

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENCAMPURAN *FLY ASH* TERHADAP NILAI DAYA
DUKUNG TANAH DASAR DI DESA MINTIN KABUPATEN PULANG
PISAU**

Oleh

MUHAMAD DWITIYONO

NIM. DAB 112 067



JURUSAN / PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

PALANGKA RAYA

2020

SUMMARY

THE EFFECT OF FLY ASH MIXING TO THE LAND BASIS VALUES SUPPORT IN PULANG PISAU DISTRICT, MINTIN VILLAGE, Muhamad Dwitiyono, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya, Palangka Raya, 2020.

The subgrade conditions in Central Kalimantan Province are generally soft soils that have a small soil carrying capacity such as clay and silt. The soft soil is not able to carry the burdens continuously. These soil conditions can cause damage to road construction such as waves, and the destruction of the road body. To minimize this damage and increase the carrying capacity of the soil, efforts can be made to stabilize the soil. There are many methods to improve soil properties, one way to improve subgrade to increase the CBR value is to modify existing soil with additives. In this case soil mixing with fly ash is carried out. Fly ash is a material resource that has not been used optimally so it needs to be processed first with simple combustion that can be used as a stabilizing material for subgrade. This study aims to determine the extent of the influence of fly ash material used as a stabilizing material for subgrade that can increase the carrying capacity of land in Mintin Village Pulang Pisau Regency and to find out the optimum percentage of fly ash to produce the maximum CBR value.

The subgrade stabilization material used was fly ash from Mintin Village, Pulang Pisau Regency. This fly ash is then mixed with the subgrade originating from the Mintin village in Pulang Pisau District, with a mixed planning method using trial and error, with the addition of fly ash percentage of 5%, 7.5%, and 10% of mixed weight. Data analysis on the results of the study used Variant analysis to determine the effect of adding fly ash to the CBR value of subgrade.

Based on the examination of the original physical properties, AASHTO classified subgrade as clay in groups A-6 (4) and USCS classifies as inorganic clay with low plasticity to moderate soil into CL group. Analysis of the data based on the analysis of variance states that the addition of fly ash has a significant influence on the CBR value for the improvement of subgrade. For native soil with optimum water content, the addition of fly ash by 0% during curing period of 0 days obtained a CBR max value of 3.20%. For mixed soil with optimum water content the addition of fly ash of 5%, 7.5%, 10% during the curing period of 3 days obtained CBRmax values of 4,52%, 5,04%, 5,28%. For mixed soil with optimum water content the addition of fly ash of 5%, 7.5%, 10% during the 7-day curing period obtained CBRmax values of 5,38%, 6,16%, 6,40%.

Keywords : *Stabilization, Subgrade, Fly Ash, CBR.*

RINGKASAN

PENGARUH PENCAMPURAN *FLY ASH* TERHADAP NILAI DAYA DUKUNG TANAH DASAR DI DESA MINTIN KABUPATEN PULANG PISAU, Muhamad Dwitiyono, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, 2020.

Kondisi tanah dasar di Provinsi Kalimantan Tengah pada umumnya merupakan tanah lunak yang memiliki daya dukung tanah yang kecil seperti lempung dan lanau. Tanah lunak tersebut tidak mampu memikul beban – beban secara terus menerus. Kondisi tanah tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada konstruksi jalan seperti gelombang, dan hancurnya badan jalan. Untuk memperkecil kerusakan tersebut dan meningkatkan daya dukung tanah dapat dilakukan usaha stabilisasi tanah. Terdapat banyak metode untuk memperbaiki sifat – sifat tanah, salah satu cara memperbaiki tanah dasar untuk meningkatkan nilai CBR adalah dengan memodifikasi tanah yang ada dengan bahan tambah aditif. Dalam hal ini dilakukan pencampuran tanah dengan *fly ash*. *Fly ash* merupakan salah satu sumber daya material yang belum dimanfaatkan secara optimal sehingga perlu diproses terlebih dahulu dengan pembakaran sederhana dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah dasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh material *fly ash* yang dipakai sebagai bahan stabilisasi tanah dasar yang dapat meningkatkan daya dukung tanah pada Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau dan mengetahui persentase *fly ash* yang optimum untuk menghasilkan nilai CBR yang maksimum.

