

**KINERJA *FLY ASH* TERHADAP STABILISASI TANAH LUNAK
SEBAGAI MATERIAL PERBAIKAN TANAH DASAR (*SUBGRADE*)**

(Skripsi)

Oleh

NANDA DWI WAHYUNI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

KINERJA *FLY ASH* TERHADAP STABILISASI TANAH LUNAK SEBAGAI MATERIAL PERBAIKAN TANAH DASAR (*SUBGRADE*)

Oleh

NANDA DWI WAHYUNI

Tanah dasar memiliki peranan penting dalam perencanaan pekerjaan konstruksi jalan. Namun, pada perencanaannya terkadang menjadi permasalahan karena tanah yang digunakan sebagai material tanah dasar memiliki daya dukung rendah, seperti tanah lunak. Salah satu parameter untuk mengetahui daya dukung tanah yaitu dengan pengujian CBR dan batas konsistensi untuk mengetahui sifat fisis tanah yang mempengaruhi daya dukung tersebut. Sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dasar melalui stabilisasi untuk menghasilkan material konstruksi yang memenuhi standar konstruksi jalan yaitu dengan bahan aditif berupa *fly ash*. Pada penelitian ini *fly ash* sebagai bahan stabilisasi menggunakan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, dan 14 hari di suhu ruang.

Hasil penelitian menunjukkan nilai CBR meningkat seiring penambahan persentase *fly ash* serta lamanya pemeraman. Peningkatan nilai CBR optimum terjadi pada penambahan 15% *fly ash* dengan waktu pemeraman 14 hari sebesar 23,89% di suhu ruang. Penambahan persentase *fly ash* juga mempengaruhi sifat plastis tanah yang mengalami penurunan dari tanah asli sebesar 28,19% menjadi 9,02% pada penambahan 15% *fly ash*.

Kata kunci : *fly ash*, stabilisasi tanah, CBR, tanah lunak

ABSTRACT

FLY ASH PERFORMANCE ON SOFT SOIL STABILIZATION AS SUBGRADE IMPROVEMENT MATERIAL

By

NANDA DWI WAHYUNI

Subgrade has an important role in road construction work planning. However, a problem may appear because the soil which is used as the subgrade material has low quality, such as soft soil. One of the parameters to know the quality of the soil is by CBR testing and Atterberg Limit to know the index properties of soil that affect the quality. It is necessary to improve the subgrade soil through stabilization to produce construction materials based on standards by using additives in the form of fly ash. In this study, some variations of fly ash as a stabilization material are 0%, 5%, 10%, and 15% with curing time of 0 days, 7 days, and 14 days at room temperature.

The results showed CBR value increased along with the increase in fly ash percentage as well as the length of curing time. The optimum CBR is 23.89% which is occurred in the addition of 15% fly ash with a 14-day curing time of at room temperature. The addition of fly ash percentage also affects the plasticity index of soils that have decreased from native soil by 28.19% to 9.02% in the addition of 15% fly ash.

Keywords: fly ash, soil stabilization, CBR, soft soil

**KINERJA *FLY ASH* TERHADAP STABILISASI TANAH LUNAK
SEBAGAI MATERIAL PERBAIKAN TANAH DASAR (*SUBGRADE*)**

Oleh

NANDA DWI WAHYUNI

Skripsi

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

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **Kinerja Fly Ash terhadap Stabilisasi Tanah Lunak sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (Subgrade)**

Nama Mahasiswa : **Nanda Dwi Wahyuni**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615011028**

Program Studi : **S1 Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**



Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19731018 200012 1 001

Aminudin Syah, S.T., M.Eng.
NIP 19880323 201903 1 019

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D.

Sekretaris

Aminudin Syah, S.T., M.Eng

Penguji

Bukan Pembimbing : Iswan, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP.196207171987031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Juni 2021

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nanda Dwi Wahyuni

NPM : 1615011028

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik, Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi berjudul **“Kinerja Fly Ash Terhadap Stabilisasi Tanah Lunak Sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (*Subgrade*)”** adalah benar hasil karya saya, bukan menjiplak hasil karya orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Ide penelitian diperoleh dari Pembimbing I, hak atas data penelitian berada pada Saya dan Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Jika dikemudian hari ternyata ada hal yang melanggar, saya bersedia bertanggung jawab dan diberi sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2021



Nanda

Nanda Dwi Wahyuni

RIWAYAT HIDUP



Nanda Dwi Wahyuni, lahir di Pringsewu, Lampung pada tanggal 04 Desember 1997, yang merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan dari Bapak Makmur dan Ibu Partini. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Aisyiyah 2 Pringsewu (2002-2004), melanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 2 Pringsewu (2004-2010), lalu Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Pringsewu (2010-2013), dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 1 Pringsewu (2013-2016).

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur undangan Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS), penulis tercatat sebagai anggota Media Informasi (2017/2018) dan anggota Departemen Kerohanian dan Keolahragaan (2018/2019). Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2019 pada periode II di Desa Sumber Rejo, Kecamatan Waway Karya, Kabupaten Lampung Timur. Tahun 2019 penulis juga melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Gedung B Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.

Persembahan

Alhamdulillahirabbil 'alamin...

Dengan rasa syukur, kupersembahkan karya sederhana ini teruntuk orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

Kedua orang tuaku dan kakakku tercinta, yang telah mencurahkan kasih dan sayangnya disetiap langkah, melantunkan harapan dalam setiap doa, memberikan semangat tiada henti, dan mendukung serta memberi dorongan kepadaku untuk menggapai cita-cita.

Untuk diriku sendiri, terima kasih telah berjuang melawan ke-mager-an serta *mood* yang tidak menentu dalam penyusunan skripsi ini. Jangan puas hanya sampai disini, perjalanan masih panjang, ini menjadi langkah awal untuk mengejar impian. Semangat!

Seluruh keluarga dan teman-temanku yang selalu mendukung, memberikan semangat, dan menantikan keberhasilanku.

Seluruh dosen dan orang-orang yang dengan tulus telah memberi ilmu pengetahuan maupun pelajaran hidup yang bermanfaat bagiku.

Keluarga besar Teknik Sipil Universitas Lampung, terima kasih untuk cerita dan kenangannya.

Almamater tercinta, Universitas Lampung.

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah: 6)

“Opportunities don’t happen. You create them”

(Chris Grosser)

“Selama ada keyakinan, semua akan menjadi mungkin”

(Anonim)

“Success is the sum of small efforts, repeated day-in and day-out”

(Robert Collier)

“Dan bahwasanya seorang manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya”

(Q.S. An-Najm: 39)

“Pengalaman adalah apa yang kita dapatkan ketika kita tidak mendapatkan apa yang kita inginkan”

(Enio Carvalho)

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul **“Kinerja *Fly Ash* Terhadap Stabilisasi Tanah Lunak Sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (*Subgrade*)”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak atas bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan, antara lain kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Bapak (Alm.) Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung sebelumnya.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

5. Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa membimbing, menuntun, serta memberikan arahan kepada penulis. Terima kasih atas kesabarannya dalam membimbing penulis dan selalu memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Aminudin Syah, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan, saran, serta arahan yang diberikan. Terima kasih telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan.
7. Bapak Iswan, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian skripsi penulis.
8. Bapak Dr. Eng. Aleksander Purba, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis yang telah membimbing dan memberikan motivasi selama masa perkuliahan.
9. Seluruh dosen Prodi S1 Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu pengetahuan dengan penuh ikhlas, serta staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil.
10. Kedua orang tuaku, Bapak Makmur dan Ibu Partini terima kasih untuk cinta dan juga kasih sayang yang telah diberikan kepada penulis, yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moral maupun materi, dan untuk doa yang tiada henti.
11. Kakak perempuanku Dita Rosalina dan kakak iparku Cucu Nuri W. terima kasih selalu menyemangati, mendukung, dan mendoakan setiap langkah penulis. Keponakanku tersayang Erland Fatir Abqary yang selalu menjadi penghibur dikala penat.

12. Teman sepenelitian seperjuangan dan juga sahabatku Septriza. Terima kasih atas kebersamaannya melewati segala kesulitan dalam mengerjakan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan.
13. Sahabat-sahabatku Selvia, Fitri, Nova, Putri, Jeane yang telah menemaniku di masa perkuliahan dalam suka maupun duka. Mahar dan Laras yang selalu mendengarkan keluh kesahku. Teman sesama NPM 08-ku Brina yang selalu gupek bareng dalam perkuliahan.
14. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung terkhusus teman seperjuanganku angkatan 2016, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan bantuannya selama penulis menjalani perkuliahan.
15. Seluruh teknisi Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung, atas segala bantuan dan bimbingannya kepada penulis dalam melakukan proses penelitian.
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena itu saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, Juni 2021
Penulis,

Nanda Dwi Wahyuni

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah.....	6
F. Sistematika Penulisan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
III. LANDASAN TEORI	12
A. Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	12
B. Sistem Klasifikasi Tanah.....	12
C. Tanah Lunak.....	15
D. Sifat Fisis Tanah.....	16
1. Kadar Air (<i>w</i>)	16
2. <i>Specific Gravity</i> (<i>G_s</i>).....	16
3. Batas-batas Konsistensi (<i>Atterberg Limit</i>)	16
4. Distribusi Ukuran Butiran	18
E. Sifat Mekanis Tanah	18
1. Pemadatan (<i>Compaction</i>).....	18
2. CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	20
F. Stabilisasi Tanah	21
G. <i>Fly Ash</i>	21
H. Stabilisasi Tanah dengan <i>Fly Ash</i>	23

