

**PENGARUH SUHU TINGGI PEMERAMAN
TERHADAP KINERJA *FLY ASH*
(STUDI PERBAIKAN TANAH LUNAK BERGRADASI SERAGAM)**

(Skripsi)

Oleh

SEPTRIZA AULI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH SUHU TINGGI PEMERAMAN TERHADAP KINERJA *FLY ASH* (STUDI PERBAIKAN TANAH LUNAK BERGRADASI SERAGAM)

Oleh

SEPTRIZA AULI

Salah satu masalah konstruksi yang kerap kali dijumpai di dunia, termasuk Indonesia, yaitu konstruksi jalan raya yang dilakukan di atas tanah dasar yang merupakan tanah lunak. Pada umumnya, perbaikan tanah dasar (*subgrade*) yang lunak dilakukan dengan modifikasi atau penanganan khusus, salah satunya dengan stabilisasi agar tanah dasar tersebut dapat memenuhi standar perencanaan jalan. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi dianggap sebagai pilihan yang efektif karena harganya yang ekonomis serta unsur di dalamnya memiliki kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kualitas tanah lunak yang telah dicampur dengan beberapa variasi kadar *fly ash* dilihat dari parameter seperti batas konsistensi dan *CBR*. Dengan meninjau kondisi suhu tertinggi yang pernah terjadi di Indonesia berdasarkan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) yang dikaitkan dengan kondisi suhu di lapangan, maka penelitian ini juga meninjau pengaruh suhu tinggi pemeraman sebesar 40°C terhadap parameter-parameter tersebut.

Hasil yang didapat berupa penurunan berat volume kering maksimum dan peningkatan kadar air optimum. Selain itu, didapat nilai batas konsistensi menurun secara signifikan. Nilai *CBR* terbesar ditunjukkan pada variasi penambahan kadar *fly ash* sebanyak 10% dengan waktu pemeraman 7 hari pada kondisi suhu pemeraman >40°C.

Kata kunci: Tanah Lunak, Stabilisasi Tanah, *Fly Ash*, Suhu Tinggi Pemeraman, *CBR*

ABSTRACT

THE EFFECT OF HIGH CURING TEMPERATURE ON FLY ASH PERFORMANCE (STUDY ON IMPROVEMENT OF UNIFORMLY GRADED SOFT SOIL)

BY

SEPTRIZA AULI

One of the construction problems that is often encountered in the world, including Indonesia, is the construction of highways carried out on soft soil subgrade. In general, the improvement of soft subgrade is carried out with special modifications or handling, one of which is by stabilization so the subgrade can be used based on the standards. The use of fly ash as a stabilization material is considered an effective option because of its economical price and the elements in it have the ability to harden and increase strength when reacting with water.

This study aims to find out the improvement of soft soil quality that has been mixed with several variations of fly ash seen from parameters such as Atterberg Limits and CBR. By reviewing the highest temperature conditions that ever happened in Indonesia based on *Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG)* and relating it with temperature conditions in the field, the study also reviewed the influence of high temperatures of 40°C on these parameters.

The results are a decrease in the maximum dry density and an increase in the optimum moisture content. In addition, the value of the Atterberg Limit decreased significantly. The largest CBR value is shown in the addition rate of fly ash by 10% with a 7-day curing time at a temperature >40°C.

Keywords: Soft Soil, Soil Stabilization, Fly Ash, High Curing Temperature, CBR

**PENGARUH SUHU TINGGI PEMERAMAN
TERHADAP KINERJA *FLY ASH*
(STUDI PERBAIKAN TANAH LUNAK BERGRADASI SERAGAM)**

Oleh

SEPTRIZA AULI

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **Pengaruh Suhu Tinggi Pemeraman terhadap Kinerja Fly Ash (Studi Perbaikan Tanah Lunak Bergradasi Seragam)**

Nama Mahasiswa : **Septriza Auli**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615011076**

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.19620717-198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 Juni 2021**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi berjudul **“Pengaruh Suhu Tinggi Pemeraman Terhadap Kinerja Fly Ash (Studi Perbaikan Tanah Lunak Bergradasi Seragam)”** adalah benar hasil karya saya, bukan menjiplak hasil karya orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia bertanggung jawab dan diberi sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2021

Pembuat Pernyataan,



Septiza Auli

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang, Bandar Lampung pada tanggal 12 September 1997, yang merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, putri dari pasangan Bapak Awandaria dan Ibu Yuliati. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Assalam Sukarame pada tahun 2003, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 2 Rawa Laut pada tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2013, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 9 Bandar Lampung pada tahun 2016. Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS). Pada tahun 2017/2018 dan 2018/2019 penulis tercatat sebagai anggota Departemen Media Informasi. Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2019 di Desa Tanjung Waras, Kecamatan Bukit Kemuning, Kabupaten Lampung Utara. Pada tahun 2019 penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung B Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.

MOTTO

*A thousand kids choose to work
on their dreams while you are asleep*
(Anonymous)

*Educating the mind without educating the heart
is no education at all*
(Aristotle)

*Have faith in your journey. Everything had to happen
exactly as it did to get you where you are going next*
(Mandy Hale)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan, ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan, ada kemudahan.”
(Q.S. Al-Insyirah (94) : 5-6)

Persembahan

Alhamdulillah, puji syukur hamba panjatkan kepada Allah SWT
atas karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Untuk kedua orangtuaku (Mama) Yuliati dan (Ayah) Awandaria, serta kedua kakakku Fitria Sari dan Dwi Jayanti yang selalu memberikan dukungan moral maupun materi serta senantiasa memotivasi dan mendoakanku untuk mencapai cita-cita dan kesuksesan. Terimakasih atas kepercayaan yang telah kalian berikan selama ini, semoga keluarga kita selalu bahagia dan dalam lindungan Allah SWT.

Aamiin

Sahabat dan Saudara-saudaraku yang selalu mendoakan dan memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

Semua Guru dan Dosen yang telah mengajarkan banyak hal.
Terima kasih untuk ilmu pengetahuan dan pelajaran hidup yang telah diberikan.

Untuk almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu Tinggi Pemeraman Terhadap Kinerja *Fly Ash* (Studi Perbaikan Tanak Lunak Bergradasi Seragam)” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Jurusan Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Atas terselesaikannya skripsi ini, penulis banyak mengucapkan terima kasih 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 dan Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak (Alm.) Ir. M. Jafri, M.T, selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis sebelumnya.
4. Bapak Ir. Nur Arifaini, M.S., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis.
5. Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan semangat, kritik dan saran, serta dengan penuh kesabaran dan keikhlasan membimbing penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.

6. Bapak Aminudin Syah, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II atas keikhlasannya membimbing penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak Iswan S.T., M.T., selaku Dosen Penguji atas kritik, saran, serta bimbingannya dalam penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
9. Kedua orangtuaku, Bapak Awandaria dan Ibu Yuliati, serta kedua kakakku Fitria Sari dan Dwi Jayanti yang telah memberikan doa dan dukungan yang tiada hentinya.
10. Seluruh teknisi Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung.
11. Sahabat sekaligus teman seperjuangan semasa kuliah, Selvia Angraini, Jeane Ayu Claudia, Nanda Dwi Wahyuni, Fitri Trisdiana, Nova Novitasari, dan Putri Ferira Zumarnis, semoga kita selalu seperti ini.
12. Keluarga besar Teknik Sipil 2016, terima kasih atas segala yang telah kalian berikan kepada penulis. Semoga kita selalu diberi kelancaran dan kemudahan dalam setiap langkah yang akan kita tempuh.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, Juni 2021

Penulis

Septriza Auli

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
III. LANDASAN TEORI	12
A. Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	12
B. Klasifikasi Tanah	12
1. <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	13
2. <i>American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)</i>	14
C. Tanah Lunak	15
D. <i>Index Properties</i> Tanah.....	16
1. Kadar Air (<i>w</i>)	16
2. Berat Volume (<i>γ</i>).....	16
3. Batas-batas Atterberg.....	18
4. Distribusi Ukuran Partikel	19
E. <i>Engineering Properties</i> Tanah.....	19
1. Pemasatan (<i>Compaction</i>).....	19