Bahan stabilisasi tanah dasar yang digunakan adalah *fly ash* dari desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau. *Fly ash* ini selanjutnya dicampur dengan tanah dasar yang berasal dari desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau, dengan metode perencanaan campuran menggunakan metode coba – coba (*trial and error*), dengan persentase penambahan *fly ash* sebesar 5%, 7,5%, dan 10% dari berat campuran. Analisis data terhadap hasil penelitian menggunakan analisis varian untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR tanah dasar,

Berdasarkan pemeriksaan sifat fisik asli, AASHTO mengklasifikasikan tanah dasar sebagai tanah berlempung dalam kelompok A-6 (4) dan USCS mengklasifikasikan sebagai tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang tanah masuk kedalam kelompok CL. Analisis data berdasarkan analisis varian menyatakan bahwa penambahan *fly ash* memberikan pengaruh nyata terhadap nilai CBR untuk perbaikan tanah dasar. Untuk tanah asli dengan kadar air optimum penambahan *fly ash* sebesar 0% pada masa pemeraman 0 hari diperoleh nilai CBR_{maks} sebesar 4,02%. Untuk tanah campuran dengan kadar air optimum penambahan *fly ash* sebesar 5%, 7,5%, 10% pada masa pemeraman 3 hari diperoleh nilai CBR_{maks} sebesar 4,52%, 5,04%, 5,28%. Untuk tanah campuran dengan kadar air optimum penambahan *fly ash* sebesar 5%, 7,5%, 10% pada masa pemeraman 7 hari diperoleh nilai CBR_{maks} 5,38%, 6,16%, 6,40%.

Kata kunci : Stabilisasi, Tanah Dasar, *Fly Ash*, CBR.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena limpahan berkat dan karunia-Nya, sehingga Proposal Tugas Akhir saya yang berjudul “**PENGARUH PENCAMPURAN *FLY ASH* TERHADAP NILAI DAYA DUKUNG TANAH DASAR DI DESA MINTIN KABUPATEN PULANG PISAU**” ini dapat diselesaikan. Proposal Tugas Akhir disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi Program Strata-1 Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya (UPR).

Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu **Frieda, S.T., M.T.** selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak **Dr. Sutan P. S., S.T., M.T.** selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak **Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T.** selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak **Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T.** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
6. Ibu **Murniati, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Ibu **Dr. Fatma Sarie, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing dan Dosen Pembahas I Tugas Akhir.

8. Bapak **Okrobianus Hendri, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing dan Dosen Pembahas II Tugas Akhir.
9. Bapak **Ir. H. Suradji Gandi, M.M.** selaku Dosen Pembahas III Tugas Akhir.
10. Bapak **M. Ikhwan Yani, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembahas IV Tugas Akhir.
11. Ibu **Veronika Happy P., S.T., M.T.** selaku Dosen Pembahas V Tugas Akhir.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Staf Tata Usaha, dan Staf Akademik di Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. Keluarga, rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2012 dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan proposal Tugas Akhir ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan dan kelemahan, oleh karena itu diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Terima Kasih.

Palangka Raya, Juni 2020

MUHAMAD DWITIYONO

NIM. DAB 112 067

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|-------------|
| RINGKASAN | i |
| PRAKATA..... | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR NOTASI | x |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Lokasi Penelitian | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Pengertian <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang)..... | 6 |
| 2.2 Kandungan <i>Fly Ash</i> Batu Bara | 9 |
| 2.3 Proses Pembentukan <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang)..... | 10 |
| 2.4 Kemampuan <i>Fly Ash</i> | 11 |
| 2.5 Definisi Tanah | 11 |
| 2.6 Klasifikasi Tanah..... | 12 |
| 2.6.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur Tanah..... | 13 |