IV.METODE PENELITIAN.....	25
A. Diagram Alir Penelitian	25
B. Pengumpulan Data	26
C. Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian	26
D. Metode Pengambilan Sampel.....	27
E. Pelaksanaan Pengujian	28
1. Uji Sifat Fisis Tanah.....	28
2. Pencampuran <i>Fly Ash</i>	32
3. Uji Pemadatan Standar (<i>Standard Proctor</i>)	32
4. Uji CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	34
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
A. Sampel Tanah Asli	35
1. Uji Kadar Air (<i>w</i>)	35
2. Uji <i>Specific Gravity</i> (<i>G_s</i>).....	36
3. Uji Batas-batas Konsistensi (<i>Atterberg Limit</i>)	36
4. Uji Distribusi Ukuran Butiran	37
5. Klasifikasi Sampel Tanah	39
B. Sifat Fisis Tanah dengan Penambahan Kadar <i>Fly Ash</i>	41
C. Sifat Mekanis Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> dengan Kondisi Suhu Ruang....	44
1. Tanpa Pemeraman 0 Hari	44
2. Waktu Pemeraman 7 Hari	47
3. Waktu Pemeraman 14 Hari	50
VI.SIMPULAN DAN SARAN.....	54
A. Simpulan	54
B. Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Nilai Indeks Plastisitas	18
Tabel 3.2 Kriteria CBR untuk Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>).....	20
Tabel 4.1 Komposisi Campuran Tanah dan <i>Fly Ash</i>	32
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kadar Air (<i>w</i>).....	35
Tabel 5.2 Hasil Pengujian <i>Specific Gravity (Gs)</i>	36
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi	36
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisa Saringan.....	37
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisa Hidrometer.....	38
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah Asli	39
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi dengan Penambahan <i>Fly Ash</i>	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1	Peta Penyebaran Tanah Lunak di Indonesia..... 2
Gambar 3.1	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO)</i> 13
Gambar 3.2	<i>Unified Soil Classification System (USCS)</i> 14
Gambar 3.3	Batas-batas Konsistensi Tanah. 17
Gambar 3.4	Bentuk partikel <i>fly ash</i> dengan skala pembesaran 2000x..... 23
Gambar 4.1	Diagram alir penelitian. 25
Gambar 4.2	Lokasi sampel tanah. 27
Gambar 5.1	Grafik hubungan jumlah pukulan dengan kadar air. 37
Gambar 5.2	Grafik hasil pengujian analisa saringan dan analisa hidrometer. .. 38
Gambar 5.3	Plot grafik klasifikasi berdasarkan <i>AASHTO</i> 40
Gambar 5.4	Plot grafik klasifikasi berdasarkan <i>USCS</i> 40
Gambar 5.5	Grafik hubungan antara batas-batas konsistensi dengan variasi kadar <i>fly ash</i> 42
Gambar 5.6	Hubungan sifat mekanis tanah campuran <i>fly ash</i> tanpa pemeraman 0 hari dengan kondisi suhu ruang. 44
Gambar 5.7	Hubungan sifat mekanis tanah campuran <i>fly ash</i> pada waktu pemeraman 7 hari dengan kondisi suhu ruang. 47
Gambar 5.8	Hubungan sifat mekanis tanah campuran <i>fly ash</i> pada waktu pemeraman 14 hari dengan kondisi suhu ruangan..... 50
Gambar 5.9	Grafik hubungan penambahan kadar optimum <i>fly ash</i> dan CBR. . 53
Gambar 5.10	Grafik rekapitulasi hubungan penambahan kadar optimum <i>fly ash</i> dan CBR. 53

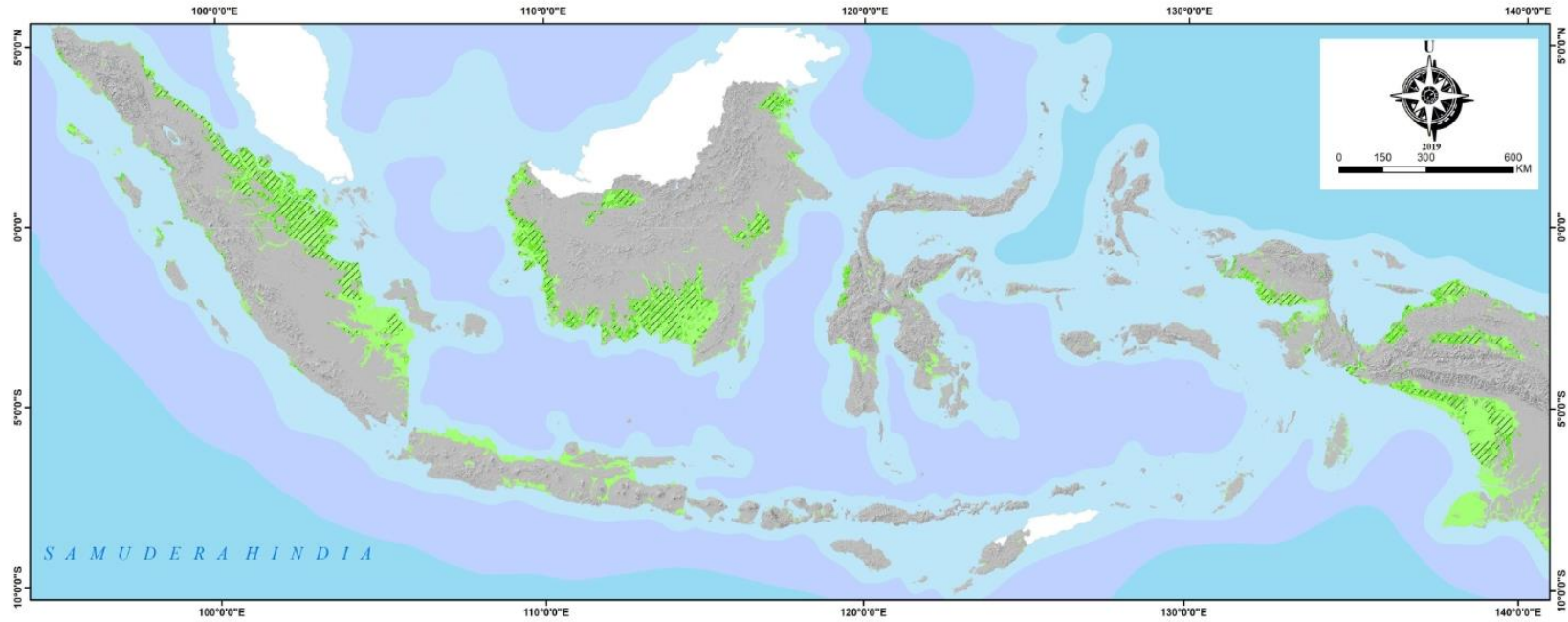
I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah memiliki peranan yang sangat penting dan tidak akan lepas kaitannya dalam pembangunan infrastruktur. Hal ini disebabkan tanah merupakan dasar dari suatu konstruksi bangunan yang berfungsi menerima dan menahan beban struktur di atasnya. Oleh karena itu, tanah harus memiliki daya dukung atau kinerja yang baik untuk menahan beban yang bekerja. Perencanaan suatu konstruksi geoteknik harus dilakukan penyelidikan terhadap karakteristik dan kekuatan tanah terutama sifat-sifat tanah yang mempengaruhi daya dukung dalam menahan beban konstruksi di atasnya (Lestari, 2014).

Pada perencanaan pekerjaan konstruksi jalan sering terjadi permasalahan yang disebabkan karena sifat fisik yang lunak dan rendahnya daya dukung tanah. Salah satu jenis tanah yang memiliki kinerja cukup rendah adalah jenis tanah lunak. Sebaran tanah lunak di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1. Adapun masalah yang ditimbulkan dari tanah lunak ini berakibat pada kerusakan badan jalan secara menerus. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan cara perbaikan tanah dasar (*subgrade*) melalui stabilisasi tanah untuk menghasilkan material konstruksi yang memenuhi standar konstruksi jalan (Huri dkk., 2013).


PETA SEBARAN TANAH LUNAK INDONESIA



Gambar 1. 1 Peta Penyebaran Tanah Lunak di Indonesia.
(Sumber: Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral)

Keterangan :

 Lempung

 Gambut dan Tanah Organik

Stabilisasi tanah merupakan salah satu metode perbaikan tanah dengan cara mencampur tanah dengan jenis tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik (Hardiyatmo, 2010). Bahan stabilisasi yang digunakan adalah dengan memanfaatkan limbah batu bara yaitu abu terbang (*fly ash*). Potensi penggunaan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah dasar sangat besar karena Indonesia merupakan penghasil terbesar batu bara di dunia dan pemanfaatannya sebagai sumber energi pengganti berkembang dengan pesat.

Fly ash merupakan bagian dari sisa pembakaran batu bara yang berbentuk partikel halus yang dibuang sebagai timbunan. Penumpukan limbah *fly ash* ini menimbulkan dampak pencemaran yang cukup berbahaya bagi lingkungan sekitar, selain meningkatkan nilai ekonomis penggunaan *fly ash* juga merupakan upaya dalam mengatasi pencemaran. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan menjelaskan bahwa *fly ash* menjadi limbah Non-B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang hanya dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), sedangkan dari *boiler* atau tungku tetap kategori B3.

