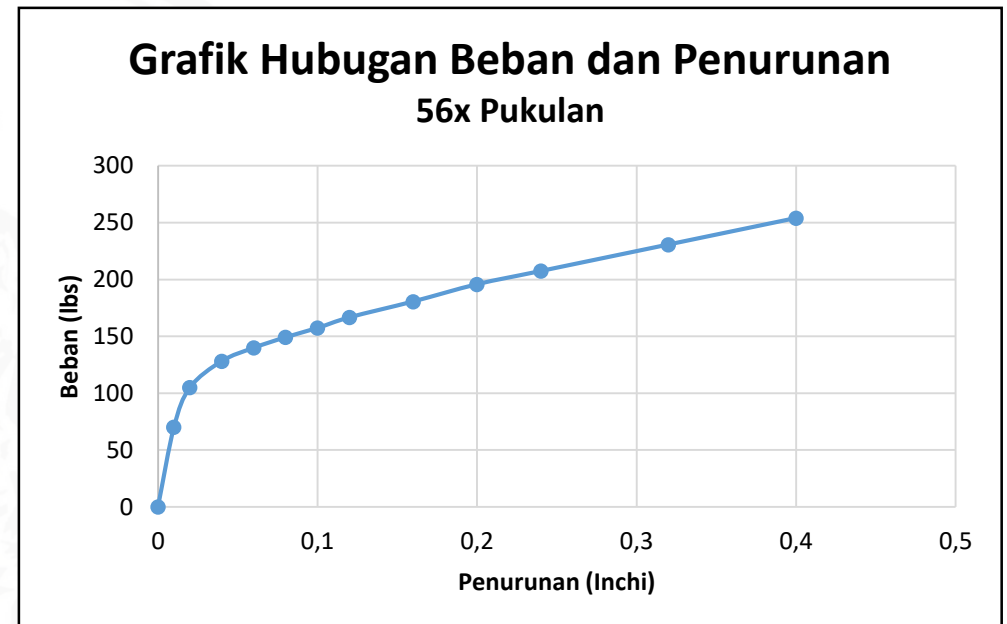


Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
18,64	%	20,711	%

➤ Dengan Rendaman (Soaked)

- Tanah Asli

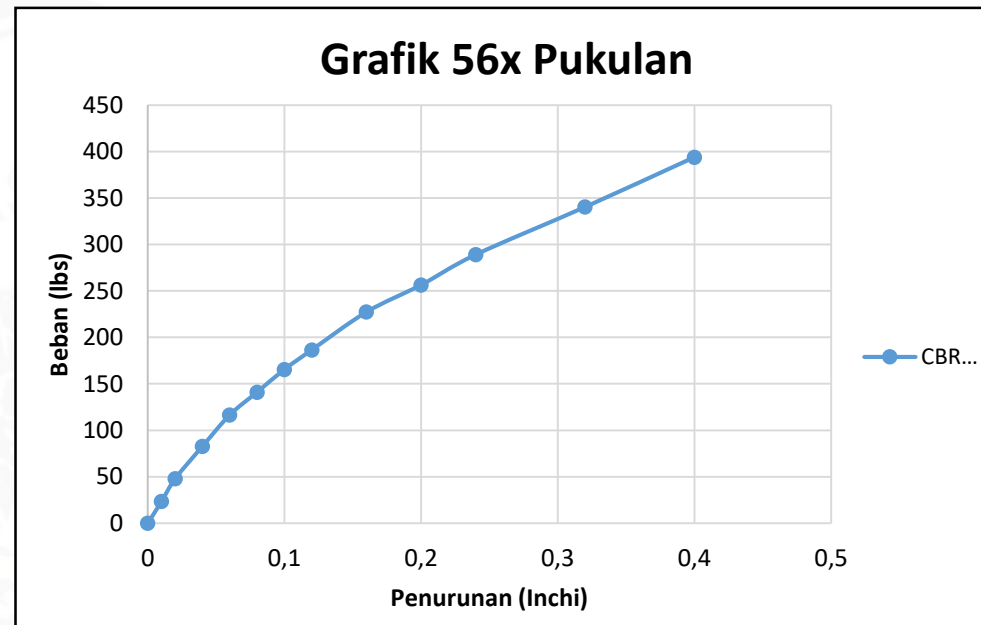
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	6	69,9
0,5	0,020	9	104,85
1	0,040	11	128,15
1,5	0,060	12	139,8
2	0,080	12,8	149,12
2,5	0,100	13,5	157,275
3	0,120	14,3	166,595
4	0,160	15,5	180,575
5	0,200	16,8	195,72
6	0,240	17,8	207,37
8	0,320	19,8	230,67
10	0,400	21,8	253,97