| | | |
|---|--|----|
| 2.6.2 | Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian | 14 |
| 2.7 | Tanah Dasar Lempung | 22 |
| 2.7.1 | Lempung dan Mineral Lempung | 22 |
| 2.7.2 | Sifat Umum Mineral Lempung..... | 24 |
| 2.8 | Pemboran (<i>Drilling</i>) dan Pengambilan Contoh Tanah (<i>Soil Sampling</i>) | 26 |
| 2.9 | Stabilisasi Tanah dan Pematatan | 30 |
| 2.9.1 | Stabilisasi Tanah..... | 30 |
| 2.9.2 | Pematatan..... | 35 |
| 2.10 | <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) | 37 |
| 2.11 | Penelitian Terdahulu..... | 40 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | |
| 3.1 | Umum..... | 48 |
| 3.2 | Persiapan Bahan dan Alat..... | 49 |
| 3.3 | Pemeriksaan Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Tanah Asli..... | 50 |
| 3.3.1 | Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah Asli..... | 50 |
| 3.3.2 | Pemeriksaan Sifat Mekanik Tanah Asli. | 52 |
| 3.4 | Perencanaan Campuran | 53 |
| 3.5 | Pemeriksaan Sifat Mekanik Campuran | 53 |
| 3.6 | Analisis Data | 54 |
| 3.7 | Bagan Alir Penelitian | 57 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | | |
| 4.1 | Hasil Penelitian..... | 58 |
| 4.1.1 | Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah | 58 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| 4.1.2 | Klasifikasi Tanah..... | 59 |
| 4.1.3 | Pemeriksaan Perencanaan Campuran..... | 62 |
| 4.1.4 | Pengujian Sifat-sifat Mekanik Tanah..... | 63 |
| 4.2 | Pembahasan..... | 65 |
| BAB V PENUTUP | | |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 69 |
| 5.2 | Saran..... | 71 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2.1 Komposisi dan Klasifikasi <i>Fly Ash</i> | 9 |
| Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi Unified | 18 |
| Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO | 19 |
| Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian..... | 41 |
| Tabel 3.1 Analisis Varian..... | 54 |
| Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah | 58 |
| Tabel 4.2 Uraian Persentase Campuran <i>Fly Ash</i> Untuk Pematatan Laboratorium | 62 |
| Tabel 4.3 Uraian Persentase Campuran <i>Fly Ash</i> Untuk CBR Laboratorium..... | 62 |
| Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pematatan Laboratorium..... | 63 |
| Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Laboratorium | 64 |
| Tabel 4.6 Analisis Varian Perbaikan Daya Dukung Tanah Dengan <i>Fly Ash</i> | 65 |
| Tabel 4.7 Nilai CBR Rata-rata dan Berat Isi Kering Maksimum Pada Berbagai Penambahan <i>Fly Ash</i> | 67 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1.1 Lokasi Penelitian..... | 5 |
| Gambar 2.1 <i>Hand Boring</i> | 27 |
| Gambar 2.2 <i>Machine Drilling</i> | 27 |
| Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian | 57 |
| Gambar 4.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO | 59 |
| Gambar 4.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi USCS | 61 |
| Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Pemadatan Laboratorium | 63 |
| Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian CBR Laboratorium | 64 |

DAFTAR NOTASI

| | | |
|---|---|---|
| F | = | Persentase butiran yang lolos ayakan No.200 |
| LL | = | Batas cair (<i>liquid limit</i>) |
| PI | = | Indeks plastisitas |
| MS _p | = | <i>Mean Square</i> antar perlakuan |
| MS _e | = | <i>Mean Square Error</i> (dalam perlakuan) |
| CF | = | <i>Correction Factor</i> |
| $\sum T_j$ | = | $T_1 + T_2 + \dots + T_k$ |
| n _{total} | = | $n_1 + n_2 + n_3$ |
| x _{ij} | = | Data ke-i dari perlakuan ke-j |
| SS _p | = | <i>Sum Square</i> antar perlakuan |
| T ₁ , T ₂ , ..., T _k | = | Total data pada perlakuan ke-1,2, ..., k |
| n ₁ , n ₂ , ..., n _k | = | Banyak data pada perlakuan ke-1,2, ..., k |
| SS _e | = | <i>Sum Square Error</i> |
| SS _t | = | <i>Sum Square</i> total |
| SS _p | = | <i>Sum Square</i> antar perlakuan |
| DF _p | = | Derajat kebebasan antar perlakuan |
| J | = | Banyaknya perlakuan |
| DF _t | = | Derajat kebebasan total |
| DF _e | = | Derajat kebebasan <i>Error</i> |
| S _{y/x} | = | Kesalahan standar taksiran |
| S _r | = | Jumlah kuadrat residual polinomial |