Fly ash mengandung unsur kimia silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Senyawa kimia ini apabila bereaksi dengan air memiliki sifat *selfcementing* yaitu kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan (*strength*) (Kusuma dkk., 2013). Selain itu, *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* yang dapat mengikat mineral tanah menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah. Berdasarkan kelebihan tersebut,

maka pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah lunak menjadi lebih baik.

Pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan *fly ash* terhadap nilai daya dukung tanah diteliti oleh (Sulistyowati, 2006), hasil stabilisasi dilakukan menggunakan kadar *fly ash* yang bervariasi, dengan persentase efektif untuk stabilisasi yaitu *fly ash* dengan kadar 15% dan lama pemeraman selama 7 – 14 hari. Hasil pengujian dengan persentase efektif tersebut berpengaruh baik terhadap nilai daya dukung tanah, yaitu meningkatkan nilai CBR tanah dan menurunkan plastisitasnya. Apabila persentase *fly ash* yang ditambahkan kurang dari itu maka nilai CBR akan menurun.

(Tobing dkk., 2014) melakukan penelitian yang serupa yaitu dengan menambahkan *fly ash* yang digunakan sebagai bahan stabilisasi selama waktu *curing* 0, 7, 14, dan 28 hari. Dengan melakukan *curing* pada campuran tanah lempung ekspansif dengan kadar optimum 15% *fly ash*, dengan waktu yang dinyatakan cukup untuk *curing* adalah 14 hari. Hal ini didasari karena nilai CBR meningkat secara signifikan dan nilai *swelling* berkurang secara signifikan pada waktu *curing* 14 hari dibandingkan dengan saat waktu *curing* 28 hari yang nilainya tidak jauh berbeda dengan hasil *curing* saat 14 hari.

Oleh karena itu dalam penelitian ini berusaha untuk memperbaiki kualitas sifat fisis dan mekanis tanah lunak dengan mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dengan kondisi suhu ruang, agar dapat memenuhi kriteria sebagai tanah dasar (*subgrade*) untuk konstruksi jalan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan masalahnya yaitu bagaimana pengaruh pencampuran tanah lunak dan *fly ash* dengan variasi kadar campuran yang berbeda-beda, pemeraman dilakukan pada kondisi suhu ruang. Hal ini dilakukan untuk lebih mendalami pengaruh suhu yang dipertahankan terhadap proses pengikatan *fly ash* dengan tanah lunak.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui pengaruh penambahan campuran *fly ash* terhadap tanah lunak sebagai material tanah dasar, konstruksi jalan.
- 2) Mengetahui persentase campuran dan lama pemeraman optimum.
- 3) Mengetahui pengaruh suhu pemeraman terhadap kinerja *fly ash*, sebagai proses pengikatan antara tanah dan bahan aditif.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- 1) Memperkaya hasil penelitian di bidang perbaikan tanah dasar dengan material tambahan berupa *fly ash*.
- 2) Menelaah lebih jauh proses pengikatan *fly ash* dan tanah dasar berdasarkan kondisi pemeraman.
- 3) Sebagai referensi mengenai stabilisasi tanah dengan bahan aditif berupa *fly ash*.

E. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

- 1) Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah dasar berupa tanah lunak yang berasal dari Desa Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan.
- 2) Bahan stabilisasi yang digunakan yaitu *fly ash* yang berasal dari limbah PT Pindo Deli *Pulp & Paper Mills 3* di Desa Tamanmekar, Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Karawang, Jawa Barat yang merupakan hasil pembakaran batu bara.
- 3) Pencampuran bahan stabilisasi *fly ash* dengan variasi persentase 0%, 5%, 10%, dan 15%.
- 4) Waktu pemeraman yaitu 0 hari, 7 hari, dan 14 hari.
- 5) Suhu pemeraman yang dipertahankan 40° C (suhu ruang).
- 6) Pengujian yang dilakukan pada tanah yang distabilisasi meliputi pengujian:
 - Batas-batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)
 - Pemasatan Tanah (*Compaction Standard*)
 - CBR (*California Bearing Ratio*)

F. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang penelitian sebelumnya yang menjadi acuan dalam penyusunan penelitian.

BAB III : LANDASAN TEORI

Berisikan landasan teori dari berbagai literatur yang mendukung pembahasan dalam penelitian.

BAB IV : METODE PENELITIAN

Berisikan tentang hal-hal yang berkaitan dengan bahan-bahan, metode-metode dan pelaksanaan penelitian.

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data yang didapatkan setelah dilakukan penelitian.

BAB VI : SIMPULAN DAN SARAN

Terdiri kesimpulan dan saran-saran yang ingin disampaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada umumnya tanah lunak memiliki stabilitas volume dan kuat geser rendah yang tersebar di seluruh dunia terutama di daerah pantai dan area yang rendah. Tanah lunak akan mengembang jika basah dan menyusut ketika kering (Gyanen dkk., 2014). Jenis tanah ini memiliki kompresibilitas serta potensi kembang susut tinggi, dengan kuat geser relatif rendah. Oleh karena itu sifat-sifat tanah jenis ini kurang menguntungkan bagi bangunan infrastruktur, karena daya dukung rendah dan besarnya penurunan yang terjadi (Hatmoko & Suryadharna, 2018).

Perkembangan teknologi infrastruktur saat ini membutuhkan tanah dasar yang baik, sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dengan meningkatkan kekuatan tanah, baik kuat geser maupun kuat tekannya dengan stabilisasi (Leksminingsih, 2006). Stabilisasi tanah adalah teknologi yang diperkenalkan beberapa tahun lalu untuk membuat tanah memenuhi persyaratan proyek rekayasa tertentu (Kolias dkk., 2005). Stabilisasi tanah bertujuan untuk memperbaiki sifat dasar tanah agar daya dukungnya menjadi lebih besar sehingga mampu menahan beban yang bekerja di atasnya (Insan dkk., 2019).

Saat ini, stabilisasi tanah secara kimia sudah banyak digunakan untuk memperbaiki tanah dasar yang kurang baik daya dukungnya (Sudjianto, 2005). Stabilisasi tanah dengan bahan tambah (*additive*) baik yang diproduksi pabrik seperti semen, kapur,

maupun bahan kimia yang berasal dari limbah seperti: abu terbang. Salah satu bahan stabilisasi yang digunakan adalah dengan memanfaatkan limbah batu bara yaitu abu terbang (*fly ash*). Penggunaan *fly ash* sebagai *stabilizer* dapat meningkatkan kepadatan tanah, karena *fly ash* dapat mengikat partikel tanah menjadi lebih rapat (Sudjianto & Kandang, 2012).

Fly ash merupakan limbah batu bara yang dimanfaatkan sebagai campuran diberbagai jenis produksi karena keuntungan sifat bahan yang dimilikinya. *Fly ash* dapat digunakan untuk mengganti *portland cement* pada beton karena memiliki sifat *pozzolan* yang dapat meningkatkan *strength* serta *durability* pada beton. Pada material konstruksi jalan *fly ash* dimanfaatkan sebagai *filler* untuk mengisi rongga pada agregat sehingga meningkatkan kekakuan pada aspal. Selain itu, *fly ash* digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah karena memiliki sifat *self cementing* yaitu kemampuan untuk mengeras (Gobel & Marzuko, 2018).

Pada campuran *fly ash* dan tanah lunak terjadi adanya reaksi *pozzolanic* yang disebabkan karena kalsium yang terdapat pada *fly ash* bereaksi dengan silika dan alumina pada tanah sehingga menghasilkan sifat *cementitious* (Subakti Ariyanto, 2017). *Cementitious* merupakan sifat mengikat yang terdapat pada semen yaitu dapat mengeras dan kaku (Ibrahim, 2014). *Fly ash* mengurangi indeks plastisitas dan batas penyusutan, yang memiliki dampak potensial pada sifat rekayasa tanah berbutir halus (Cocka, 2001). Dilihat dari hasil campuran tanah dengan *fly ash* dapat menghasilkan tanah dengan sifat fisik yang lebih baik dari sebelumnya.

Penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah, dalam hal ini untuk meningkatkan nilai CBR tanah dasar dengan

menggunakan variasi *fly ash* 10%, 13% dan 16% dan umur pemeraman 1, 7, 14 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah lempung jenis A-7-6 mengalami peningkatan nilai CBR seiring dengan penambahan persentase *fly ash* serta lamanya umur pemeraman. Peningkatan nilai CBR maksimum terjadi pada persentase *fly ash* 16% umur 28 hari dengan nilai CBR sebesar 15,1% (Apriyanti & Hambali, 2014).

Penelitian yang dilakukan Panjaitan (2007) bahwa pengujian CBR pada tanah ekspansif yang dilakukan dengan variasi penambahan kadar *fly ash* 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% serta variasi waktu pemeraman mulai 0, 1, 4, 7 dan 14 hari didapatkan hasil adanya peningkatan nilai CBR serta menurunkan indeks plastisitas tanah. Peningkatan yang terjadi secara signifikan pada penambahan kadar *fly ash* 15 % dengan variasi waktu pemeraman antara 4 hari sampai 7 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Ghais (2014) yaitu menggunakan bahan stabilisasi berupa *fly ash* hasil dari produk sampingan industri dari pembakaran kokas. Diketahui bahwa rasio optimum *fly ash* dengan tanah lunak yaitu 15%. Penambahan *fly ash* mengurangi karakteristik plastisitas tanah. Peningkatan kadar air yang maksimum berkontribusi pada peningkatan kemampuan tanah yang stabil. CBR yang direndam meningkat dengan peningkatan persentase *fly ash* pada campuran tanah lunak.

