JURNAL REKAYASA SIPIL DAN DESAIN

JURNAL REKAYASA SIPIL DAN DESAIN

JRSDD (Journal Rekayasa Sipil Dan Desain) P-ISSN: 2303-0011 (Print); E-ISSN: 2715-0690 (Online) - is a journal managed by the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Lampung and published by the University of Lampung. JRSDD is published periodically (4 times a year) in March, June, September and December.

JRSDD is free (open access) for all readers. The articles in JRSDD cover developments and research in the field of Civil Engineering (theoretical studies, experiments, and their application). For more details on Focus and Scope.

JRSDD also carries a section on Comments and Critics, which provides a forum to express various points of view, comments, clarifications, and corrections to misunderstandings about topics in published papers. Journal readers are sincerely invited to contribute their ideas to this forum. Contributions to the Comments and Critics section should be relatively brief, usually 8 to twelve pages of manuscripts, one column, written in Indonesian and English, and will be published as soon as possible.

Publisher

Department of Civil Engineering

Engineering Faculty

University of Lampung

Website: http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd

Email: jurnal.rekayasa.sdd@gmail.com

Copyright (c) JRSDD (Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain)
P-ISSN: 2303-0011 (Print); E-ISSN: 2715-0690 (Online)

JOURNAL REKAYASA SIPIL DAN DESAIN(JRSDD)

ABOUT THE JOURNAL

PEOPLE

- Contact
- Editorial Team

POLICIES

- Section Policies
- Open Access Policy

SUBMISSIONS

- Online Submissions
- Privacy Statement

OTHER

- Site Map
- About this Publishing System

Publisher

Department of Civil Engineering

Engineering Faculty

University of Lampung

Website: http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd

Email: jurnal.rekayasa.sdd@gmail.com

Copyright (c) JRSDD (Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain)
P-ISSN: 2303-0011 (Print); E-ISSN: 2715-0690 (Online)

JOURNAL REKAYASA SIPIL DAN DESAIN(JRSDD)

EDITORIAL TEAM

EDITORS

ahmad zakaria
Mr. Suyanto Suyanto, Indonesia
Mr. hadi Ali, Indonesia

Publisher

Department of Civil Engineering

Engineering Faculty

University of Lampung

Website: http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd

Email: jurnal.rekayasa.sdd@gmail.com

Copyright (c) JRSDD (Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain)
P-ISSN: 2303-0011 (Print); E-ISSN: 2715-0690 (Online)

JOURNAL REKAYASA SIPIL DAN DESAIN(JRSDD)

JOURNAL CONTACT

MAILING ADDRESS

jurnal.rekayasa.sdd@gmail.com

PRINCIPAL CONTACT

Ahmad Zakaria, Ph.D.
admin
Universitas Lampung
Email: ahmad.zakaria@eng.unila.ac.id

SUPPORT CONTACT

Ahmad Zakaria, Ph.D.
Email: ahmad.zakaria@eng.unila.ac.id

Publisher

Department of Civil Engineering

Engineering Faculty

University of Lampung

Website: http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd

Email: jurnal.rekayasa.sdd@gmail.com

Copyright (c) JRSDD (Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain)
P-ISSN: 2303-0011 (Print); E-ISSN: 2715-0690 (Online)

JOURNAL REKAYASA SIPIL DAN DESAIN(JRSDD)

VOL 9, NO 3 (2021)

EDISI SEPTEMBER 2021

TABLE OF CONTENTS

MAKALAH ILMIAH EDISI SEPTEMBER 2021

Studi Kasus Pada Ruas Jalan Kecamatan Batu Ketulis Lampung Barat dengan Menggunakan Analisis Komputasi dan Metode Penanganannya — PDF Hal. 397 - 410
M Lucky Apriansyah Nawawi, I Iswan, Ahmad Zakaria

Analisis Perubahan Kinerja Lalu Lintas Selama Masa New Normal Akibat Pandemi Covid-19 (Studi Kasus JL. R.A. Kartini) — PDF Hal. 411 - 424
Resty Jenni Ultriyani, Rahayu Sulistyorini, Siti Anugrah Mulya Putri Ofrial

Analisis Karakteristik dan Kebutuhan Parkir di Pasar Bambu Kuning Bandar Lampung — PDF Hal. 425 - 436
agung prambudi, Rahayu Sulistyorini, Sasana Putra