2. <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	19
F. Stabilisasi Tanah	20
G. Stabilisasi Tanah Dengan <i>Fly Ash</i>	21
IV. METODOLOGI PENELITIAN	24
A. Diagram Alir Penelitian	24
B. Bahan Penelitian	25
C. Pelaksanaan Pengujian.....	26
1. Uji <i>Index Properties</i> Tanah.....	26
2. Pencampuran Tanah dan <i>Fly Ash</i>	30
3. Uji Pemadatan Tanah Standar.....	31
4. Pengujian <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	32
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. <i>Index Properties</i> Tanah Asli	34
1. Uji Kadar Air	34
2. Uji Berat Spesifik.....	34
3. Uji Batas-batas Atterberg.....	35
4. Uji Analisis Distribusi Ukuran Butiran	36
5. Klasifikasi Tanah	38
B. Batas-batas Atterberg Campuran Tanah dan <i>Fly Ash</i>	39
C. Pengujian Campuran Tanah dan <i>Fly Ash</i> Pada Kondisi Suhu Pemeraman 40°C	42
1. Tanpa Pemeraman.....	42
2. Variasi Pemeraman 7 Hari	45
3. Variasi Pemeraman 14 Hari	47
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	51
A. Kesimpulan	51
B. Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Peta sebaran tanah lunak Indonesia.....	2
Gambar 3.1. <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	13
Gambar 3.2. Sistem klasifikasi <i>American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)</i>	14
Gambar 3.3. Batas-batas Atterberg.	18
Gambar 3.4. Partikel <i>fly ash</i> dengan perbesaran 2000 kali.	23
Gambar 4.1. Diagram alir penelitian.	24
Gambar 4.2. Lokasi pengambilan sampel tanah.....	25
Gambar 4.3. Sampel tanah dan <i>fly ash</i>	30
Gambar 4.4. Pemeraman pada suhu 40°C.....	30
Gambar 5.1. Grafik Batas Cair (<i>Liquid Limit, LL</i>).....	35
Gambar 5.2. Grafik distribusi ukuran butiran.	37
Gambar 5.3. Diagram klasifikasi tanah berdasarkan sistem <i>AASHTO</i>	38
Gambar 5.4. Diagram plastisitas berdasarkan <i>USCS</i>	38
Gambar 5.5. Grafik Batas-batas Atterberg campuran tanah dan <i>fly ash</i>	39
Gambar 5.6. Perbandingan grafik Batas-batas Atterberg campuran tanah dan <i>fly ash</i> dengan penelitian sebelumnya.	41
Gambar 5.7. Grafik pengujian campuran tanah dan <i>fly ash</i> tanpa pemeraman	42
Gambar 5.8. Grafik pengujian campuran tanah dan <i>fly ash</i> variasi pemeraman 7 hari pada suhu pemeraman 40°C.....	45
Gambar 5.9. Grafik pengujian campuran tanah dan <i>fly ash</i> variasi pemeraman 14 hari.....	47
Gambar 5.10. Grafik hubungan nilai <i>CBR</i> dengan variasi <i>fly ash</i>	50
Gambar 5.11. Grafik perbandingan nilai <i>CBR</i> dengan variasi <i>fly ash</i> pada kondisi suhu pemeraman 40°C.....	50

DAFTAR TABEL

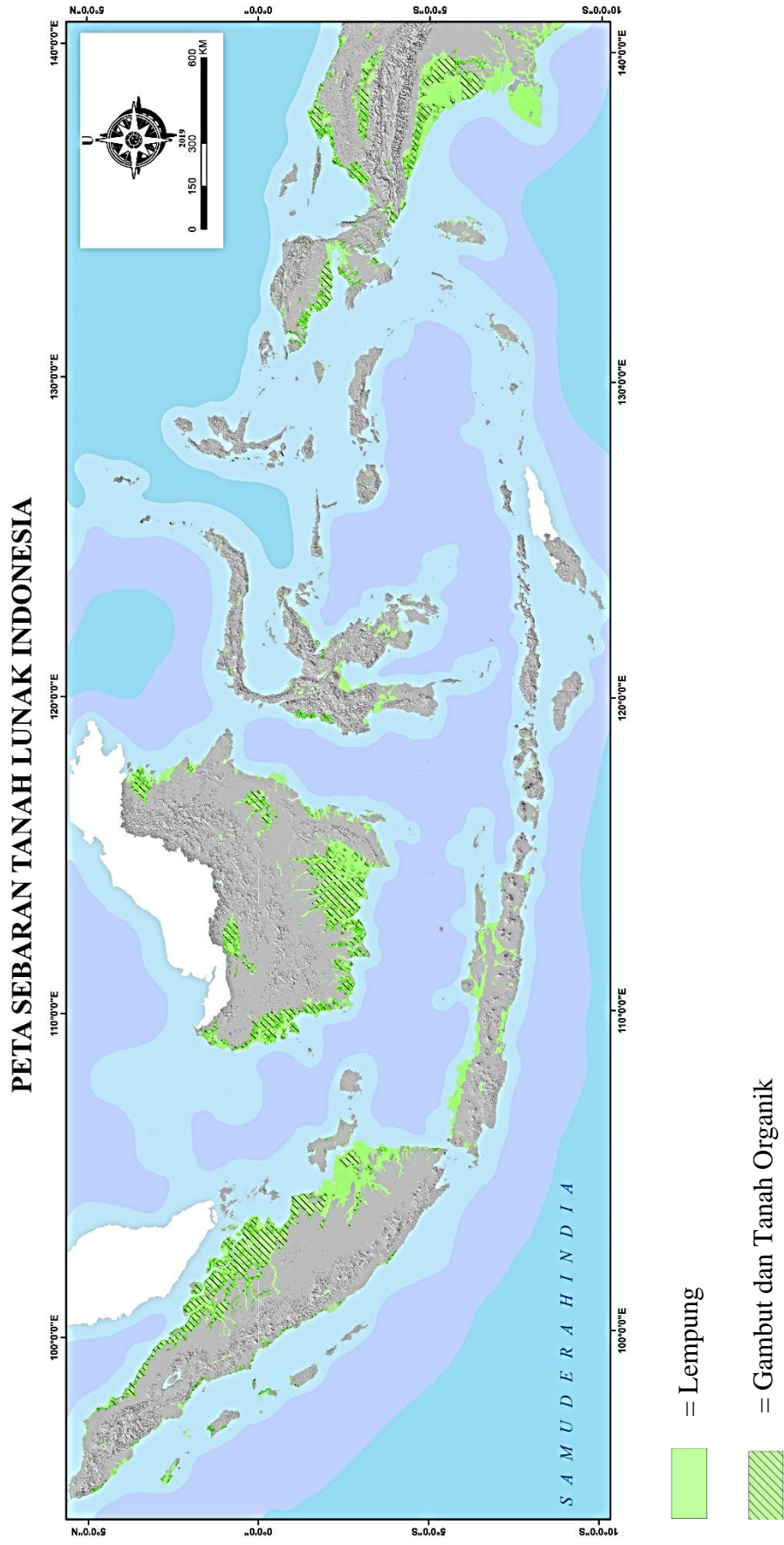
	Halaman
Tabel 5.1. Hasil Uji Kadar Air	34
Tabel 5.2. Hasil Uji Berat Spesifik (<i>Specific Gravity</i>).....	34
Tabel 5.3. Hasil Uji Batas-batas Atterberg	35
Tabel 5.4. Hasil Uji Analisis Saringan.....	36
Tabel 5.5. Hasil Uji Hidrometer.....	36
Tabel 5.6. Data Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Asli	37
Tabel 5.7. Hasil Uji Batas-batas Atterberg	40

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang sebagian besar ukurannya sangat kecil seperti lempung dan lanau. Tanah lunak memiliki sifat kemampuan yang tinggi serta koefisien permeabilitas dan gaya geser yang rendah (Siska & Yakin, 2016). Sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan wilayah Indonesia termasuk tanah lunak, terlihat pada Gambar 1.1.