Penelitian stabilisasi tanah dengan *fly ash* terhadap parameter kekuatan geser c dan ϕ dilakukan oleh (Hasan, 2012). Sampel dipadatkan dengan kepadatan kering maksimum pada kadar air optimal, lalu dimasukkan ke dalam kantong nilon tertutup rapat dan dibiarkan pada suhu ruang dari (15C° sampai 25C°). Hasil

penelitian menunjukkan bahwa nilai kohesi meningkat dengan meningkatnya jumlah *fly ash* yang ditambahkan dalam campuran tanah menjadi 15% *fly ash*, kemudian menurun pada penambahan kadar *fly ash* 20%. Efek waktu pemeraman pada kohesi meningkat hingga 14 hari.

Mina dkk. (2016) dalam penelitiannya menyebutkan hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan *fly ash* dan lamanya waktu pemeraman memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap peningkatan nilai CBR.

Dari beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, bahwa kekuatan tanah yang distabilisasi dengan *fly ash* meningkat pada rasio kadar optimum *fly ash* 15%. Namun demikian, pengaruh suhu pemeraman yang dipertahankan di suhu ruang pada tanah lunak yang distabilisasi dengan *fly ash* belum dilakukan. Sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh tersebut.

III. LANDASAN TEORI

A. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) adalah tanah dasar di bagian paling bawah lapis perkerasan. Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Tanah dasar yang baik untuk pekerjaan konstruksi jalan yaitu yang telah dipadatkan mencapai tingkat kepadatan tertentu sehingga memiliki daya dukung yang baik dan dapat mempertahankan perubahan volume tanah (Hardiyatmo, 2010).

Pada umumnya persoalan mengenai tanah dasar sebagai berikut :

- 1) Deformasi permanen (perubahan bentuk tetap) akibat beban lalu lintas.
- 2) Sifat mengembang dan menyusut tanah akibat perubahan kadar air.
- 3) Daya dukung tanah tidak merata akibat adanya perbedaan sifat tanah pada lokasi yang berdekatan (kepadatan kurang baik).

B. Sistem Klasifikasi Tanah

Das (1995) menyatakan, sistem klasifikasi tanah merupakan suatu pengelompokan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang memiliki sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok dan sub-sub kelompok. Klasifikasi tanah dapat

digunakan untuk mengidentifikasi sifat serta karakteristik tanah. Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang digunakan secara umum di Indonesia yaitu sistem klasifikasi tanah *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) dan *USCS* (*Unified Soil Classification Sistem*).

a. *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)

Sistem klasifikasi *AASHTO* mengklasifikasikan tanah 7 tujuh kelompok, yaitu A-1 sampai A-7 sub kelompok. Tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks plastisitas yang dihitung dengan rumus empiris. Pengujian yang dilakukan berdasarkan analisa saringan dan batas-batas Atterberg, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Ukuran butiran tanah dibedakan : kerikil, pasir serta lanau dan lempung.
2. Plastisitas dibedakan : lanau (*silt*) dan lempung (*clay*).

General Classification	Granular Materials 35% or less passing the 0.075 mm sieve							Silt-Clay Materials >35% passing the 0.075 mm sieve			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group Classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Sieve Analysis, % passing											
2.00 mm (No. 10)	50 max	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
0.425 (No. 40)	30 max	50 max	51 max	---	---	---	---	---	---	---	---
0.075 (No. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40)											
Liquid limit	---	---	---	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	---	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min ^a
Usual types of significant constituent materials	stone fragments, gravel and sand		fine sand	silty or clayey gravel and sand				silty soils		clayey soils	
General rating as a subgrade	excellent to good							fair to poor			

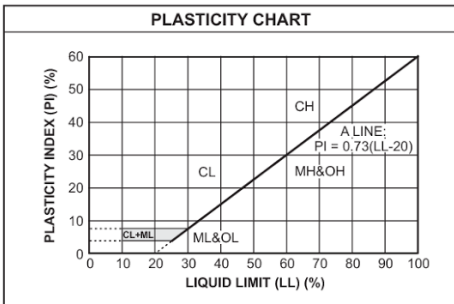
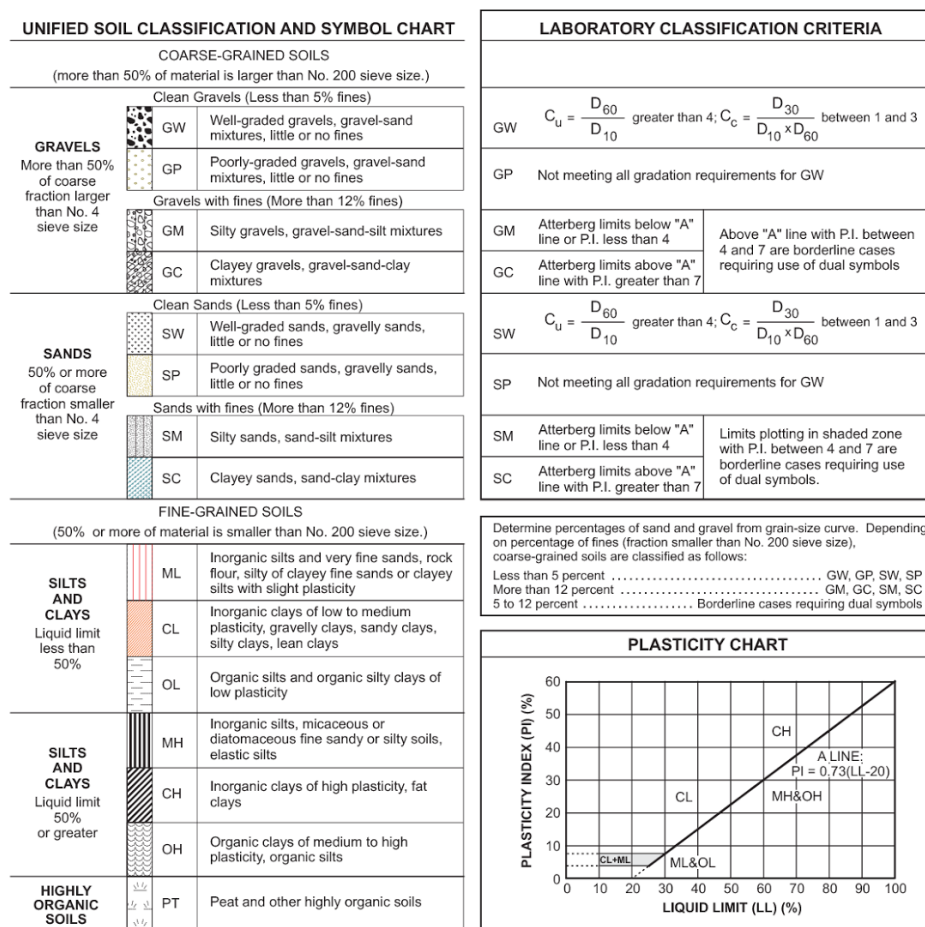
^aPlasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than the LL - 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL - 30

Gambar 3.1 *American Association of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO)*.
(Sumber : *AASHTO M 145*)

b. USCS (Unified Soil Classification System)

Sistem klasifikasi *USCS* berdasarkan pada jenis dengan mempertimbangkan ukuran butir tanah dan plastisitas tanah. Sistem ini mengklasifikasikan tanah ke dalam beberapa kategori, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar : tanah < 50% lolos saringan no. 200
2. Tanah berbutir halus : tanah > 50% lolos saringan no. 200
3. Tanah organik



Gambar 3.2 *Unified Soil Classification System (USCS)*.
(Sumber : *California Department of Transportation (CALTRANS)*)

C. Tanah Lunak

Tanah merupakan agregat (butiran) padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang - ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut (Das, 1988). Tanah lunak adalah tanah bersifat lemah, secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan yang terdapat di dataran aluvial pantai, danau, dan rawa (Soetjiono, 2008).

Tanah lunak kurang menguntungkan dijadikan sebagai tanah dasar karena sifat yang dimilikinya banyak dipengaruhi oleh air, mengembang jika basah dan menyusut jika kering. Semakin tinggi kadar air maka daya dukung tanah semakin rendah. Tanah lunak memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- 1) Gaya geser kecil
- 2) Kemampatan besar
- 3) Permeabilitas tinggi
- 4) Kompresibilitas tinggi
- 5) Kadar air tinggi

Apabila tanah lunak dijadikan sebagai bangunan infrastruktur, maka harus dilakukan perbaikan tanah atau distabilisasi terlebih dahulu sehingga layak dan memenuhi persyaratan. Hal ini dikarenakan rendahnya daya dukung tanah serta besarnya penurunan yang terjadi.