Analisis Potensi Kerentanan dan Risiko Bencana di Wilayah Kabupaten Tanggamus — PDF Hal. 437 - 448
Revi Melianita, Andius Dasa Putra, Aminudin Syah

Analisis Dampak Terminal Bayangan Terhadap Kinerja Lalu Lintas di Bundaran Tugu Radin Intan Rajabasa Ruas Jalan Soekarno Hatta - Natar — PDF Hal. 449 - 460
Riyan Heriadi, Dwi Herianto, Rahayu Sulistyorini

Potensi dan Nilai Indeks Kerawanan Bencana Alam di Kabupaten Lampung Selatan — PDF Hal. 461 - 470
Fitri Indah Sari, Andius D. Putra, Aminudin Syah

Analisis Nilai Indeks Kerawanan Bencana Kabupaten Lampung Barat — PDF Hal. 471 - 480
Nabila H, Andius D Putra, Aminudin Syah

Analisis Indeks Risiko dan Potensi Kebencanaan (Studi untuk Wilayah Kabupaten Lampung Tengah) — PDF Hal. 481 - 490
Halsa Dinar Pangestu, Andius Dasa Putra, Aminudin Syah

Analisis Solusi Kemacetan pada Simpang Sebidang Kereta Api Jalan Urip Sumoharjo — PDF Hal. 491 - 502
Raditya Eros Witantra Hutapea, Dwi Herianto, Amril Ma'ruf Siregar

Perbandingan Analisis Data Curah Hujan yang Hilang di Daerah Lampung Barat dengan Menggunakan Metode Normal Ratio, Rata-Rata Aljabar, Inversed Square Distance, dan Modified Method — PDF Hal. 503 - 512
Winda Maria Rebecca Gultom, Ahmad Zakaria, Dyah Indriana Kusumastuti

The effect of El Nino and La nina on the rain data of Lampung Barat Regency, Lampung Province — PDF Hal. 513 - 522
Fajar Hartantio, Ahmad Zakaria, Dyah Kusumastuti

Analisis Perbandingan Kedalaman Gerusan Lokal (Local Souring) Di Hilir Bangunan Pelimpah (Ogee and Stepped Spillway) Dengan Model Fisik 2D — PDF Hal. 523 - 532
Eko Adi Saputra, Endro Prasetyo Wahono, Ahmad Zakaria

Pengaruh Suhu Pemeraman terhadap Kinerja Fly Ash untuk Tanah Lempung Lunak — PDF Hal. 533 - 546
Septriza Auli, Andius Dasa Putra, Aminudin Syah, Iswan Iswan

Kinerja Fly Ash terhadap Stabilisasi Tanah Lunak sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (Subgrade) — PDF Hal. 547 - 558
Nanda Dwi Wahyuni, Andius Dasa Putra, Aminudin Syah, Iswan Iswan

Analisis Data Curah Hujan yang Hilang dengan Menggunakan Metode Normal Ratio, Inversed Square Distance, Rata - Rata Aljabar dan Metode Modifikasi — PDF Hal. 559 - 570
Rizki Lazuardi Prasetio, Ahmad Zakaria, Ashruri Ashruri, Sumiharni Sumiharni

Hubungan Pengujian Cbr Metode Tumbukan Dengan Alat Uji Cbr Metode Tekanan Berdasarkan Uji Pemadatan Standard — PDF Hal. 571 - 580
Devrisvansyah Irwan, Andius Dasa Putra, Aminudin Syah, Iswan Iswan

Simulasi Tampungan Bendungan Sukamahi, Kecamatan Megamendung Kabupaten Bogor — PDF Hal. 581 - 592
Ayu Kurniasih, Endro P Wahono, Ahmad Zakaria, Opik Taufik Purwadi

Publisher

Department of Civil Engineering

OPEN JOURNAL SYSTEMS

Journal Help

USER
Username
Password
Remember me
Login

NOTIFICATIONS
View
Subscribe

JOURNAL CONTENT
Search
Search Scope
All
Search

Browse
By Issue
By Author
By Title
Other Journals

FONT SIZE

INFORMATION
For Readers
For Authors
For Librarians

JRSDD, Edisi September 2021, Vol.9, No.3, Hal:533-546(p-ISSN:2303-0011)(e-ISSN:2715-0690)

Pengaruh Suhu Pemeraman terhadap Kinerja *Fly Ash* untuk Tanah Lempung Lunak

Septriza Auli [1)]
Andius D. Putra [2)]
Aminudin Syah [3)]
Iswan [4)]

Abstract

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

Abstrak

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*.