Salah satu masalah konstruksi yang kerap kali dijumpai di dunia, termasuk Indonesia, yaitu konstruksi jalan raya yang dilakukan di atas tanah dasar yang merupakan tanah lunak. Dalam penentuan tebal perkerasan aspal yang dibutuhkan pada perkerasan jalan raya, kekuatan tanah dasar memegang peranan yang sangat penting. Perbaikan sifat-sifat fisik dan teknik tanah perlu dilakukan perbaikan apabila tanah dasar tersebut merupakan tanah lunak. Hal ini dikarenakan daya dukung tanah lunak sangat sensitif terhadap pengaruh air yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan dan penurunan dalam jangka panjang. Pada umumnya, perbaikan tanah dasar (*subgrade*) yang lunak dilakukan dengan modifikasi atau penanganan khusus, salah satunya dengan stabilisasi agar tanah dasar tersebut dapat memenuhi standar perencanaan jalan (Ibrahim, 2014).



Gambar 1.1. Peta sebaran tanah lunak Indonesia.
Sumber: Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia, 2019

Dalam beberapa dekade terakhir, penelitian yang terkait dengan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi banyak dilakukan. *Fly ash* merupakan residu yang halus hasil dari pembakaran atau pembubukan batu bara. Sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*) dihasilkan dari pembakaran batu bara, di mana sekitar 10-20% merupakan *bottom ash* dan sekitar 80-90% merupakan *fly ash* dari total abu yang dihasilkan. Pengelolaan lebih lanjut sangat diperlukan sebab *fly ash* terdapat dalam jumlah yang cukup besar agar tidak menimbulkan masalah lingkungan seperti pencemaran udara atau perairan serta penurunan kualitas ekosistem. *Fly ash* terdiri dari unsur kimia meliputi ferro oksida (Fe_2O_3), alumina (Al_2O_3), silika (SiO_2), dan kalsium oksida (CaO) yang memiliki kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air (Ibrahim, 2014). Dengan demikian, penggunaan *fly ash* baik sebagai material struktur maupun stabilisasi tanah, dapat memberikan manfaat yang cukup besar dalam perekonomian sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan.

Faktor lingkungan seperti suhu dapat mempengaruhi kinerja bahan kimia dalam proses stabilisasi tanah di lapangan. Berdasarkan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG), telah tercatat suhu tertinggi yang pernah terjadi di Indonesia yaitu sebesar $39,5^\circ\text{C}$. Di dalam praktik di lapangan, khususnya di daerah tropis seperti Indonesia, peningkatan suhu pada proses stabilisasi mencapai suhu lebih dari 38°C yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan suhu laboratorium pada saat dilakukan pemeraman (Lu dkk. 2011). Perbedaan antara suhu pada saat pemeraman dengan suhu pada waktu pelaksanaan di lapangan tersebut tidak pernah diperhatikan pada praktik-praktik perencanaan

sehingga suhu pemeraman di laboratorium perlu dipertahankan sebagaimana suhu tinggi yang terjadi di lapangan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* untuk memperbaiki daya dukung tanah lunak. Gobel & Marzuko (2018) meneliti manfaat *fly ash* sebagai bahan perbaikan daya dukung tanah lempung. Tanah yang digunakan yaitu tanah lempung plastisitas tinggi dengan variasi penambahan *fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 15%. Uji yang dilakukan antara lain uji pemadatan tanah standar dan uji *CBR* laboratorium dengan waktu pemeraman 1 hari, 3 hari, dan 7 hari dengan perendaman. Hasil yang didapat yaitu peningkatan nilai *CBR* tanah serta penurunan potensi pengembangan (*swelling*) seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan.

Hatmoko & Suryadharma (2018) melakukan penelitian terhadap tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Sejumlah komposisi tanah lempung dan semen diperam pada variasi suhu yang berbeda-beda dengan rentang 25°C - 50°C dengan variasi waktu pemeraman selama 7, 14, 21, 28, 36, dan 56 hari. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa tanah lempung yang distabilisasi dengan semen mengalami peningkatan kuat tekan bebas seiring dengan peningkatan suhu pemeraman dan lama waktu pemeraman.

Dari beberapa penelitian tersebut belum diketahui adanya pengaruh suhu pemeraman terhadap kinerja *fly ash* dalam memperbaiki daya dukung tanah lunak. Oleh karena itu, dalam penelitian ini berupaya untuk memperbaiki kualitas dan sifat fisik tanah lunak dengan mempertimbangkan suhu

pemeraman campuran tanah dan *fly ash* agar dapat memenuhi kriteria sebagai tanah dasar untuk konstruksi jalan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalahnya yaitu bagaimana pengaruh pencampuran tanah lunak dan *fly ash* dengan kadar campuran yang bervariasi pada kondisi suhu pemeraman 40°C.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui peningkatan kualitas tanah lunak yang telah dicampur *fly ash*.
2. Mencari kadar optimum penambahan *fly ash* pada tanah lunak.
3. Mengetahui pengaruh suhu pemeraman terhadap kinerja *fly ash* selama proses pengikatan antara tanah dan bahan aditif.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*) di desa Margakaya, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan.
2. Bahan aditif yang digunakan untuk stabilisasi tanah yaitu *fly ash* yang berasal dari PT. Pindo Deli *Pulp and Paper Mills 3* yang berlokasi di Desa Tamanmekar, Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Karawang, Jawa Barat.

3. Variasi kadar pencampuran *fly ash* yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat tanah kering.
4. Waktu pemeraman yang dilakukan yaitu 0 hari, 7 hari, dan 14 hari.
5. Suhu pemeraman dipertahankan 40°C.
6. Pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi :
 - a. Pengujian *index properties* tanah asli :
 - Uji kadar air
 - Uji *specific gravity*
 - Uji analisis saringan
 - Uji batas-batas Atterberg
 - b. Pengujian batas-batas Atterberg tanah campuran.
 - c. Pengujian *engineering properties* tanah asli dan tanah campuran :
 - Uji pemadatan tanah standar (*standard compaction test*)
 - Uji *CBR* (*California Bearing Ratio*)

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui sebaik mana manfaat penggunaan *fly ash* untuk meningkatkan kualitas tanah lunak, sehingga dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam pemecahan masalah stabilisasi tanah di lapangan.
2. Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang sifat-sifat fisik dan mekanik tanah lunak.
3. Merupakan bagian dari referensi mengenai bahan aditif berupa *fly ash*.

F. Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi pemikiran dan kerangka awal penelitian yang terdiri dari latar belakang, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi hasil kajian penelitian sebelumnya yang menjadi acuan dalam penyusunan penelitian.

BAB III : LANDASAN TEORI

Bab ini berisi kajian teori dari literatur atau bahan bacaan yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV : METODE PENELITIAN

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

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan serta saran-saran yang ingin disampaikan.

DAFTAR PUSTAKA

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

Permasalahan konstruksi pada tanah lunak telah mendorong peneliti untuk melakukan kajian lebih lanjut terhadap upaya peningkatan kualitas tanah dalam beberapa dekade terakhir. Sifat-sifat fisik dan mekanik tanah lunak yang meliputi kompresibilitas dan potensi kembang susut tinggi serta kuat geser yang relatif rendah membuat tanah jenis ini tidak seperti yang diharapkan oleh para ahli geoteknik. Dalam banyak kasus untuk mengatasi permasalahan tersebut, tanah lunak sepenuhnya diganti dengan material dengan sifat yang lebih baik. Namun, solusi ini membutuhkan biaya yang cukup tinggi serta memakan waktu yang lama sehingga perlu dilakukan suatu alternatif upaya peningkatan kualitas tanah lunak.