D. Sifat Fisis Tanah

1. Kadar Air (w)

Kadar air berpengaruh terhadap perilaku tanah. Kadar air tanah (w) merupakan perbandingan berat air (W_w) dengan berat kering tanah (W_s) yang dinyatakan dalam persen, sehingga :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

dimana :

w = kadar air (%)

W_w = berat air (gr)

W_s = berat butiran (gr)

2. *Specific Gravity* (G_s)

Specific gravity (G_s) atau berat spesifik tanah merupakan perbandingan berat tanah kering (γ_s) dengan berat air suling (γ_w) pada volume dan suhu yang sama. Uji ini perlu dilakukan untuk menentukan kondisi atau keadaan tanah, dinyatakan dengan rumus :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2)$$

dimana :

G_s = berat spesifik / *specific gravity*

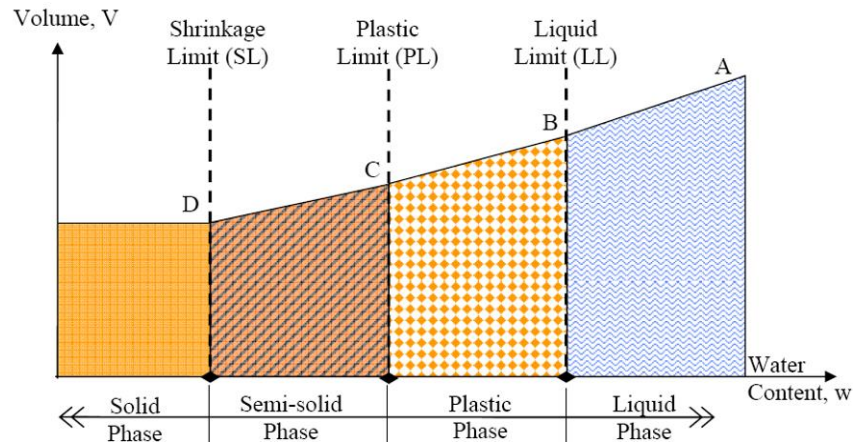
γ_s = berat volume padat (gr/cm³)

γ_w = berat volume air (gr/cm³)

3. Batas-batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Batas-batas konsistensi atau batas Atterberg tanah merupakan parameter utama dalam mengidentifikasi tanah berbutir halus. Konsistensi tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air, yang mana tanah dapat berbentuk cair,

plastis, semi padat, dan padat. Tanah lempung memiliki konsistensi yang berubah-ubah seiring dengan perubahan kadar airnya.



Gambar 3.3 Batas-batas Konsistensi Tanah.

Batas-batas konsistensi tanah terdiri dari sebagai berikut :

1) Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*liquid limit*) merupakan kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Cara menentukan batas cair ini menggunakan alat *cassagrande*.

2) Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*plastic limit*) merupakan kadar air dimana tanah berubah dari keadaan plastis menjadi semi padat. Batas plastis dihitung berdasarkan persentase berat air terhadap berat tanah kering benda uji.

3) Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*plasticity index*) merupakan selisih antara batas cair dengan batas plastis pada tanah yang menunjukkan sifat keplastisan tanah, yang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$PI = LL - PL \quad (3)$$

dimana :

PI = indeks plstisitas

LL = batas cair

PL = batas plastisitas

Tabel 3.1 Nilai Indeks Plastisitas

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

4. Distribusi Ukuran Butiran

Sifat-sifat jenis tanah tergantung pada ukuran butirannya. Besar butiran tanah biasanya digambarkan dalam grafik yaitu merupakan grafik lengkung (*Grading Curve*) atau grafik lengkung pembagi butir (*Partial Size Distribution Curve*). Distribusi ukuran butiran adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

E. Sifat Mekanis Tanah

1. Pemadatan (*Compaction*)

Menurut Bowles (1991), pemadatan merupakan usaha mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Pemadatan dilakukan untuk menentukan kepadatan

maksimum suatu jenis tanah yang dimaksudkan guna mengetahui hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Pada dasarnya tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat teknis tanah, dan beberapa antara lain:

- 1) Meningkatkan mutu tanah
- 2) Memperkecil penurunan
- 3) Memperkecil permeabilitas

Proctor (1993), telah mengamati bahwa ada hubungan antara kadar air dan berat isi kering, yaitu nilai kadar air optimum (w_{opt}) tertentu untuk mencapai berat isi kering maksimumnya (γ_{dmax}), yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (4)$$

dimana :

γ_d = berat volume kering (gr/cm^3)

γ_b = berat volume basah (gr/cm^3)

w = kadar air (%)

Berat isi kering (γ_d) setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air (w), dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Berdasarkan besarnya usaha pemadatan yang diberikan ada dua cara yaitu :

- 1) *Standard proctor*

Pemadatan tanah *standard proctor* menggunakan penumbuk (*hammer*) dengan berat 5,5 lbs (2,5 kg).

- 2) *Modified proctor*

Pemadatan tanah *modified proctor* menggunakan penumbuk (*hammer*) dengan berat 10 lbs (4,5 kg).

Penelitian ini digunakan jenis pengujian dengan cara *standard proctor*.

2. CBR (*California Bearing Ratio*)

Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). CBR didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam persentase. Tujuan dari percobaan CBR adalah untuk menentukan nilai dukung tanah dalam kepadatan maksimum.

Tabel 3.2 Kriteria CBR untuk Tanah Dasar (*Subgrade*)

Section	Material	Nilai CBR (%)
Subgrade	Sangat Baik	20-30
	Baik	10-20
	Sedang	5-10
	Buruk	< 5

(Sumber : Turnbull, 1968 dalam Barnas, 2014)

Hasil pengujian CBR diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan CBR adalah penetrasi 0,1” dan 0,2”, dengan persamaan sebagai berikut :

- Penetrasi 0,1” (0,254 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (5)$$

- Penetrasi 0,2” (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (6)$$

dimana :

P1 = tekanan pada penetrasi 0,1”

P2 = tekanan pada penetrasi 0,2”

F. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah yaitu usaha untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah, dengan menambahkan atau memodifikasi struktur lapisan tanah. Tanah dibuat stabil, jika ada beban tanah tidak mengalami penurunan (*settlement*). Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk tanah yang padat

Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan metode, yaitu:

1) Stabilisasi mekanis

Stabilisasi mekanis adalah penambahan kekuatan atau daya dukung tanah untuk mendapatkan gradasi tanah yang baik (*well graded*). Stabilisasi mekanis dilakukan untuk meningkatkan kepadatan tanah yang ada (*natural soil*) dengan menambah dan mencampur tanah dengan jenis tanah lain dengan pemadatan.

2) Stabilisasi kimia

Stabilisasi kimia adalah penambahan atau pencampuran bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah disebut *stabilizing agent*, antara lain *portland cement*, *lime*, *bitumen*, *fly ash*, dan sebagainya.

G. Fly Ash

Berdasarkan SNI 6414 : 2002 mendefinisikan *fly ash* atau abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat *pozzolanic*. Sifat *pozzolanic* yang

dimaksud karena *fly ash* mengandung bahan *pozzolan* yaitu kimia silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferrum (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO).

Fly ash sebagai bahan *pozzolan* tidak memiliki kemampuan mengikat (*non-cementitious*), namun dalam bentuk yang sangat halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (dihasilkan melalui reaksi kalsium oksida (CaO) dengan air) yang membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat sehingga memiliki sifat *cementitious* (McCarthy dkk., 2011).

Menurut ASTM C-618 *fly ash* terbagi menjadi dua kelas, yaitu:

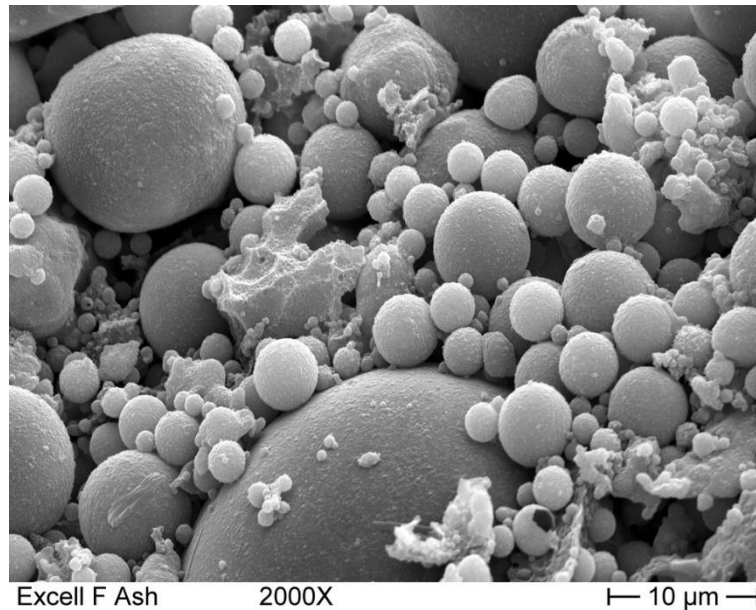
1) Kelas F

Merupakan *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara *anthracite* dan *bituminous*, dengan kadar kapur yg rendah ($\text{CaO} < 10\%$). Memiliki sifat *pozzolan* dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* perlu diberi penambahan kapur atau semen.

2) Kelas C

Merupakan *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara *lignite* atau *sub-bituminous*, dengan kandungan kapur ($\text{CaO} > 10\%$). Selain memiliki sifat *pozzolan* juga memiliki sifat *self cementing* yaitu kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air akibat hidrasi.

Bentuk partikel *fly ash* dapat diamati dengan menggunakan *scanning Electron Microscope (SEM)*. Gambar 3.4 menunjukkan mikrografi dari partikel *fly ash*. Semakin kecil partikel *fly ash* maka bentuknya semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang besar.