[1)] Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: septriza.auli1076@students.unila.ac.id
[2)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.
[3)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.
[4)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang sebagian besar ukuran butirannya sangat kecil seperti lempung dan lanau. Tanah lunak memiliki sifat kemampatan yang tinggi serta koefisien permeabilitas dan gaya geser yang rendah (Siska & Yakin, 2016). 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. 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).

Salah satu bahan kimia yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lunak yaitu *fly ash*. *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 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. 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. 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.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian 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.

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.

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.

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

2.2. 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*).

2.2.1. *Unified Soil Classification* (*USCS*) USCS mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, dan sifat-sifat butiran halus yang dikandungnya (WSP *International*, 2001). Kategori utama pengelompokkan tanah pada *USCS* antara lain tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah dengan kadar organik tinggi

2.2.2. *American Association of State Highway and Transportation* (*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).

2.3. 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 lapisan tanah lunak memiliki sifat kemampatan 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. 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).

2.4. *Index Properties* Tanah

Index properties tanah menunjukkan sifat- sifat tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis (*engineering properties*). *Index properties* tanah antara lain kadar air, berat volume, batas-batas Atterberg, dan distribusi ukuran partikel.

2.5. *Engineering Properties* Tanah

2.5.1. Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan 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 pemadatan tanah di laboratorium, baik dengan metode *standard proctor* maupun *modified proctor.*

2.5.2. *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 metode penentuan tebal bagian perkerasan perencanaan perkerasan lentur jalan raya dan lapangan terbang.

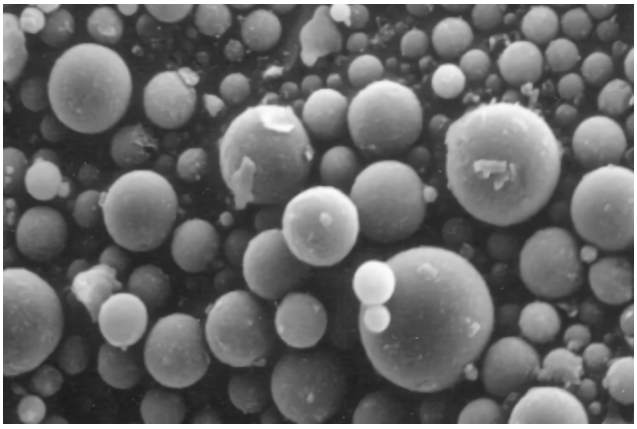
2.6. Stabilisasi Tanah

Usaha stabilisasi tanah perlu dilakukan ketika tanah di lapangan memiliki sifat sangat lepas 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. Adapun metode-metode stabilisasi yang dikenal adalah :

a. Stabilisasi mekanis yang merupakan penambahan kekuatan atau daya dukung tanah melalui sistem pemadatan.

b. Stabilisasi kimia yang merupakan penambahan bahan stabilisasi guna mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah.

2.7. Stabilisasi Tanah dengan *Fly Ash*



Gambar 1. Partikel *fly ash* dengan perbesaran 2000 kali.

Fly ash (Gambar 1) merupakan polutan padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik. Menurut SNI 2460 : 2016, *fly ash* dibagi menjadi tiga kelas yaitu *fly ash* kelas F yang merupakan *fly ash* yang mengandung kadar kalsium oksida lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara, *fly ash* kelas C yang merupakan *fly ash* yang mengandung kadar kalsium oksida di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara, serta *fly ash* kelas N merupakan *pozzolan* alam mentah atau telah dikalsinasi.

Fly ash dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi 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*.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Sampel tanah yang akan diuji berasal dari daerah Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan 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.