Stabilisasi tanah direkomendasikan untuk membantu insinyur agar dapat menggunakan tanah lokal sebagai bahan rekayasa dengan sifat khusus. Terdapat beberapa metode stabilisasi tanah antara lain stabilisasi mekanik, kimia, dan geosintetik. Beberapa teknik stabilisasi tanah secara mekanik telah diusulkan untuk meningkatkan sifat tanah lunak. Namun, Turan dkk., (2019) berpendapat bahwa perubahan karakteristik fisiokimia tanah lunak juga diperlukan untuk mendapatkan stabilitas permanen sehingga perlu dilakukan stabilisasi kimia. Proses stabilisasi kimia mengacu pada pencampuran tanah dengan bahan kimia yang dapat mengubah sifat geotekniknya sesuai dengan kriteria yang diinginkan (*“Geotech. Investig. Improv. Gr. Cond.”* 2019). Pencampuran tanah dengan bahan kimia seperti semen,

kapur, *fly ash*, maupun kombinasi dari beberapa bahan kimia ini menghasilkan transformasi sifat indeks tanah yang melibatkan sementasi partikel sehingga tanah dapat berkinerja lebih baik sebagai bahan rekayasa (Amadi, 2010). Sebelumnya, bahan kimia yang paling umum digunakan untuk stabilisasi tanah adalah semen, akan tetapi penelitian terbaru menunjukkan bahwa pencampuran *fly ash* dapat dijadikan alternatif upaya stabilisasi tanah (Jafer dkk., 2015).

Fly ash merupakan residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang ketersediannya cukup melimpah. Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *fly ash* termasuk ke dalam limbah non-B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Berbagai upaya telah dilakukan untuk mendaur ulang *fly ash* antara lain sekitar 20% dari *fly ash* yang dihasilkan, digunakan dalam sintesis zeolit dan sebagai bahan pengisi polimer (Cho dkk., 2005). *Fly ash* juga dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah (Apriyanti & Hambali, 2014).

Fly ash terdiri dari partikel-partikel halus berukuran 10 – 100 mikron yang merupakan salah satu sifat penting yang berkontribusi pada reaksi *pozzolanic* (*American Coal Ash Association*, 2013). Reaksi *pozzolanic* adalah reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah. Reaksi ini menghasilkan pengurangan plastisitas tanah karena adanya pertukaran ion kalsium pada air pori dengan kation monovalen pada permukaan tanah yang disebabkan oleh tekanan lapisan adsorpsi (Tastan dkk., 2011). Reaksi tersebut dapat memperbaiki gradasi tanah dan menghasilkan massa tanah yang keras dan kaku (Budi dkk., 2003).

Bottom ash juga merupakan residu dari pembakaran batu bara, akan tetapi pemanfaatan *fly ash* lebih mudah dibandingkan dengan *bottom ash* sebab ukurannya sudah relatif kecil. *Bottom ash* masih dalam bentuk bongkahan sehingga harus mengalami perlakuan pengecilan ukuran (*size reduction treatment*) sebelum dimanfaatkan lebih lanjut (Indera K dkk., 2016).

Berdasarkan hal yang telah dijelaskan sebelumnya, campuran tanah lunak dan *fly ash* dengan kadar yang bervariasi menjadi sasaran pengujian yang relevan untuk menentukan perubahan sifat fisik dan mekanik tanah. Dengan melakukan beberapa pengujian di laboratorium, Senol dkk., (2006) mendapati nilai kuat tekan dan *CBR* pada campuran tanah lunak dan *fly ash* mengalami peningkatan seiring dengan kadar *fly ash* yang ditambahkan dengan memperhatikan kadar air dan waktu pemadatan.

Seyrek (2018) melakukan penelitian terhadap dua jenis *fly ash* yaitu kelas C dan kelas F serta dua jenis tanah lempung yaitu tanah lempung dengan indeks plastisitas tinggi dan rendah. Adapun uji yang dilakukan yaitu uji laboratorium yang meliputi uji batas Atterberg, kepadatan standar tanah, potensi pengembangan tanah, dan kuat tekan bebas dengan waktu pemeraman 1 hari, 7 hari, dan 28 hari. Hasil yang didapat yaitu penambahan *fly ash* kelas F sebanyak 20% merupakan nilai optimum untuk mengurangi potensi *swelling* (pengembangan) pada tanah.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Jauhari dkk., (2013) yaitu dengan menambahkan *fly ash* pada variasi kadar 4% - 12% dari berat tanah kering. Sampel tanah yang digunakan merupakan tanah lempung plastisitas tinggi. Hasil uji

laboratorium menunjukkan peningkatan nilai *CBR* tanah secara signifikan pada semua campuran.

Setyono dkk., (2018) melakukan beberapa uji laboratorium yang meliputi uji *swelling*, pemadatan, dan *CBR* dengan rendaman dan tanpa rendaman pada campuran tanah lempung ekspansif dan *fly ash*. Hasil yang didapat berupa kadar optimum penambahan *fly ash* yaitu sebesar 15% dengan waktu pemeraman 28 hari. Semakin tinggi kadar *fly ash* dan semakin lama waktu pemeraman, nilai *swelling* akan semakin mengecil dan nilai *CBR* akan semakin meningkat.

Beeghly, (2003) mendapati bahwa campuran *fly ash* dan kapur dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah dengan memperhatikan variasi waktu dan suhu pemeraman. Variasi pemeraman dilakukan selama 3 hari pada suhu 49°C - 50°C, 7 hari pada suhu 40°C, dan 28 hari pada suhu 22°C. Nilai *CBR* mengalami peningkatan optimum pada variasi pemeraman 7 hari dengan suhu 40°C.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, belum ditemukan adanya pengaruh suhu terhadap kinerja campuran tanah lunak dan *fly ash* sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh tersebut.

III. LANDASAN TEORI

A. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan suatu lapisan tanah setebal 50 – 100 cm tempat perletakan lapis perkerasan konstruksi jalan raya. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan, atau tanah yang distabilisasi dengan bahan aditif. Kekuatan konstruksi perkerasan jalan sangat bergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar.

Adapun masalah-masalah yang sering dijumpai menyangkut tanah dasar antara lain :

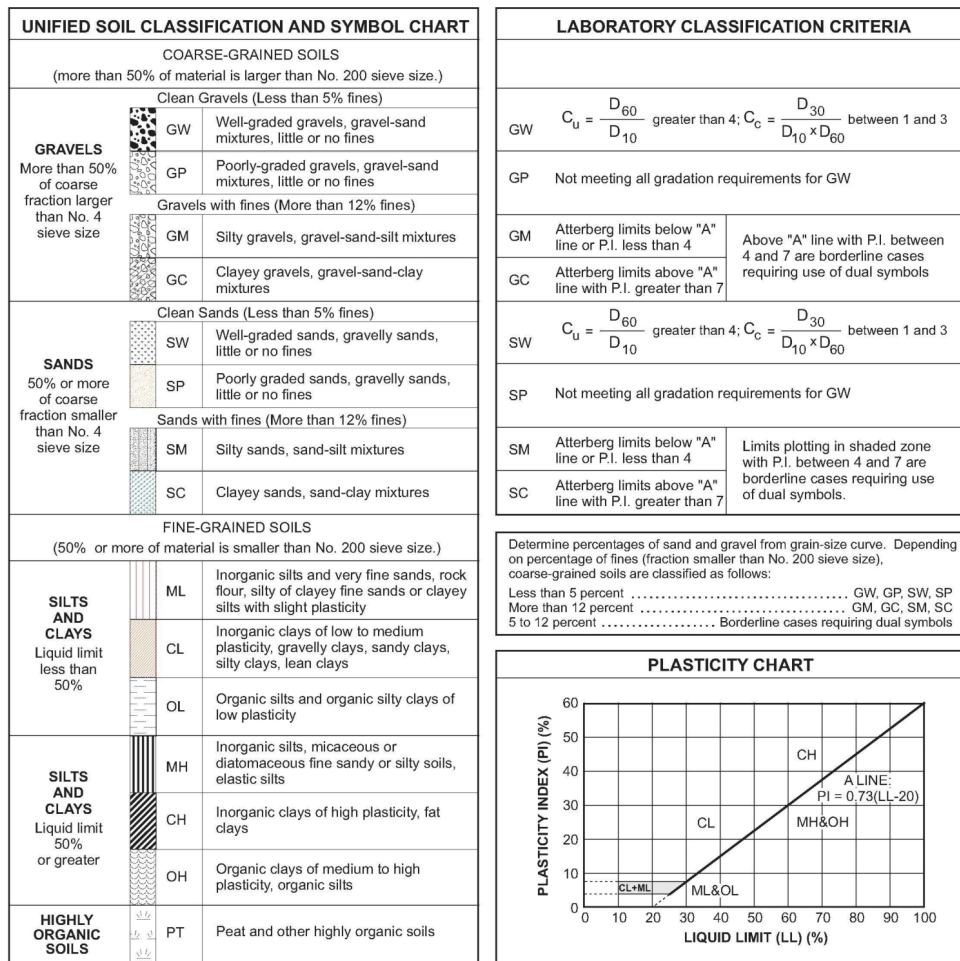
1. Perubahan kadar air mengakibatkan adanya sifat mengembang dan menyusutnya tanah.
2. Perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan mengakibatkan daya dukung tanah tidak merata.
3. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas yang besar akan mengakibatkan kerusakan pada konstruksi jalan.

B. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengelompokkan tanah dengan jenis

yang berbeda ke dalam kategori-kategori sifat yang sama. Hal ini bertujuan untuk mengetahui keadaan dan perilaku tanah. Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan di Indonesia antara lain *Unified Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*.

1. Unified Soil Classification System (USCS)



Gambar 3.1. *Unified Soil Classification System (USCS)*
Sumber: *California Department of Transportation (CALTRANS)*

USCS mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, dan sifat-sifat butiran halus yang dikandungnya (WSP

International, 2001). Kategori utama pengelompokan tanah pada *USCS* antara lain :

- a. Tanah berbutir kasar
- b. Tanah berbutir halus
- c. Tanah dengan kadar organik tinggi

2. *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*

Sistem klasifikasi *AASHTO* membagi tanah ke dalam 7 kelompok termasuk sub-sub kelompok yang kemudian tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg (Hardiyatmo, 1993).

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
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 3.2. Sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*.

Sumber: AASHTO M 145

C. Tanah Lunak

Tanah lunak dalam penggunaannya pada suatu konstruksi jika tidak dikenali dan diselidiki dengan baik dapat menyebabkan masalah yang tidak dapat ditoleransi seperti ketidakstabilan serta penurunan dalam jangka panjang. Hal ini disebabkan karena tanah lunak merupakan tanah kohesif yang sebagian besar butirannya sangat kecil. Lapisan tanah lunak memiliki sifat kemampuan yang tinggi serta gaya geser dan koefisien permeabilitas yang rendah. Salah satu jenis tanah lunak yaitu tanah lempung.

Tanah lempung berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan yang memiliki ukuran mikron sampai dengan submikron dengan bentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya. Dalam klasifikasi tanah secara umum, partikel tanah lempung memiliki diameter $2\mu\text{m}$ atau sekitar 0,002 mm (*AASHTO* dan *USCS*). Dalam beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung (*ASTM-D-653*). Mineral lempung pada intinya adalah hidrat aluminium silikat yang mengandung ion-ion Mg, K, Ca, Na, dan Fe yang dapat digolongkan ke dalam empat golongan besar antara lain kaolinit, smektit (monmorilonit), ilit (mika hidrat), dan klorit.

Dari segi mineral yang terkandung di dalamnya, yang disebut tanah lempung ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, jika

basah akan bersifat lunak, plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Tanah lempung cenderung memiliki kuat geser rendah dan akan terus mengalami penurunan setelah pembasahan (Brooks, 2009).

D. *Index Properties Tanah*

1. Kadar Air (w)

Kadar air (w) yang juga disebut sebagai *water content* didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Dimana,

w = Kadar air (%)

W_w = Berat air (gr)

W_s = Berat butiran (gr)

2. Berat Volume (γ)

a. Berat Volume Basah (γ_b)

Berat volume basah (γ_b) merupakan perbandingan antara berat tanah (W) dengan volume tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

Dimana,

γ_b = Berat volume basah (gr/cm³)

W = Berat tanah (gr)

V = Volume tanah (cm³)

b. Berat Volume Kering (γ_d)

Berat volume kering (γ_d) merupakan perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume tanah (V).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Dimana,

γ_d = Berat volume kering (gr/cm³)

W_s = Berat butiran (gr)

V = Volume tanah (cm³)

c. Berat Volume Butiran Padat (γ_s)

Berat volume butiran padat (γ_s) merupakan perbandingan antara berat tanah (W) dengan volume butiran (V_s).

$$\gamma_s = \frac{W}{V_s}$$

Dimana,

γ_s = Berat volume butiran padat (gr/cm³)

W = Berat tanah (gr)

V_s = Volume butiran (cm³)

d. Berat Spesifik (G_s)

Berat spesifik tanah (G_s) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air suling (γ_w) pada volume yang sama dan suhu tertentu.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Dimana,

G_s = Berat spesifik

γ_s = Berat volume butiran padat (gr/cm^3)

γ_w = berat volume air suling (gr/cm^3)

3. Batas-batas Atterberg

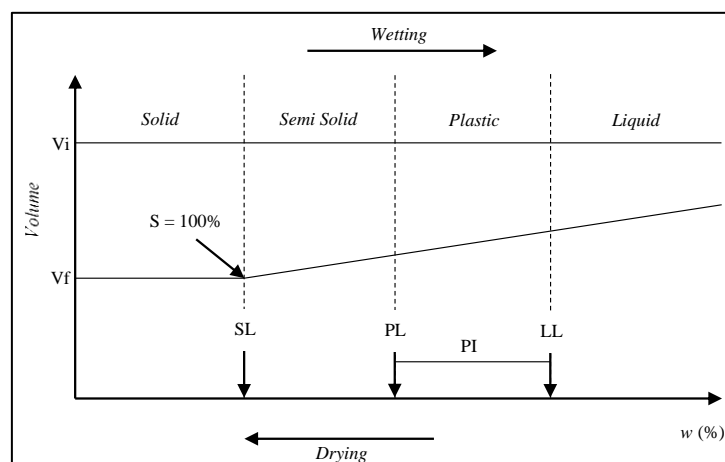
Tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat tergantung jumlah air yang terkandung pada tanah tersebut. Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas Atterberg. Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas Atterberg adalah sebagai berikut.

a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*LL*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan plastis.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*PL*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan plastis dan semi plastis.



Gambar 3.3. Batas-batas Atterberg.

c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut adalah kadar air pada kondisi derajat kejenuhan 100%. Apabila nilai batas susut semakin kecil maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume.

d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis.

4. Distribusi Ukuran Partikel

Ukuran partikel merupakan dasar untuk klasifikasi atau pemberian nama pada jenis tanah. Ukuran partikel tanah biasanya digambarkan dalam grafik yaitu grafik lengkung (*grading curve*) atau grafik lengkung pembagi partikel (*partial size distribution curve*). Suatu tanah yang mempunyai kurva distribusi ukuran butir yang hampir vertikal (semua partikel dengan ukuran yang hampir sama) disebut tanah seragam (*uniformly graded*).

E. *Engineering Properties Tanah*

1. Pemasatan (*Compaction*)

Pemasatan merupakan suatu proses keluarnya udara dari pori-pori tanah akibat pemberian energi yang berulang-ulang dalam jangka waktu yang relatif cepat. Sifat kepadatan tanah dapat diketahui melalui pengujian pemasatan tanah di laboratorium, baik dengan metode *standard proctor* maupun *modified proctor*.