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
5,243	%	4,349	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 5% dari berat total tanah

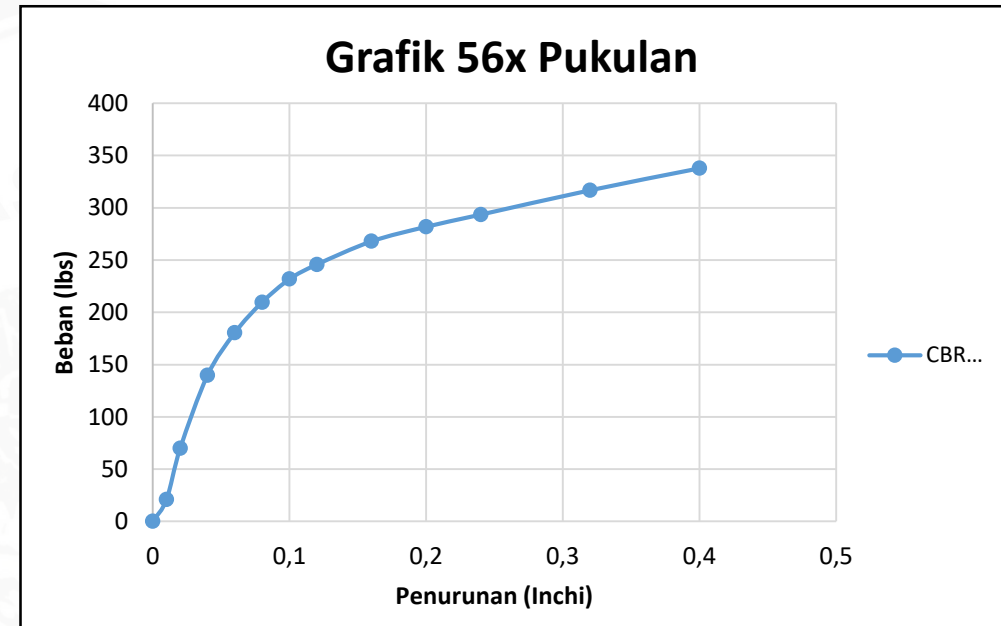
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	2	23,300
0,5	0,020	4,1	47,765
1	0,040	7,1	82,715
1,5	0,060	10	116,500
2	0,080	12,1	140,965
2,5	0,100	14,2	165,430
3	0,120	16	186,400
4	0,160	19,5	227,175
5	0,200	22	256,300
6	0,240	24,8	288,920
8	0,320	29,2	340,180
10	0,400	33,8	393,770



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
5,514	%	5,696	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 10% dari berat total tanah

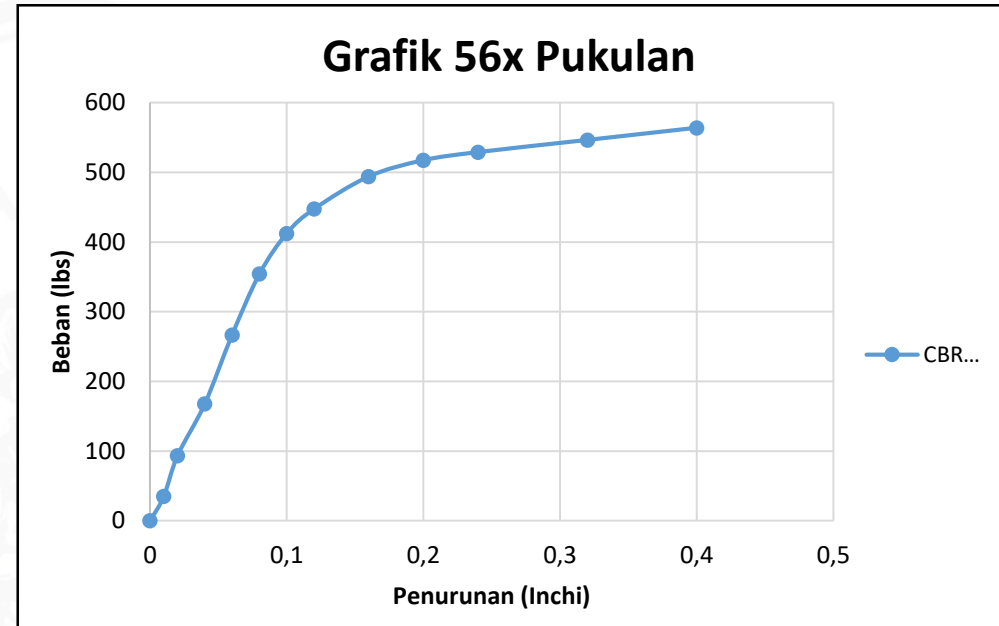
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	1,8	20,970
0,5	0,020	6	69,900
1	0,040	12	139,800
1,5	0,060	15,5	180,575
2	0,080	18	209,700
2,5	0,100	19,9	231,835
3	0,120	21,1	245,815
4	0,160	23	267,950
5	0,200	24,2	281,930
6	0,240	25,2	293,580
8	0,320	27,2	316,880
10	0,400	29	337,850