3.2. Pelaksanaan Pengujian

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

Gambar 2. Pemeraman pada suhu 40°C.

a. Uji *index properties* tanah yang meliputi uji kadar air, berat spesifik, batas-batas Atterberg, dan distribusi ukuran partikel.

b. Uji pemadatan tanah standar

c. Uji *CBR* (*California Bearing Ratio*)

Adapun proses pencampuran tanah dan *fly ash* dilakukan sebagai berikut :

a. *Fly ash* dicampur dengan sampel tanah yang telah ditumbuk dan lolos saringan No.200 dengan kadar campuran 0%, 5%, 10%, dan 15%.

b. Sampel tanah dan *fly ash* yang telah tercampur dipadatkan menggunakan *Standard Proctor.*

c. Setelah benda uji dipadatkan, dilakukan pemeraman dengan siklus 0 hari, 7 hari, dan 14 hari dengan suhu pemeraman dipertahankan 40°C (Gambar 2).

d. Melakukan uji *CBR* pada benda uji setelah pemeraman.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Uji *Index Properties* Tanah

Hasil pengujian *index properties* tanah asli tercantum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Uji *Index Properties* Tanah Asli

No.	Pengujian	Hasil
1.	Kadar Air (*w*)	21,95%
2.	*Specific Gravity* (*Gs*)	2,60
3.	Batas Plastis (*PL*)	24,85%
4.	Batas Cair (*LL*)	53,04%
5.	Indeks Plastisitas (*PI*)	28,19%
6.	Persen Lolos Saringan No.200	72,15%

4.2. Klasifikasi Tanah

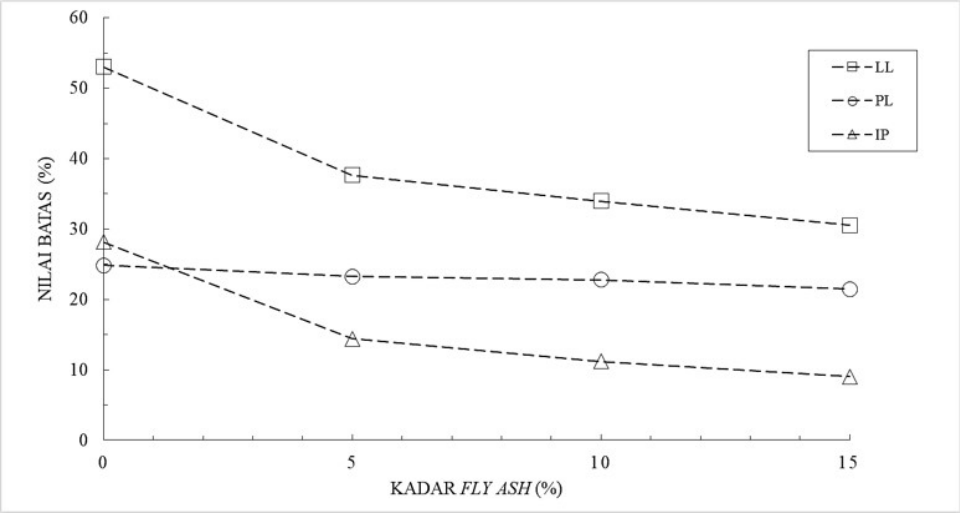
Berdasarkan data pada Tabel 1 didapat nilai batas cair (LL) sebesar 53,04% dan nilai batas plastis (PL) sebesar 28,19%, sehingga pada diagram klasifikasi berdasarkan sistem AASHTO tanah termasuk ke dalam jenis A-7-6 dengan penilaian umum sebagai tanah dasar yaitu sedang sampai buruk. Sedangkan pada diagram plastisitas berdasarkan *USCS* tanah termasuk ke dalam jenis tanah lempung berplastisitas tinggi (*CH*).

4.3. Batas-batas Atterberg Campuran Tanah dan *Fly Ash*

Berdasarkan pengujian batas-batas Atterberg campuran tanah dan *fly ash,* didapat hasil sebagaimana tercantum pada Tabel 2. Secara berurutan, grafik hubungan antara nilai batas cair (*LL*), hubungan antara nilai batas plastis (*PL*) dengan variasi kadar *fly ash* ditunjukkan dan hubungan antara nilai indeks plastisitas (*PI*) dengan variasi kadar *fly ash* ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai batas cair dan batas plastis mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar penambahan *fly ash.* Hal tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai indeks plastisitas yang juga mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi sebab tanah dan *fly ash* mengalami proses sementasi yang memperkecil gaya tarik menarik antar partikel dalam tanah.