2. *California Bearing Ratio (CBR)*

Nilai *CBR* merupakan suatu nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar

dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai *CBR* sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di laboratorium atau di lapangan dengan perencanaan empiris untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metoda penentuan tebal bagian perkerasan perencanaan perkerasan lentur jalan raya dan lapangan terbang.

F. Stabilisasi Tanah

Usaha stabilisasi tanah perlu dilakukan ketika tanah di lapangan memiliki sifat sangat lepas, batas konsistensi yang tidak stabil, permeabilitas yang tinggi, atau memiliki sifat-sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk digunakan di dalam suatu proyek konstruksi. Stabilisasi merupakan suatu proses dalam mengubah beberapa sifat tanah untuk menghasilkan jenis tanah dengan sifat rekayasa yang diinginkan. Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
4. Memperbaiki sifat permeabilitas tanah.
5. Mengganti tanah yang buruk.

Adapun metode-metode stabilisasi yang dikenal adalah :

1. Stabilisasi mekanis yang merupakan penambahan kekuatan atau daya dukung tanah dengan mengatur gradasi tanah yang dimaksud melalui sistem pemadatan.
2. Stabilisasi kimia yang merupakan penambahan bahan stabilisasi guna mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah yang biasanya digunakan pada tanah berbutir halus. Bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah disebut *stabilizing agent*.

G. Stabilisasi Tanah Dengan *Fly Ash*

Modifikasi/stabilisasi tanah diakui oleh para insinyur sebagai proses penting untuk meningkatkan kinerja tanah bermasalah sehingga dapat bekerja lebih baik sebagai bahan konstruksi teknik sipil. Penerapan bahan kimia seperti semen, kapur, *fly ash*, atau kombinasi dari semua bahan-bahan tersebut mengakibatkan transformasi sifat indeks tanah yang melibatkan sementasi partikel. Dahulu, bahan aditif yang paling umum digunakan untuk stabilisasi tanah adalah semen. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa permasalahan pada tanah dapat diperbaiki dengan penambahan *fly ash* (Amadi, 2010).

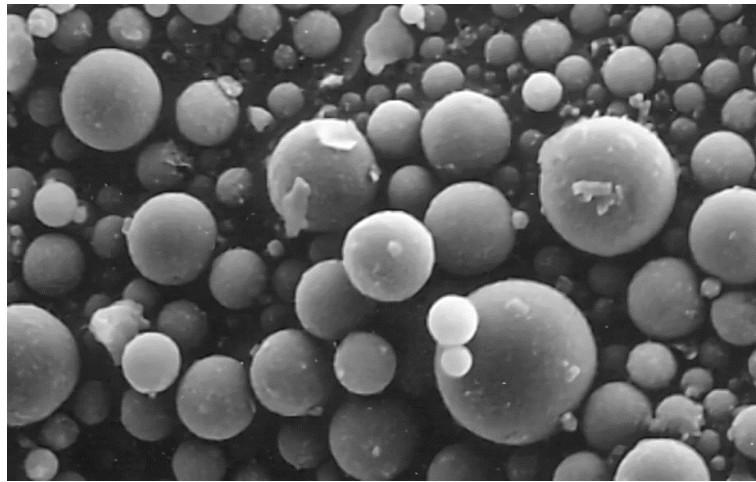
Fly ash (Gambar 3.4) merupakan polutan padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik. Dari pembakaran batu bara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*), di mana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan sekitar 80-90% *fly ash* dari total abu yang dihasilkan. *Fly ash* yang dihasilkan dari tempat pembakaran batu bara dibuang sebagai timbunan dan jumlahnya terbilang cukup banyak

sehingga dapat menimbulkan masalah lingkungan. Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah *fly ash* untuk keperluan konstruksi teknik sipil.

Fly ash terdiri dari unsur kimia meliputi silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon. Menurut SNI 2460 : 2016, *fly ash* dibagi menjadi tiga kelas yaitu :

1. *Fly ash* kelas F merupakan *fly ash* yang mengandung kadar kalsium oksida lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara. *Fly ash* kelas F tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.
2. *Fly ash* kelas C merupakan *fly ash* yang mengandung kadar kalsium oksida di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara. *Fly ash* kelas C disebut juga *high-calcium fly ash* yang memiliki sifat *cementitious* dan *pozzolanic* sehingga dalam kondisi lembab akan terhidrasi dan mengeras.
3. *Fly ash* kelas N merupakan *pozzolan* alam mentah atau telah dikalsinasi. Stabilisasi tanah dengan penambahan *fly ash* dapat digunakan untuk tanah lunak sebagai *subgrade* konstruksi jalan. Stabilisasi tanah ini dapat menggunakan *fly ash* kelas C maupun kelas F. Jika menggunakan *fly ash* kelas F diperlukan bahan tambahan kapur atau semen, sedangkan jika menggunakan *fly ash* kelas C tidak diperlukan bahan tambahan semen atau kapur karena *fly ash* kelas C mempunyai sifat *self cementing*.

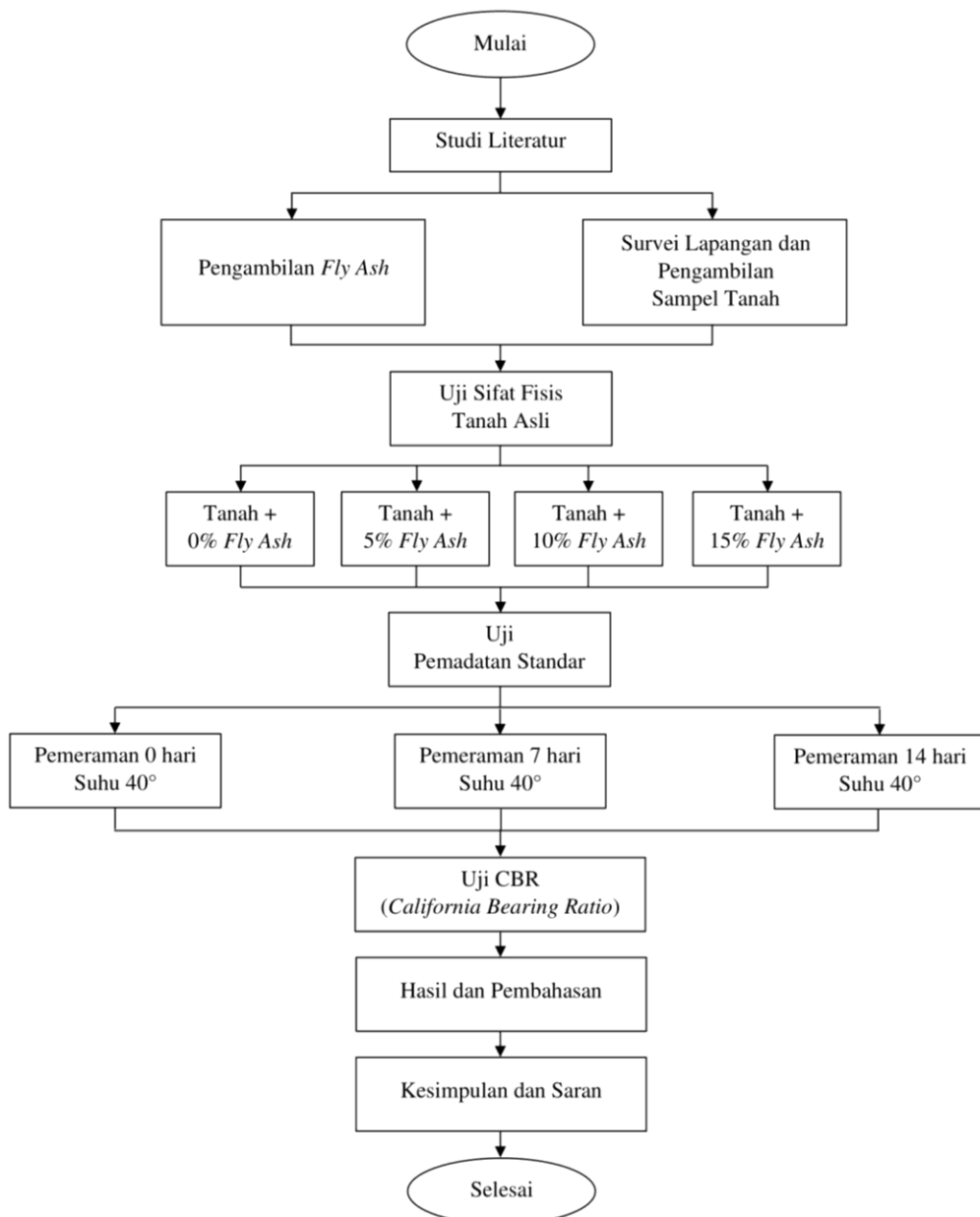
Fly ash dapat mengurangi potensi tanah untuk mengalami ekspansi volumetrik serta mengontrol penyusutan dengan mekanisme penyatuan partikel. Dengan mengikat butiran tanah menjadi satu, pergerakan partikel tanah menjadi terbatas. *Fly ash* juga dapat mengurangi kadar air tanah melalui reaksi kimia yang terjadi antara kalsium dan air.