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
7,728	%	6,265	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 15% dari berat total tanah

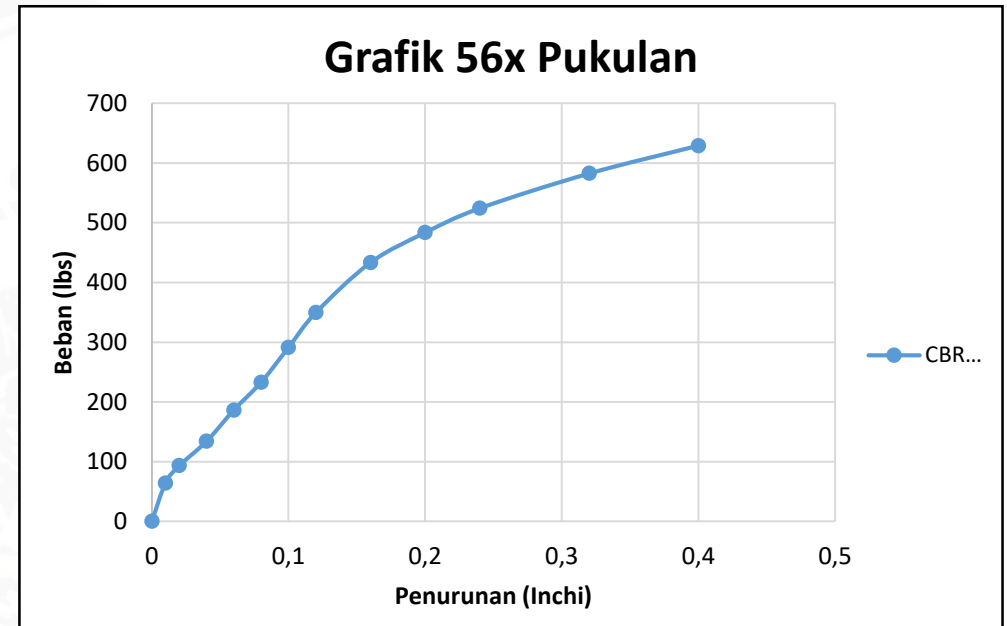
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	3	34,950
0,5	0,020	8	93,200
1	0,040	14,4	167,760
1,5	0,060	22,9	266,785
2	0,080	30,4	354,160
2,5	0,100	35,4	412,410
3	0,120	38,4	447,360
4	0,160	42,4	493,960
5	0,200	44,4	517,260
6	0,240	45,4	528,910
8	0,320	46,9	546,385
10	0,400	48,4	563,860



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
13,747	%	11,495	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 20% dari berat total tanah