Tabel 2. Hasil Uji Batas-batas Atterberg

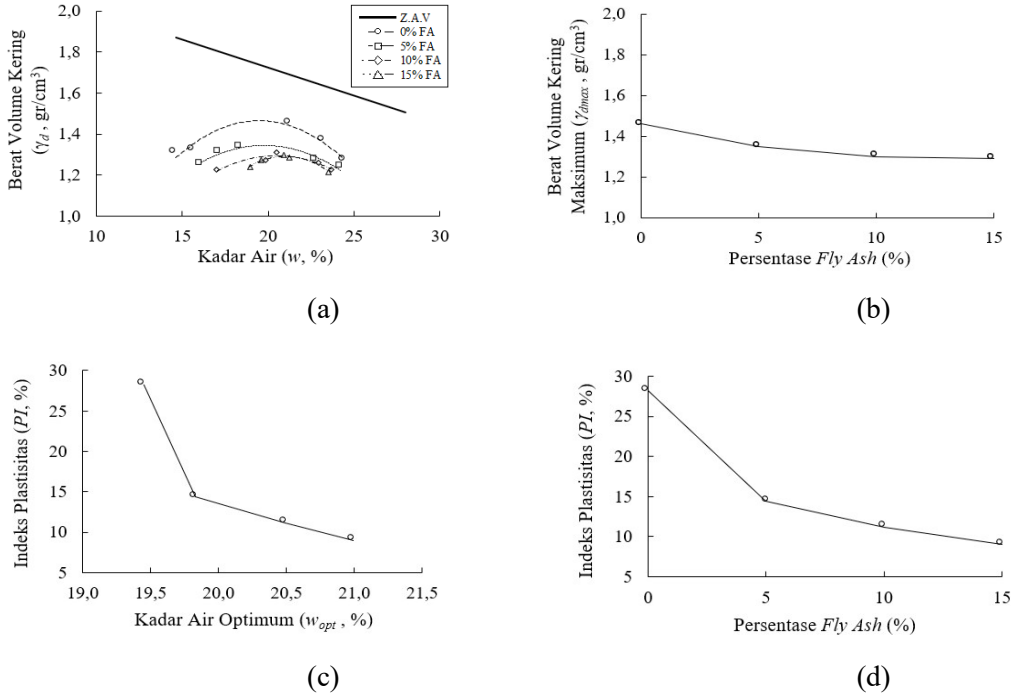
	LL (%)	*PL* (%)	*PI* (%)
Tanah Asli	53,04	24,85	28,19
Tanah + 5% *Fly Ash*	37,68	23,28	14,40
Tanah + 10% *Fly Ash*	33,95	22,77	11,18
Tanah + 15% *Fly Ash*	30,51	21,49	9,02

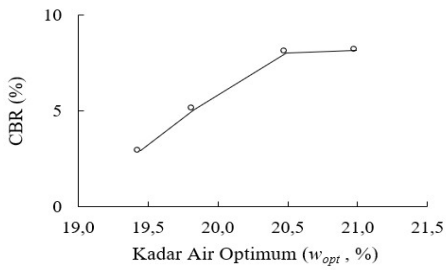


Gambar 3. Grafik Batas-batas Atterberg campuran tanah dan *fly ash*

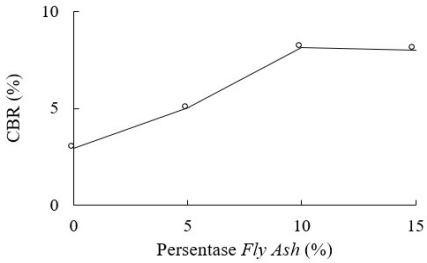
4.4. Pengujian Campuran Tanah dan *Fly Ash* Pada Kondisi Suhu Pemeraman 40°C

4.4.1. Tanpa Pemeraman





(e)



(f)

Gambar 4. Grafik pengujian campuran tanah dan *fly ash* tanpa pemeraman.

Gambar 4(a) merupakan grafik hubungan berat volume kering dengan kadar air yang didapat dari uji pemadatan tanah standar. Dapat dilihat pada grafik bahwa kadar air optimum meningkat secara bertahap seiring dengan penambahan *fly ash*. Hal ini disebabkan karena semakin banyak kadar *fly ash* yang ditambahkan, semakin banyak pula air yang diserap oleh *fly ash* untuk mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak melalui reaksi pertukaran kation. Kandungan *fly ash* juga mengurangi kuantitas lumpur dan fraksi tanah lempung sehingga membentuk partikel yang lebih kasar dan menempati ruang yang lebih besar untuk mempertahankan air.