Gambar 3.4 Bentuk partikel *fly ash* dengan skala pembesaran 2000x.
(Sumber: Lauw Tjun Nji)

Menurut (Wardani, 2008), ada beberapa faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia, dan teknis pada *fly ash*, antara lain :

- 1) Jenis batu bara dan kemurniannya
- 2) Tingkat penghancuran
- 3) Jenis pemanasan
- 4) Metode penyimpanan dan penimbunannya.

H. Stabilisasi Tanah dengan *Fly Ash*

Stabilisasi tanah secara kimia yang saat ini banyak digunakan untuk memperbaiki tanah dasar (*subgrade*) yaitu stabilisasi dengan penambahan *fly ash*. Jika *fly ash* dicampur dengan tanah akan terjadi proses lekatan sementasi (*self cementing*) akibat pengaruh *pozzolan* atau sifat pengerasan alami *fly ash* karena kondisi pemadatan dan air. Reaksi *pozzolanic* merupakan reaksi yang terjadi antara unsur kalsium dengan silika dan aluminium sehingga membentuk

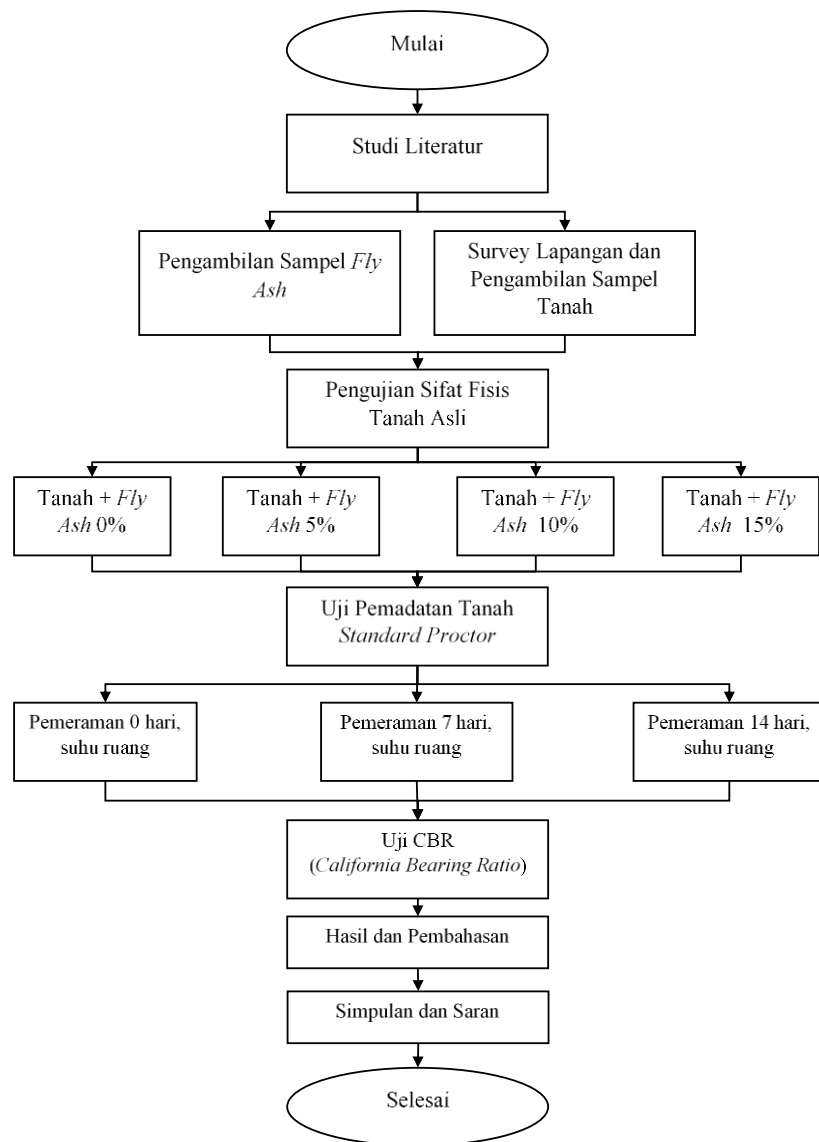
cementing agent. *Cementing agent* merupakan suatu massa yang keras dan kaku. Kecepatan reaksi *pozzolanic* tidak hanya bergantung pada waktu tetapi juga dipengaruhi oleh bahan-bahan yang bereaksi dan juga temperaturnya.

Pada prinsipnya yang dimaksud stabilisasi *fly ash* adalah mencampurkan secara langsung antara *fly ash* dan tanah yang telah dihancurkan, kemudian menambahkannya dengan air dan dipadatkan. Hasil campuran tanah, *fly ash*, dan air ini menghasilkan tanah yang memiliki sifat atau karakteristik teknis yang lebih baik dibandingkan sebelumnya (Brooks, 2009).

Keunggulan penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi karena nilai ekonomis yang tinggi dibanding bahan lainnya. Pada penelitian ini *fly ash* yang digunakan yaitu berasal dari limbah PT Pindo *Deli Pulp & Paper Mills 3* di Desa Tamanmekar, Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Karawang, Jawa Barat.

IV. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.1 Diagram alir penelitian.

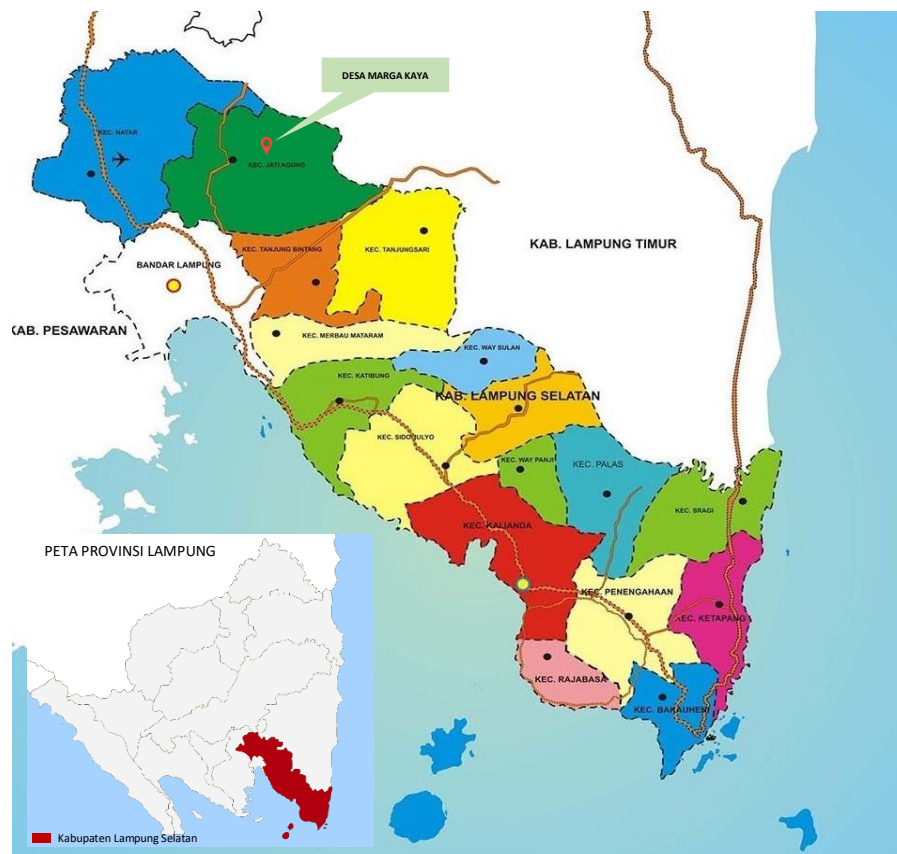
B. Pengumpulan Data

Penelitian dimulai dari melakukan studi pustaka tentang pengujian tanah lunak yang distabilisasi dengan *fly ash*. Pengumpulan data yang dilakukan menjadikan bahan pertimbangan dalam penelitian ini yaitu stabilisasi tanah dengan penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR sebagai parameter daya dukung tanah. Data primer yang didapat berupa uji sifat fisis dan mekanis tanah. Sedangkan, untuk data sekunder berupa pustaka yang dijadikan acuan pada penelitian ini seperti jurnal ilmiah dan SNI.

C. Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian

Pengambilan sampel tanah pada penelitian ini diambil di salah satu Kabupaten di Provinsi Lampung. Lokasi pengambilan sampel tanah terletak di Desa Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Sampel tanah yang digunakan pada lokasi ini merupakan jenis tanah berbutir halus.

Fly ash yang digunakan sebagai bahan stabilisasi berasal dari limbah batu bara PT Pindo Deli *Pulp & Paper Mills 3* di Desa Tamanmekar, Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Karawang, Jawa Barat.



Gambar 4.2 Lokasi sampel tanah.

(Sumber : Dokumen Peta Administrasi Kabupaten Lampung Selatan Cipta Karya)

D. Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan memilih lokasi tanah berbutir halus. Sampel yang diambil adalah sampel tanah pada kondisi asli atau tidak terganggu (*undisturbed soil sample*) dan sampel tanah terganggu (*disturbed soil sample*).