| | | |
|-------|---|-----------------------|
| n | = | Banyaknya data |
| m | = | Orde polynomial |
| r^2 | = | Koefisien determinasi |
| r | = | Koefisien korelasi |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan dasar dari suatu konstruksi bangunan sipil yang berfungsi menerima dan menahan beban dari suatu struktur di atasnya. Pada tanah lunak terdapat dua masalah pokok. Pertama, masalah daya dukung tanah yang rendah. Kedua, masalah penurunan yang besar. Sifat tanah lunak yang lain, yang juga kurang menguntungkan adalah mempunyai kadar air yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan upaya perbaikan tanah melalui usaha stabilisasi tanah.

Kekuatan konstruksi jalan sangat dipengaruhi sifat-sifat daya dukung tanah, kondisi tanah yang pada umumnya memiliki daya dukung tanah yang rendah yang tidak mampu memikul beban secara terus menerus sehingga dapat mengakibatkan kerusakan konstruksi jalan. Salah satu usaha untuk perbaikan tanah dengan menambahkan zat aditif pada tanah. Pada penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah dasar.

Fly ash (abu terbang) adalah sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. *Fly ash* merupakan satu bahan tambah (aditif) yang cukup populer saat ini untuk digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton dan sebagai bahan untuk stabilisasi tanah. Pemanfaatan *fly ash*

lebih mudah karena ukurannya sudah relatif kecil, sehingga penggunaan *fly ash* untuk stabilisasi lebih mudah dan lebih melestarikan lingkungan.

Limbah abu batu bara yang relatif besar seperti *fly ash* menimbulkan dampak pencemaran yang cukup berbahaya. Sehingga perlu dipikirkan alternatif pemecahan permasalahan pencemaran ini, salah satunya digunakan untuk stabilisasi tanah. Penggunaan *fly ash* dari hasil sisa pembakaran batu bara sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah dasar dimaksudkan untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya material sehingga diharapkan mengatasi kesulitan pada perbaikan tanah dasar di Provinsi Kalimantan Tengah pada umumnya.

Melihat kerusakan di jalan raya di Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau sebagai penghubung antar daerah menimbulkan pertanyaan, apa jenis dan klasifikasi tanah yang terdapat di Jalan raya di Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau dan Berapa nilai kuat tekan bebas tanah sebelum dan sesudah pencampuran tanah dengan *fly ash*.

Sampel tanah diambil dari sekitar lokasi ruas jalan Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau. Diambil satu titik di daerah tersebut. *Fly ash* yang digunakan sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah diambil dari limbah batu bara dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dari Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu :

- 1) Bagaimana sifat fisik dan mekanik tanah lempung pada Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau?
- 2) Bagaimana pengaruh material *fly ash* yang dipakai sebagai bahan stabilisasi tanah dasar untuk meningkatkan daya dukung tanah?
- 3) Berapa persentase optimum penambahan *fly ash* untuk menghasilkan nilai CBR tanah pada masing-masing umur pemeraman?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu :

- 1) Mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah lempung pada Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau.
- 2) Mengetahui bagaimana pengaruh material *fly ash* yang dipakai sebagai bahan stabilisasi tanah dasar untuk meningkatkan daya dukung tanah.
- 3) Mengetahui nilai CBR tanah dan persentase optimum penambahan *fly ash* pada masing-masing umur pemeraman.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini memiliki batasan masalah yang akan dibahas untuk menghindari pembahasan masalah yang lebih luas dan yang tidak sesuai dengan penelitian. Adapun batasan – batasan tersebut adalah sebagai berikut :

- 1) Tanah yang digunakan, diambil dari sekitar lokasi ruas jalan Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau.
- 2) *Fly ash* sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah diambil dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dari Desa Mintin Kabupaten Pulang Pisau.
- 3) Perencanaan campuran menggunakan metode *trial and error* dengan persentase penambahan *fly ash* sebesar 5%, 7,5%, dan 10% dari berat tanah.
- 4) Evaluasi karakteristik tanah asli meliputi :
 - a. Pemeriksaan Kadar Air (*Water Content*).
 - b. Pemeriksaan Berat Isi (*Density Test*).
 - c. Pemeriksaan Berat Jenis (*Specific Test*).
 - d. Pemeriksaan batas-batas *Atterberg*.
 - e. Pemeriksaan Analisis Saringan (*Sieve Analysis*).
 - f. Analisis Hidrometer (*Hydrometer Analysis*).