Pada Gambar 4(b), berat volume kering tanah asli mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan penambahan kadar *fly ash.* Hal ini disebabkan karena *fly ash* bertindak sebagai stabilisator mekanis dengan mengganti sebagian volume partikel tanah lempung sehingga terjadi perubahan gradasi campuran tanah yang kemudian dikaitkan dengan proses aglomerasi dan flokulasi partikel tanah melalui reaksi pertukaran kation. Penurunan berat volume kering maksimum dianggap cukup menguntungkan sebab dapat mengurangi upaya pemadatan di lapangan.

Indeks plastisitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar air optimum dan persentase penambahan kadar *fly ash* terlihat pada Gambar 4(c) dan Gambar 4(d). Hal ini disebabkan karena *fly ash* mengandung beberapa ion kalsium yang dapat mengurangi muatan permukaan partikel tanah lempung. Pada proses pertukaran kation antara tanah dan *fly ash,* terjadi reaksi sementasi yang dapat memperkecil gaya tarik menarik antar partikel dalam tanah.

Gambar 4(e) dan 4(f) menunjukkan adanya peningkatan nilai *CBR* seiring dengan penambahan kadar *fly ash* dan kadar air optimum. Hal ini disebabkan oleh adanya pembesaran partikel sehingga bidang kontak antar partikel semakin besar dan *fly ash* dapat bercampur dengan baik untuk mengisi rongga-rongga tanah sehingga menghasilkan komposisi tanah yang lebih padat.

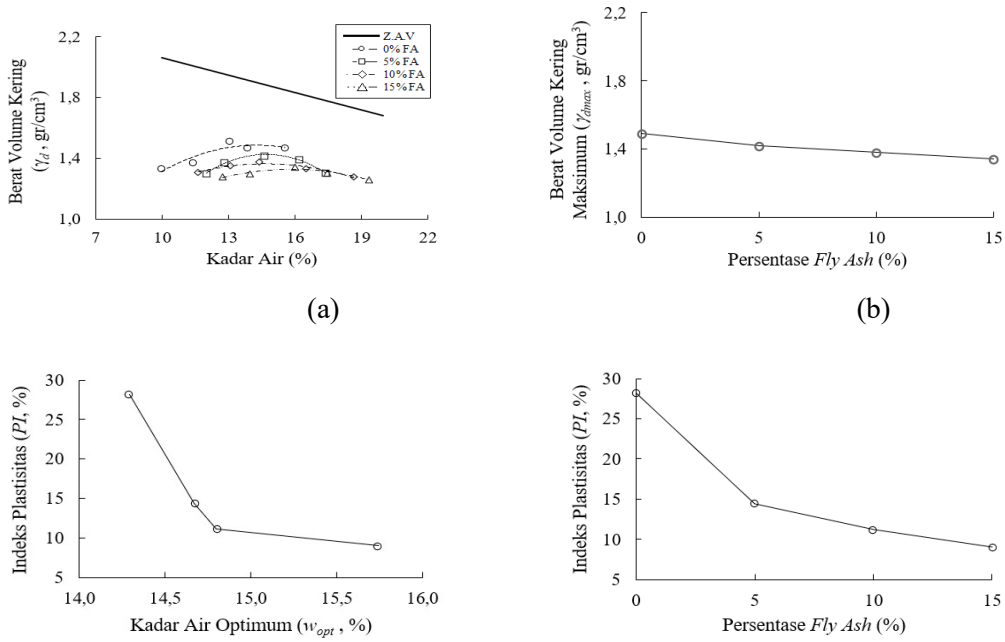
4.4.2. Pemeraman 7 Hari Gambar di atas merupakan grafik pengujian campuran tanah dan *fly ash* pada kondisi suhu pemeraman 40°C selama 7 hari. Pada Gambar 5(a), terlihat bahwa kadar air optimum

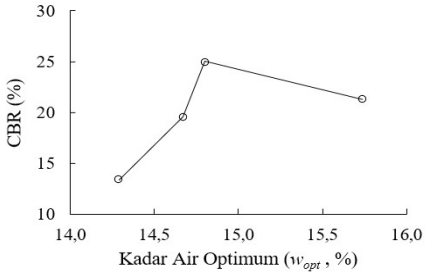
meningkat secara bertahap seiring dengan meningkatnya kadar *fly ash*. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan hasil pengujian campuran tanah dan *fly ash* tanpa pemeraman, kadar air optimum mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pengaruh waktu dan suhu pemeraman, semakin lama waktu dan semakin tinggi suhu pemeraman maka kadar air optimum akan menurun.