Gambar 3.4. Partikel *fly ash* dengan perbesaran 2000 kali.
Sumber: *American Coal Ash Association*, 2013

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian

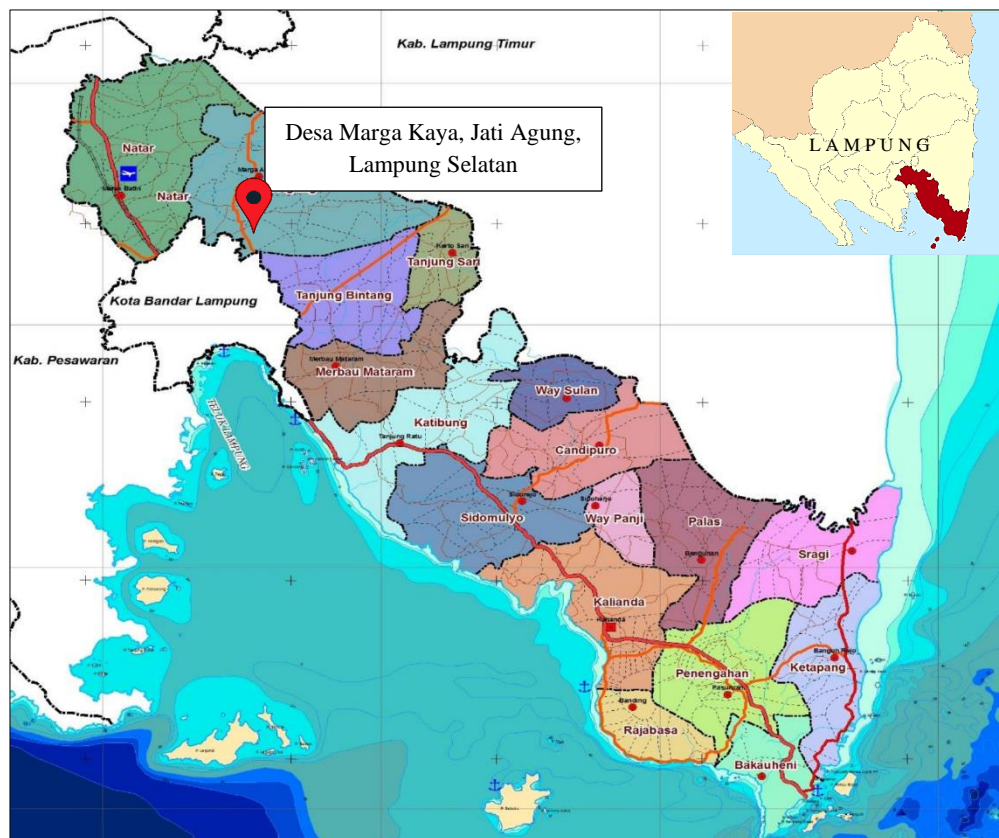


Gambar 4.1. Diagram alir penelitian.

B. Bahan Penelitian

Sampel tanah yang akan diuji berasal dari daerah Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan (Gambar 4.2) yang berupa tanah pada kondisi asli atau tidak terganggu (*undisturbed soil*) dan sampel tanah terganggu (*disturbed soil*).

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 pengambilan sampel tanah.

C. Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung. Adapun pengujian-pengujian tersebut sebagai berikut :

1. Uji *Index Properties* Tanah

a. Uji Kadar Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat di dalam sampel tanah yang nilainya dinyatakan dalam bentuk persen.

Langkah kerja (SNI 1965 : 2008) :

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

b. Uji Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kepadatan massa butiran.

Langkah kerja (SNI 1964 : 2008) :

- 1) Menimbang *picnometer*.
- 2) Memasukkan sampel tanah sebanyak 25 – 30 gram ke dalam *picnometer* untuk kemudian 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. Uji Berat Volume

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume tanah basah dalam keadaan asli.

Langkah kerja (SNI 03-3637-1994) :

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- 2) Mengukur dan mencatat tinggi dan diameter ring contoh.
- 3) Menimbang ring contoh kemudian mengolesinya dengan oli.
- 4) Memasukkan tanah dengan menekan ring contoh ke dalam tabung contoh sehingga ring contoh terisi oleh tanah.
- 5) Meratakan permukaan tanah setinggi ring.
- 6) Menimbang ring contoh + tanah.

d. Uji Batas-batas Atterberg

- Batas Cair

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada batasan antara keadaan plastis dan cair.

Langkah kerja (SNI 1967 : 2008) :

- 1) Mengayak sampel tanah menggunakan saringan No.40 dan mengambil sampel tanah yang lolos saringan sebanyak 150 – 200 gram.
- 2) Menambahkan air sedikit demi sedikit pada sampel tanah kemudian aduk hingga membentuk sebuah adonan.

- 3) Mengatur tinggi jatuh mangkuk *Cassagrande* setinggi 10 mm.
 - 4) Memasukkan adonan kedalam mangkuk *Cassagrande* kemudian 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 untuk kemudian ditimbang.
 - 8) Memasukkan cawan berisi adonan ke dalam oven selama 24 jam.
 - 9) Menimbang kembali adonan yang telah dioven.
- Batas Plastis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada batasan antara keadaan plastis dan semi padat.

Langkah kerja (SNI 1966 : 2008) :

- 1) Mengayak sampel tanah menggunakan saringan No.40 dan mengambil sampel tanah yang lolos saringan sebanyak 100 gram.
- 2) Menambahkan air sedikit demi sedikit pada sampel tanah kemudian 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 kemudian ditimbang.
- 5) Memasukkan cawan berisi adonan ke dalam oven selama 24 jam.
- 6) Menimbang kembali adonan yang telah dioven.

e. Uji Distribusi Ukuran Butiran

- Uji Analisis Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase ukuran dan gradasi butiran tanah yang tertahan saringan No.200.

Langkah kerja (SNI 3423 : 2008) :

- 1) Menyiapkan sampel tanah sebanyak 500 gram.
- 2) Menyusun saringan menurut 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.

- Uji Hidrometer

Pengujian ini bertujuan untuk mencari susunan ukuran butir tanah khusus berbutiran halus lolos saringan No. 200.

Langkah kerja (SNI 3423 : 2008) :

- 1) Mengeringkan sampel tanah di dalam oven selama 24 jam.
- 2) Menghaluskan sampel tanah yang sudah dioven untuk

kemudian 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, kemudian mengocok suspensi dengan arah vertikal sebanyak 60 kali.
- 6) Melakukan pembacaan hidrometer.

2. Pencampuran Tanah dan *Fly Ash*



Gambar 4.3. Sampel tanah dan *fly ash*.