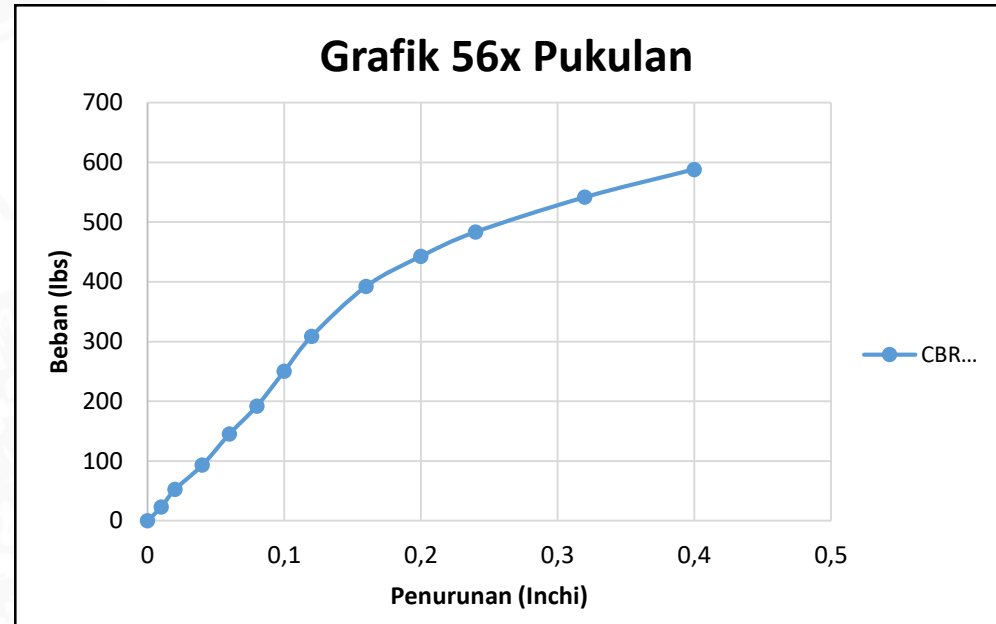
Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	5,5	64,075
0,5	0,020	8	93,200
1	0,040	11,5	133,975
1,5	0,060	16	186,400
2	0,080	20	233,000
2,5	0,100	25	291,250
3	0,120	30	349,500
4	0,160	37,2	433,380
5	0,200	41,5	483,475
6	0,240	45	524,250
8	0,320	50	582,500
10	0,400	54	629,100



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
9,708	%	10,744	%

- Pengujian menggunakan fly ash sebanyak 25% dari berat total tanah

Dial Reading (menit)	Penurunan (inchi)	Pembacaan Arloji	Beban (lbs)
0	0	0	0
0,25	0,010	2	23,300
0,5	0,020	4,5	52,425
1	0,040	8	93,200
1,5	0,060	12,5	145,625
2	0,080	16,5	192,225
2,5	0,100	21,5	250,475
3	0,120	26,5	308,725
4	0,160	33,7	392,605
5	0,200	38	442,700
6	0,240	41,5	483,475
8	0,320	46,5	541,725
10	0,400	50,5	588,325



Penurunan 0.1 inchi	Satuan	Penurunan 0.2 inchi	Satuan
8,349	%	9,838	%

Lampiran 2. Data Hasil Pengujian Kandungan Fly Ash.



UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)

Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (psw 200) / 574895 / 085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI
No. LSUM.LHU.E.00110.2018

Nomor Pengujian : LSUM.P.00093.2018
Nomor Sampel : Fly Ash 1 (E 94)
Nama Pelanggan : M. Redianto
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : XRF
Sampel Diterima Tanggal : 06 Februari 2018

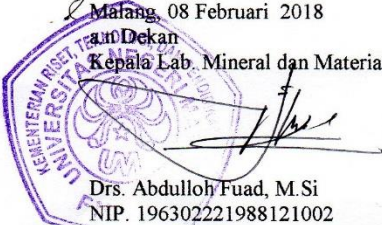
Hasil

Compound	Conc (%)	Metode
Al	11	XRF
Si	23,8	
K	2,04	
Ca	19,6	
Ti	2,32	
V	0,11	
Cr	0,097	
Mn	0,36	
Fe	36,7	
Ni	0,049	
Cu	0,097	
Zn	0,03	
Sr	0,47	
Mo	2,5	
Ba	0,43	
Eu	0,3	
Re	0,38	

Keterangan :

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 08 Februari 2018


Kepala Lab. Mineral dan Material Maju

Drs. Abdulloh Fuad, M.Si
NIP. 196302221988121002

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian SPT.



Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Perlakuan perawatan terhadap benda uji CBR.



Gambar 2. Pengujian CBR