Berat volume kering maksimum mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan penambahan kadar *fly ash,* terlihat pada Gambar 5(b). Akan tetapi, nilai berat volume kering mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya lama dan suhu pemeraman. Hal ini dikarenakan campuran tanah dan *fly ash* kehilangan kandungan air akibat pemanasan pada suhu 40°C selama pemeraman.

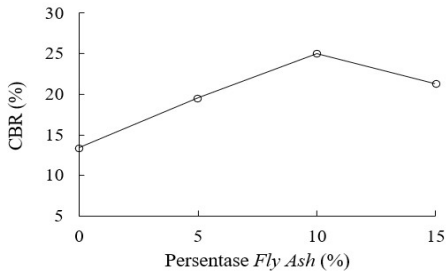
Dapat dilihat pada Gambar 5(c) dan Gambar 5(d) bahwa indeks plastisitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar air optimum dan persentase penambahan *fly ash*.

Gambar 5(e) dan 5(f) menunjukkan adanya peningkatan nilai *CBR* secara signifikan seiring dengan penambahan kadar *fly ash* dan kadar air optimum. Akan tetapi, pada penambahan kadar *fly ash* sebesar 15%, nilai *CBR* mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan suhu pemeraman yang lebih tinggi mengakibatkan terjadinya transformasi air pori menjadi air terikat akibat partikel campuran tanah dan *fly ash* yang terhidrasi selama reaksi sementasi menjadi lebih cepat, sehingga dapat memperbesar tingkat kegagalan rapuh campuran tanah dan *fly ash.*





(e)



(f)

Gambar 5. Grafik pengujian campuran tanah dan *fly ash* variasi pemeraman 7 hari pada suhu pemeraman 40°C.