Sampel tanah asli atau tidak terganggu (*undisturbed soil sample*) digunakan untuk pengujian kadar air, *specific gravity*, batas-batas konsistensi, dan distribusi ukuran tanah. Pengambilan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed soil sample*) diambil menggunakan tabung contoh yang dimasukkan ke dalam tanah

kemudian ditutup rapat dengan lilin untuk menjaga keasliannya agar kadar air tanah tidak berubah. Sampel tanah terganggu (*disturbed soil sample*) digunakan untuk pengujian pemadatan tanah (*standard proctor*) dan CBR (*California Bearing Ratio*). Pengambilan sampel tanah terganggu diambil secara langsung menggunakan cangkul lalu dimasukkan ke dalam karung.

E. Pelaksanaan Pengujian

Sampel tanah diuji di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung. Ada beberapa tahapan pada penelitian ini yaitu :

1. Uji Sifat Fisis Tanah

a. Kadar Air (w)

Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam suatu sampel tanah dan dinyatakan dalam satuan persen. Berdasarkan SNI 1965 : 2008, berikut prosedur pengujian :

- 1) Menimbang cawan.
- 2) Memasukkan sampel tanah sebanyak 30 – 50 gram ke dalam cawan dan ditimbang.
- 3) Memasukkan sampel tanah ke dalam oven selama 24 jam.
- 4) Menimbang kembali sampel yang telah dioven.

b. *Specific Gravity* (G_s)

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan *specific gravity* (G_s) tanah kepadatan massa butiran yaitu perbandingan antara berat air suling dengan berat butiran tanah dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berdasarkan SNI 1964 : 2008, berikut prosedur pengujian :

- 1) Menimbang *picnometer*.
- 2) Memasukkan sampel tanah sebanyak 25 – 30 gram ke dalam *picnometer* dan ditimbang.
- 3) Memasukkan air ke dalam *picnometer* sebanyak $\frac{2}{3}$ volume *picnometer*.
- 4) Mendidihkan sampel pada *picnometer* untuk menghilangkan udara di dalam butiran tanah.
- 5) Menambahkan air suling ke dalam *picnometer* sampai menyentuh garis batas *picnometer*.
- 6) Menimbang kembali *picnometer* yang berisi sampel tanah dan air.

c. Pengujian Batas-batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Pengujian ini dilakukan dengan dua tahap, yaitu :

- Batas cair (*Liquid Limit*) bertujuan untuk mengetahui kadar air pada batas antara kondisi cair dan plastis. Berdasarkan SNI 1967 : 2008, berikut prosedur pengujian :
 - 1) Mengayak sampel tanah dengan saringan no. 40 dan mengambil sampel tanah sebanyak 150 – 200 gram yang lolos saringan.
 - 2) Menambahkan air sedikit demi sedikit pada sampel tanah lalu aduk hingga membentuk sebuah adonan.
 - 3) Mengatur tinggi jatuh mangkuk *Cassagrande* setinggi 10 mm.
 - 4) Memasukkan adonan ke dalam mangkuk *Cassagrande* lalu meratakan permukaannya hingga padat.
 - 5) Membuat alur tepat di tengah menggunakan *grooving tool*.

- 6) Memutar tuas mangkuk *Cassagrande* sampai kedua sisi adonan menyatu sambil menghitung jumlah pukulan.
 - 7) Mengambil adonan sebesar ibu jari dan memasukkannya kedalam cawan dan ditimbang.
 - 8) Memasukkan cawan berisi adonan ke dalam oven selama 24 jam.
 - 9) Menimbang kembali adonan yang telah dioven.
- Batas plastis (*Plastic Limit*) bertujuan menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Berdasarkan SNI 1966 : 2008, berikut prosedur pengujian :
 - 1) Mengayak sampel tanah dengan saringan No. 40 dan mengambil sampel tanah sebanyak 100 gram yang lolos saringan.
 - 2) Menambahkan air sedikit demi sedikit pada sampel tanah lalu aduk hingga merata hingga membentuk sebuah adonan.
 - 3) Mengambil adonan sebesar ibu jari lalu menggulung adonan sehingga terbentuk batang memanjang berdiameter 3 mm sampai terlihat retakan.
 - 4) Memasukkan adonan ke dalam cawan untuk ditimbang.
 - 5) Memasukkan cawan berisi adonan ke dalam oven selama 24 jam.
 - 6) Menimbang kembali adonan yang telah dioven.

d. Pengujian Distribusi Ukuran Butiran

Pengujian ini terbagi menjadi dua, yaitu :

- Analisa saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir-butir tanah yang tertahan saringan no. 200. Berdasarkan SNI 3423 : 2008, berikut prosedur pengujian :
 - 1) Menyiapkan sampel tanah sebanyak 500 gram.
 - 2) Menyusun saringan berdasarkan urutan dari lubang terbesar di bagian paling atas dan pan di bagian paling bawah di atas mesin penggetar.
 - 3) Masukkan sampel tanah ke dalam saringan paling atas.
 - 4) Menghidupkan mesin penggetar selama ± 15 menit.
 - 5) Menimbang sampel tanah yang tertahan di atas masing-masing saringan.

- Hidrometer bertujuan untuk mengetahui pembagian ukuran butir-butir tanah yang berbutir halus dengan tanah lolos saringan no. 200. Berdasarkan SNI 3423 : 2008, berikut prosedur pengujian :
 - 1) Mengeringkan sampel tanah di dalam oven selama 24 jam.
 - 2) Menghaluskan sampel tanah yang sudah dioven dan disaring menggunakan saringan no. 200.
 - 3) Menimbang sampel tanah sebanyak 50 gram kemudian mencampurkannya dengan 1000 cc air dan 5 gram *reagent*.
 - 4) Mengaduk campuran dengan *mixer* kemudian suspensi dipindahkan ke dalam gelas silinder pengendap.
 - 5) Menutup gelas silinder dengan tutup karet, lalu mengocok suspensi dengan arah vertikal sebanyak 60 kali.
 - 6) Melakukan pembacaan hidrometer.

2. Pencampuran *Fly Ash*

Berikut merupakan tahapan pencampuran tanah dengan *fly ash* :

- 1) Sampel tanah sebelumnya dijemur terlebih dahulu hingga kering, diayak menggunakan saringan no. 200 (\emptyset 0,075 mm), lalu digunakan sampel tanah yang lolos saringan sebanyak 5000 gram dan dicampur dengan variasi kadar *fly ash* 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat kering tanah.
- 2) Sampel tanah yang telah tercampur dengan *fly ash* diaduk hingga merata, lalu pengujian pemadatan (*standard proctor*). Selanjutnya, sampel yang telah dipadatkan dilakukan pemeraman dengan cara dibiarkan pada ruangan terbuka, hal ini untuk mempertahankan sampel agar tetap terjaga pada suhu ruang (pengecekan suhu secara berkala) selama 0 hari, 7 hari, dan 14 hari.
- 3) Pengujian CBR pada sampel setelah pemeraman.

Tabel 4.1 Komposisi Campuran Tanah dan *Fly Ash*

Komposisi Campuran (Tanah : <i>Fly Ash</i>)	Berat Campuran (gram) (Tanah + <i>Fly Ash</i>)
100% : 0%	5000 + 0
100% : 5%	5000 + 250
100% : 10%	5000 + 500
100% : 15%	5000 + 750

3. Uji Pemadatan Standar (*Standard Proctor*)

Pada penelitian ini menggunakan pengujian dengan pemadatan standar (*standard proctor*) dengan merapatkan antar butiran tanah, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah mengecil. Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengetahui kadar air optimum (w_{opt}) dan berat kering maksimum (γ_{dmax}). Ini sangat diperlukan saat proses pencampuran karena

sampel tanah campuran dianggap memiliki kepadatan dan kadar air lapangan yang sama dengan tanah *undisturbed*. Pengujian pemadatan standar ini berdasarkan SNI 1742 : 2008, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

- 1) Menghamparkan sampel tanah hingga kering.
- 2) Mengayak tanah dengan saringan no. 200 (\emptyset 0,075 mm).
- 3) Mengambil sampel tanah sebanyak 25 kg yang lolos saringan no. 200 (\emptyset 0,075 mm), kemudian dibagi menjadi 5 bagian, masing- masing 5 kg.
- 4) Mengambil sebagian butiran tanah yang mewakili sampel untuk menentukan kadar air awal.
- 5) Mengambil sampel tanah sebesar 5 kg dan menambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata. Apabila campuran telah merata, tanah tidak hancur dan lengket ketika dikepalkan oleh tangan.
- 6) Mendapatkan berapa cc air yang ditambahkan untuk setiap 5 kg tanah, penambahan air dengan selisih 3%.
- 7) Menimbang *mold* beserta diameter dan tingginya.
- 8) Memasang *collar* pada *mold* dan mengolesi bagian dalam *mold* dengan oli hingga merata.
- 9) Membagi tanah kedalam 3 bagian, lalu masukkan bagian pertama ke dalam *mold* dan tumbuk menggunakan *hammer* sebanyak 25 kali sampai merata. Dengan cara yang sama dilakukan untuk bagian kedua dan ketiga.
- 10) Menimbang *mold* yang berisi sampel tanah yang telah dipadatkan.

- 11) Mengulangi prosedur (8) dan (9) hingga didapat 5 data pemadatan tanah.
- 12) Dilakukan pemeraman terhadap variasi campuran dengan waktu pemeraman yang telah ditentukan.

4. Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

Uji CBR bertujuan untuk mengetahui kuat tanah terhadap penetrasi untuk menentukan nilai CBR tanah pada kadar air tertentu. Nilai CBR yang diperoleh dapat dipakai untuk menentukan tebal lapisan suatu perkerasan yang diperlukan di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*). Dasar untuk pengujian CBR di laboratorium yaitu SNI 1744 : 2012, dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

- 1) Meletakkan *mold* hasil pemadatan dalam posisi terbalik dengan beban yang masih terpasang di atas plat penekan pada alat mesin penetrasi CBR.
- 2) Mengatur posisi *dial* beban dan *dial* penetrasi pada posisi nol, melakukan penetrasi dengan memutar engkol dengan kecepatan konstan yaitu 0,05"/menit.
- 3) Melakukan pembacaan *dial* beban pada penetrasi 0,0125"; 0,025"; dan seterusnya hingga 0,5".
- 4) Setelah selesai, mengeluarkan *mold* dari mesin penetrasi CBR.
- 5) Mengeluarkan sampel tanah dari *mold* menggunakan *extruder*.
- 6) Mengambil dan menimbang sebagian sampel tanah hasil percobaan untuk uji kadar air. Kemudian masukkan ke dalam oven selama 24 jam. Lalu di timbang.

VI. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sampel tanah tersebut berdasarkan klasifikasi *AASHTO* termasuk dalam kelompok A-7-6 dan berdasarkan *USCS* diklasifikasikan dalam golongan *CH*, yaitu jenis tanah lempung yang memiliki tingkat plastisitas tinggi.
2. Campuran tanah dengan penambahan *fly ash* berpengaruh positif terhadap sifat fisis tanah, hasil pengujian batas-batas konsistensi mengalami penurunan indeks plastisitas (*PI*) secara signifikan.
3. Penambahan variasi kadar *fly ash* menyebabkan kadar air meningkat dan berat isi kering menurun, sedangkan lamanya waktu pemeraman menyebabkan kadar air menurun dan berat isi kering meningkat.
4. Nilai CBR semakin meningkat dengan peningkatan kadar *fly ash* dan lamanya pemeraman pada kondisi suhu ruang. Nilai CBR terbesar didapat pada kadar optimum *fly ash* 15% dengan waktu pemeraman 14 hari sebesar 23,89%.
5. *Fly Ash* memiliki peran sebagai bahan stabilisasi apabila dicampurkan dengan air maka akan terjadi proses sementasi yang mampu mengikat tanah

sehingga nilai daya dukung tanah meningkat, sebab kandungan yang ada di dalam *fly ash* dapat bekerja baik sebagai bahan campuran perbaikan tanah dasar (*subgrade*).

B. Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat mencoba menggunakan tanah jenis lain, karena tiap daerah memiliki jenis tanah yang berbeda.
2. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian terhadap kandungan yang terdapat pada *fly ash* dan dapat mencoba dengan menambahkan *fly ash* serta campuran bahan lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
3. Perlu diadakan penelitian selanjutnya untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah terhadap parameter kekuatan tanah seperti kuat geser tanah dan sudut geser tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti, Y., & Hambali, R. (2014). Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar. *Fropil*, 2(2), 151–162.
- ASTM C618 (1994). Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, Pennsylvania. Volume 04.02.
- ASTM M 145. (1991). Standard Specification for Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction.
- Atterberg, A. (1991). *Uber die physikalische Bodenuntersuchung und uber die plastizitate tone.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). Sifat Fly Ash. *SNI 6414 : 2002*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Tentang Berat Spesifik Tanah. *SNI 1964 : 2008*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Tentang Kadar Air Tanah. *SNI 1965 : 2008*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Tentang Batas Plastis Tanah dan Indeks Plastisitas Tanah. *SNI 1966 : 2008*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Tentang Batas Plastis Tanah. *SNI 1967 : 2008*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Tentang Kepadatan Ringan Untuk Tanah. *SNI 1742 : 2008*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Tentang Distribusi Ukuran Tanah. *SNI 3432 : 2008*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian CBR Laboratorium. *SNI 1744 : 2012*. BSN. Jakarta.

- Barnas, E., & Karopeboka, B. (2014). Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak Jl KH R Abdullah bin Nuh. *Jurnal KaLIBRASI-Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri.*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v9i0.326>
- Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat fisis dan Geoteknik Tanah*. Erlangga.
- Brooks, R. M. (2009). Soil Stabilization With Fly Ash and Rice Husk Ash. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 1(3), 2076–2734.
- California Departement of Transportation. (2010). Soil and Rock Logging, Classification, and Presentation Manual.
- Cocka, E. (2001). Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127, 568–573.
- Das, B. M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* (Jilid 1). Erlangga.
- Fathurrahman, M. R., & Zaika, Y. (2018). Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Sifat Fisik Dan Cbr Tanah Lunak Di Proyek Jalan Tol Gempol - Pasuruan. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(2).
- Ghais, A. A. (2014). Fly Ash Utilization in Soil Stabilization. *International Conference on Civil, Biological and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.15242/iicbe.c514601>
- Gobel, C. Van, & Marzuko, A. (2018). Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 1–9.
- Gyanen, T., Savitha, A. ., & Gudi, K. (2014). Laboratory Study on Soil Stabilization Using Fly Ash and Rice Husk Ash. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(11), 348–351. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0311057>
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah 1*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Universitas Gadjah Mada.
- Hasan, H. A. (2012). Effect of Fly Ash on Geotechnical Properties of Expansive soil. *Journal of Engineering and Development*, 16(2), 306–316.

- Hatmoko, J. T., & Suryadharma, H. (2018). Pengaruh Temperatur Pemeraman Pada Perilaku Geser Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Semen. *Cantilever*, 7(2), 39–46. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v7i2.70>
- Huri, A. D., Prabandianti, K., & Hardiyati, S. (2013). Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(1), 82–89. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/4045>
- Ibrahim. (2014). Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Bahan Aditif Fly Ash Sebagai Lapisan Pondasi Dasar Jalan (Subgrade). *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 1–9.
- Insan, M. K., Hariati, F., & Taqwa, F. M. L. (2019). Studi Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Material Stabilisasi Tanah Dasar (Studi Kasus: Pekerjaan Subgrade Untuk Jalan Lingkungan di PLTU Sulawesi Utara II, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara). *Jurnal Komposit*, 3(2), 1–6. <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/komposit/article/view/3257/1900>
- Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V., & Karahalios, A. (2005). Stabilisation of clayey soils with high calcium fly ash and cement. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 301–313. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.019>
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Irahmana, A. F. (2013). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Fly Ash Terhadap Nilai CBR. *Jurnal Fondasi*, 2(2), 1–13.
- Leksminingsih. (2006). Penelitian Penggunaan Berbagai Bahan Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan. *Jurnal Jalan Jembatan*, 23(2).
- Lestari, I. G. A. I. (2014). (Studi Kasus di Desa Tanah Awu , Lombok Tengah) Fakultas Teknik Universitas Islam Al-Azhar Mataram. *Ganec Swara*, 8(2), 15–19.
- McCarthy, M. J., Csentyani, L. J., Jones, M. R., & Sachdeva, A. (2011). Clay Lime Stabilization : Charecterizing Fly Ash Effects in Minimizing the Risk of Sulfate Heave. *World of Coal Ash (WOCA) Conference*.
- Mina, E., Kusuma, R. I., & Subowo, I. S. L. (2016). Pengaruh Fly Ash Terhadap Nilai CBR dan Sifat-sifat Propertis Tanah. *Jurnal Fondasi*, 5(2), 40–50.
- Ningrum, P., Nugroho, S. ., & Muhardi. (2014). Pengaruh Penambahan Air Diatas Kadar Air Optimum Terhadap Nilai Cbr Dengan Dan Tanpa Rendaman Pada Tanah Lempung Yang Dicampur Abu Terbang. *Jom FTEKNIK*, 1–5.
- Nji, Lauw Tjun. 2008. Fly Ash: Overview.
- Panjaitan, S. R. N. (2007). Pengaruh pemeraman terhadap nilai CBR tanah

mengembang yang distabilisasi dengan fly ash. *Prosiding ISBN, 978-602*.

Proctor, J. (1993). *Hydrology and Biogeochemistry of Tropical*.

Republik Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan. Jakarta.

Soetjiono, C. (2008). Perbaikan Tanah Untuk Penerapan Teknologi. Konstruksi Di Atas Tanah Lunak. *JSDA, 4(2)*, 149–162.

Subakti Ariyanto, A., Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jl Soedarto, S., Tembalang, S., & Tengah, J. (2017). Pengaruh Durabilitas Terhadap Stabilisasi Sub Base Jalan Dengan Fly Ash Dari Pltu Asam Asam Kalimantan Selatan. *Bangun Rekaprima, 03*, 22–30.

Sudjiyanto, A. T. (2005). Perbaikan sifat fisis dan mekanis tanah lempung ekspansif dengan abu batu bara. *Prosiding Seminar Nasional Tekno Insentif, Kopertis Wilayah IV Jawa Barat Dan Banten*, 209–220.

Sudjiyanto, A. T., & Kandang, K. (2012). Stabilisasi landfiil dengan fly ash. *Widya Teknika, 20(2)*, 1–8.

Sulistyowati, T. (2006). Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Fly Ash Terhadap Nilai Daya Dukung CBR. *Jurnal Spektrum Sipil, 2(1)*.

Tobing, B. C. L., Suroso, & Zaika, Y. (2014). Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Dengan Campuran 15% Fly Ash. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(2)*, 1–10.
<http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/98>

Wardani, S. P. R. (2008). Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Untuk Stabilitas Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Pengukuhan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*, 1–71.