Gambar 4.4. Pemeraman pada suhu 40°C.

Berikut merupakan metode pencampuran sampel tanah dengan *fly ash* :

- 1) *Fly ash* dicampur dengan sampel tanah yang telah ditumbuk dan lolos saringan No.200 dengan kadar campuran 0%, 5%, 10%, dan 15%.
- 2) Sampel tanah dan *fly ash* yang telah tercampur dipadatkan menggunakan *Standard Proctor*.
- 3) Setelah benda uji dipadatkan, dilakukan pemeraman dengan siklus 0 hari, 7 hari, dan 14 hari dengan suhu pemeraman dipertahankan 40°.
- 4) Melakukan uji *CBR* pada benda uji setelah pemeraman.

3. Uji Pemadatan Tanah Standar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air optimum (w_{opt}) dan berat kering maksimum (γ_{dmax}).

Langkah kerja (SNI 1742 : 2008) :

- 1) Menghamparkan sampel tanah hingga kering.
- 2) Mengayak tanah dengan saringan No.200.
- 3) Mengambil sampel tanah sebanyak 25 kg yang lolos saringan No.200, 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 sebanyak 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 dan melakukan penambahan air dengan selisih 3%.
- 7) Menimbang *mold* beserta diameter dan tingginya.

- 8) Memasag *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 dan suhu pemeraman dan yang telah ditentukan.

4. Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekokohan lapisan permukaan tanah. Nilai *CBR* yang diperoleh dapat dipakai untuk menentukan tebal lapisan suatu perkerasan yang diperlukan di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*).

Langkah kerja (SNI 1744 : 2012) :

- 1) Meletakkan *mold* berisi sampel tanah yang telah dipadatkan 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 memasukkan ke dalam oven selama 24 jam.
- 7) Menimbang kembali sampel tanah yang telah dioven selama 24 jam.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian mengenai penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah lunak yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini termasuk ke dalam jenis tanah lempung berplastisitas tinggi dengan penilaian umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk berdasarkan klasifikasi *AASHTO* dan *USCS*.
2. Tanah yang telah ditambahkan berbagai variasi kadar *fly ash* menunjukkan perubahan nilai batas konsistensi, ditandai dengan menurunnya nilai batas cair dan batas plastis yang berpengaruh pada nilai indeks plastisitas yang menurun secara signifikan.
3. Penambahan *fly ash* pada tanah lunak mengakibatkan peningkatan nilai kadar air optimum dan penurunan berat volume kering maksimum. Akan tetapi, peningkatan waktu dan suhu pemeraman menyebabkan penurunan nilai kadar air optimum dan peningkatan nilai berat volume kering maksimum.

4. Dengan kondisi suhu pemeraman 40°C dengan waktu pemeraman selama 7 hari, didapat nilai *CBR* terbesar yaitu 25,01% pada kadar penambahan *fly ash* sebesar 10%
5. Saat di lapangan, faktor suhu dan kadar penambahan *fly ash* sangat mempengaruhi nilai *CBR* yang didapat.

B. Saran

Dalam rangka meningkatkan kualitas penelitian, penyusun mempunyai beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengujian mengenai kandungan mineral pada tanah dan *fly ash*.
2. Perlu dilakukan pengontrolan suhu pemeraman secara teratur.
3. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan mempertimbangkan parameter kekuatan tanah yang berbeda seperti kuat geser tanah untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah menggunakan *fly ash* dengan suhu pemeraman yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amadi, A. (2010). Evaluation of Changes in Index Properties of Lateritic Soil Stabilized with Fly Ash. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 9(17), 69–78.
- American Coal Ash Association. (2013). Fly Ash Facts for Highway Engineers. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Apriyanti, Y., & Hambali, R. (2014). Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar. *Fropil*, 2(2), 151–162.
- ASTM M 145. (1991). *Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah. *SNI 3423 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah. *SNI 1742 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. *SNI 1967 : 2008*
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. *SNI 1966 : 2008*
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. *SNI 1965 : 2008*
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji. *SNI 03-3637-1994*.

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). Metode Uji CBR Laboratorium. *SNI 1744 : 2012*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Uji Berat Jenis Tanah. *SNI 1964 : 2008*
- Beeghly, J. H. (2003). Recent Experiences with Lime – Fly Ash Stabilization of Pavement Subgrade Soils, Base, and Recycled Asphalt. *International Ash Utilization Symposium, 20-22 October*, 1–18.
<http://www.flyash.info/2003/46beeg.pdf>
- 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.
- Budi, G. S., Cristanto, A., & Setiawan, E. (2003). Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Civil Engineering Dimension*, 5(1), 20–24.
- California Department of Transportation. (2010). Soil and Rock Logging, Classification, and Presentation Manual.
- Cho, H., Oh, D., & Kim, K. (2005). A Study on Removal Characteristics of Heavy Metals from Aqueous Solution by Fly Ash. *Journal of Hazardous Materials*, 127(1–3), 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.019>
- Darwis. (2017). *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah*.
- Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions. (2019). In *Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions*.
<https://doi.org/10.1016/c2018-0-01307-9>
- 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.
- Hardiyatmo, H. . (1993). *Mekanika Tanah 1*.

- Hatmoko, J. T., & Suryadharma, H. (2018). Pengaruh Temperatur Pemeraman Pada Perilaku Geser Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Semen. *Cantilever*, 7(2). <https://doi.org/10.35139/cantilever.v7i2.70>
- Ibrahim. (2014). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Bahan Aditif Fly Ash sebagai Lapisan Pondasi Dasar Jalan (Subgrade). *Jurnal Teknik Sipil Pilar*, 10(1), 1–9.
- Indera K, R., Mina, E., & Rahman, T. (2016). Stabilisasi Tanah dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). *Jurnal Fondasi*, 5(1).
- Jafer, H. M., W.Atherton, & Ruddock, F. M. (2015). Soft Soil Stabilisation using High Calcium Waste Material Fly Ash. *12th International Post-Graduate Research Conference, February 2017*, 847–857.
- Jauhari, Z., Fauzi, A., & Fauzi, U. J. (2013). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Bahan Stabilisasi Tanah Dasar Konstruksi Jalan yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Tekno Global*, II(1), 57–63.
- Nath, B. D., Molla, M. K. A., & Sarkar, G. (2017). Study on Strength Behavior of Organic Soil Stabilized with Fly Ash. *International Scholarly Research Notices*, 2017, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2017/5786541>
- Senol, A., Edil, T. B., Bin-Shafique, M. S., Acosta, H. A., & Benson, C. H. (2006). Soft Subgrades' Stabilization by Using Various Fly Ashes. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(4), 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.08.005>
- Setyono, E., Wirasetiyo, K., & Sunarto. (2018). The Effect of Added Fly Ash Againsts Expensive Clay Soil Characteristics. *Media Teknik Sipil*, 16(1), 29–34.
- Seyrek, E. (2018). Engineering Behavior of Clay Soils Stabilized with Class C and Class F Fly Ashes. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 25(2), 273–287. <https://doi.org/10.1515/secm-2016-0084>

- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage. *Jurnal Teknik Institut Teknologi Nasional*, 2(4), 44–55.
- Tastan, E. O., Edil, T. B., Benson, C. H., & Aydilek, A. H. (2011). Stabilization of Organic Soils with Fly Ash. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(9), 819–833.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0000502](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000502)
- Turan Javadi, A., Vinai, R., Cuisinier, O., Russo, G., & Consoli, N. C., C. (2019). *Mechanical Properties of Calcareous Fly Ash Stabilized Soil*. June. internal-pdf://0865483319/EuroCoalAsh2019Cananetal.pdf
- Wardoyo, Sarwondo, Destiasari, F., Wahyudin, Wiyono, Hasibuan, G., Sollu, W.P. (2019). Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- WSP International. (2001). Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak. *Pusat Litbang Prasarana Transportasi*.