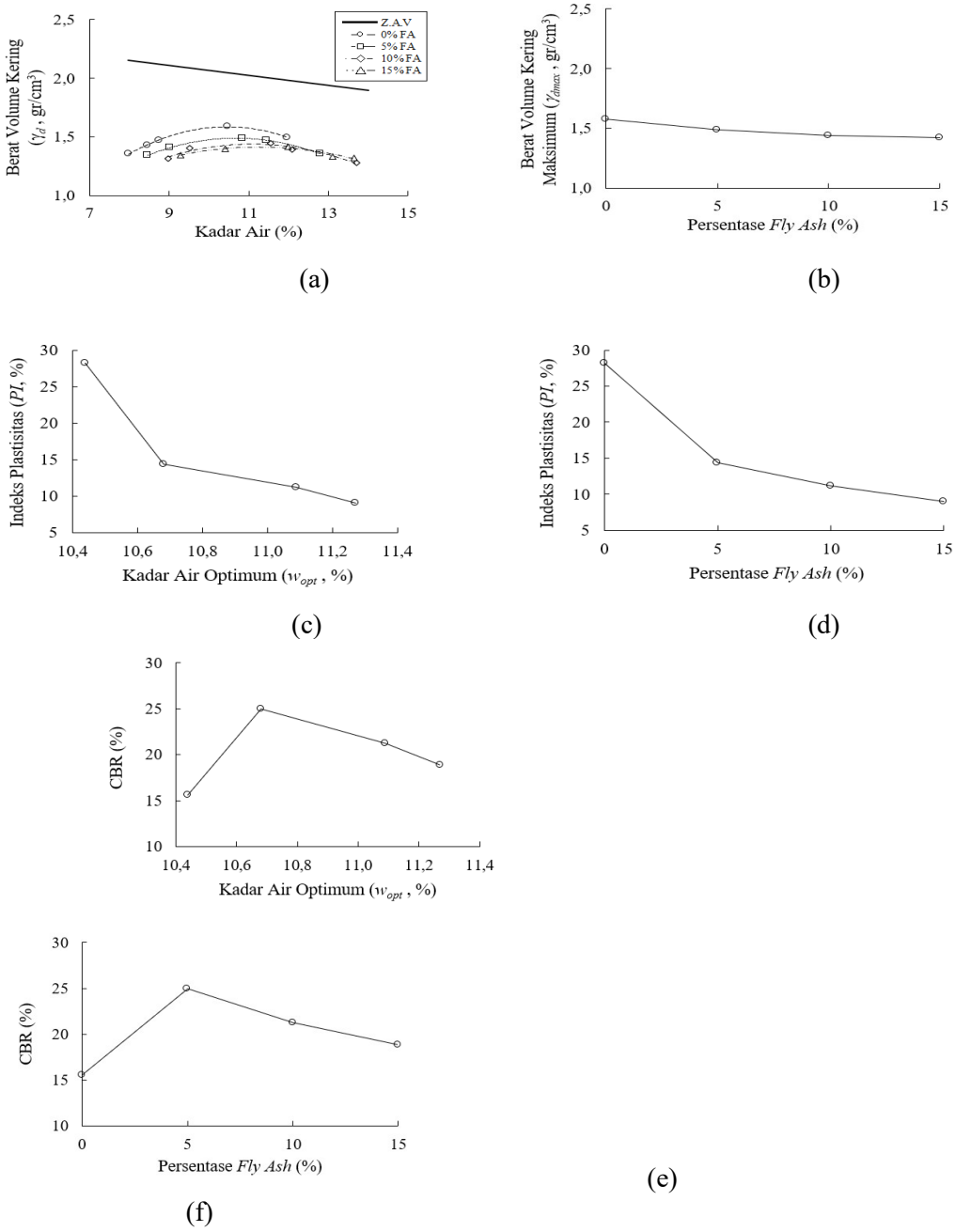
4.4.3. Pemeraman 14 Hari

Gambar 6(a) menunjukkan adanya peningkatan kadar air optimum seiring dengan meningkatnya kadar *fly ash*. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan variasi pemeraman 7 hari dengan suhu pemeraman 40°C, kadar air optimum mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pengaruh waktu dan suhu pemeraman, semakin lama waktu dan semakin tinggi suhu pemeraman maka kadar air optimum akan menurun.

Pada Gambar 6(b), berat volume kering maksimum mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan penambahan kadar *fly ash*, akan tetapi mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya waktu dan suhu pemeraman.

Batas-batas Atterberg berperan penting dalam memberikan indikasi tentang perilaku tanah ketika dipengaruhi air. Dapat dilihat pada Gambar 6(c) dan Gambar 6(d) bahwa indeks plastisitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar air optimum dan persentase penambahan *fly ash*. Oleh karena itu, *fly ash* dapat meningkatkan kinerja tanah dengan menurunkan indeks plastisitas sehingga potensi terjadinya kembang susut tanah dapat diminimalisir.

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai *CBR* secara signifikan pada tanah tanpa penambahan *fly,* terlihat pada Gambar 6(e) dan 6(f). Akan tetapi nilai *CBR* mengalami penurunan secara bertahap pada penambahan kadar *fly ash* sebesar 10% dan 15%. Pada waktu pemeraman yang lebih lama dan suhu pemeraman yang lebih tinggi, terjadi reaksi sementasi yang lebih cepat. Sehingga semakin lama waktu pemeraman, semakin tinggi jumlah kristal yang mengeras dari partikel campuran tanah dan *fly ash* yang terhidrasi dan menghasilkan transformasi volume air pori yang lebih besar ke air terikat, sehingga kristal campuran tanah dan *fly ash* akan berperilaku rapuh.



Gambar 6. Grafik pengujian campuran tanah dan *fly ash* variasi pemeraman 14 hari pada suhu pemeraman 40°C.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian mengenai penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah lunak dapat disimpulkan sebagai berikut: a.

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.* b. 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.

c. 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. d. 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%.

e. Saat di lapangan, faktor suhu dan kadar penambahan *fly ash* sangat mempengaruhi nilai *CBR* yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

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.

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. 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.

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.

Lu, Y.T., Tan, T.S., Phoon, K. K., 2011. Curing Temperature on Strength Development of Cement Treated Singapore Marine Clay: A Discussion on Arrhenius Equation Based Maturity Model and Its Application. Proceeding Advances in Ground Technology and Geo-Information, 261–269.

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.

WSP International, 2001. Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak. Pusat Litbang Prasarana Transportasi.