Evaluasi karakteristik tanah asli dan campuran meliputi :

- g. Pemeriksaan Pemadatan Laboratorium (*Compaction Test*).
 - h. Pemeriksaan CBR Laboratorium (*Laboratory CBR*).
- 5) Pemeriksaan pemadatan dan CBR laboratorium menggunakan percobaan pemadatan standar (*standard proctor test*) pada umur pemeraman 3 hari dan 7 hari. Pengujian nilai CBR laboratorium dilakukan pada tanah dan campuran tanpa rendaman.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian di atas yaitu:

- 1) Memberi masukan, terhadap pemerintah mengenai pemanfaatan potensi sumber daya mineral *fly ash* yang ada di daerah untuk bahan stabilisasi tanah dasar.
- 2) Untuk mengembangkan dan melatih nalar mahasiswa dalam masalah mekanika tanah.
- 3) Memberikan informasi secara terinci tentang penggunaan *fly ash* (abu terbang) dan untuk mendapatkan proporsi campuran tanah yang dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang menjadi objek penelitian ini adalah pada Desa Mintin kabupaten pulang pisau.



Sumber : www.googleearth.com

Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Fly Ash* (Abu Terbang)

Fly ash batu bara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batu bara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batu bara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu terbang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batu bara sebagai bahan baku pada industri PLTU (Harijono D, 2006).

Menurut A Costa, 2009, abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam tungku perapian pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta ditangkap dengan menggunakan *elektrostatik precipitator*. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan anorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan *presipitator elektrostatik*. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, maka partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada *presipitator elektrostatik*

biasanya berukuran (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Saat ini umumnya *fly ash* batu bara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batu bara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan.
2. Penimbun lahan bekas pertambangan.
3. *Recovery magnetit, cenosphere*, dan karbon.
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori.
5. Bahan penggosok (*polisher*).
6. *Filler* aspal, plastik, dan kertas.
7. Pengganti dan bahan baku semen.
8. Konversi menjadi *zeolit* dan *adsorben*.

Abu terbang batu bara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batu bara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena *fly ash* hasil dari tempat pembakaran batu bara dibuang sebagai timbunan. *Fly ash* dan *bottom ash* ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem.

Berdasarkan PP. No. 85 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), *fly ash* dan *bottom ash* dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindian

secara alami dan mencemari lingkungan. Yang dimaksud dengan bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusakkan lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Pasal 2 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa pengelolaan limbah B3 bertujuan untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup yang diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang dapat tercemar sehingga sesuai fungsinya kembali.

Pasal 3 menyebutkan bahwa setiap orang yang melakukan usaha dan atau kegiatan yang menghasilkan limbah B3, dilarang membuang limbah B3 yang dihasilkannya itu secara langsung kedalam media lingkungan hidup, tanpa pengolahan terlebih dahulu.

Berdasarkan kondisi tersebut di atas, penelitian toksisitas abu batu bara dilaksanakan secara menyeluruh dengan tujuan melihat lebih jauh pengaruh pemanfaatan abu batu bara tersebut. Contoh abu limbah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU yang berada di Kalimantan Tengah.

2.2 Kandungan *Fly Ash* Batu Bara

Fly ash batu bara mengandung unsur kimia antara lain 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 dioksida (TiO_2), alkali (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batu bara, kemurnian batu bara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008).

Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada

Tabel 2.1 Komposisi dan Klasifikasi *Fly Ash*

| Komponen | Bituminous (%) | Subbituminus (%) | Lignit (%) |
|-------------------------|----------------|------------------|------------|
| SiO_2 | 20-60 | 40-60 | 15-45 |
| Al_2O_3 | 5-35 | 20-30 | 20-25 |
| Fe_2O_3 | 10-40 | 4-10 | 4-15 |
| CaO | 1-12 | 5-30 | 15-40 |
| MgO | 0-5 | 1-6 | 3-10 |
| SO_3 | 0-4 | 0-2 | 0-10 |
| Na_2O | 0-4 | 0-2 | 0-6 |
| K_2O | 0-3 | 0-4 | 0-4 |

Sumber : Wardani, 2008

Pembakaran batu bara lignit dan sub bituminous menghasilkan *fly ash* dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminus, namun memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. *Fly ash* batu bara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel *fly ash* hasil pembakaran batu bara bituminous lebih 12 kecil dari 0,075 mm. Kerapatan *fly ash* berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m^3 dan luas area spesifiknya antara 170 sampai 1000 m^2/kg (Marinda P, 2008).

2.3 Proses Pembentukan *Fly Ash* (Abu Terbang)

Sistem pembakaran batu bara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Disamping itu terdapat system ke-3 yakni *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar. *Fluidized bed system* adalah sistem dimana udara ditiup dari bawah sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batu bara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau *corundum* yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperatur bakar batu bara (300°C) maka diumpankanlah batu bara. Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*. Teknologi *fluidized bed* biasanya digunakan di PLTU (A Costa, 2009).

Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%). *Fixed bed system* atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batu bara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*. Sistem ini kurang efisien karena batu bara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. Abu yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (15-25%) berbanding (75-85%) (Koesnadi, 2008).

2.4 Kemampuan *Fly Ash*

Fly ash batu bara memiliki kemampuan dapat menyerap air dan beberapa unsur hara sehingga dapat meningkatkan kualitas *adsorpsi* dengan baik (Rilham, 2012). Selain itu *fly ash* batu bara juga dapat digunakan sebagai adsorben berbagai macam zat-zat polutan seperti SO_x , CO, dan partikulat debu termasuk timbal (Pb). *Fly ash* batu bara juga digunakan dalam bahan cetakan pada industri pengecoran logam karena memiliki ukuran butir jauh lebih kecil dari pada pasir cetak sehingga saat di buat cetakan akan menghasilkan permukaan yang lebih halus (Prahasto dan Sugiyanto, 2007).

2.5 Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasikan (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah mempunyai sifat struktur yang bermacam-macam, hal itu disebabkan karena tanah mempunyai banyak sifat-sifat fisik yang berbeda. Sifat-sifat fisik meliputi berat isi, angka pori, nilai sudut geser, dan berat volume. Berat isi adalah berat tanah termasuk air dan udara dengan volume total. Sudut geser terbentuk akibat dari gerak antara butiran-butiran tanah. Berat volume adalah berat volume butiran tanah termasuk udara, dengan volume total tanah (Braja M Das, 1998).

Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil. Hal ini dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancuran partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Karena proses lapuk dan endap itu maka dijumpai tipe tanah keras, tipe tanah sedang dan tipe tanah lunak sesuai umur dan proses terbentuk alamiahnya

Ukuran setiap butiran padat sangat bervariasi dan sifat-sifat fisika tanah banyak tergantung dari faktor-faktor jenis tanah, komposisi/gradasi butir, volume rongga, kandungan air, mineral pembentukan butir tanah, dan bentuk butiran.

2.6 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Braja M. Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Joseph E. Bowles, 1989).

Klasifikasi tanah dapat dilakukan berdasarkan tekstur tanah dan pemakaiannya.

2.6.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur Tanah

Tekstur tanah adalah keadaan tanah yang bersangkutan yang dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah yaitu:

1. Batu kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*)

Golongan ini terdiri dari pecahan-pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butiran-butiran batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan batu, tetapi mungkin terdiri dari satu macam zat mineral tertentu, butiran-butiran tersebut biasa terdapat dalam satu ukuran saja atau mencakup seluruh ukuran dari batu besar sampai pasir halus, keadaan ini disebut bahan yang bergradasi baik.

2. Lanau (*silt*)

Yaitu tanah berbutir halus yang berukuran lebih kecil dari 0,074 mm (No. 200). Lanau terdiri dari dua jenis yaitu lanau anorganik (*inorganik silt*) yang merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil mengandung butiran kuarsa sedimen yang kadang disebut tepung batuan (*rock flour*) dan tanah lanau organik (*organik silt*) tanah agak plastis berbutir halus dengan campuran partikel partikel bahan organik terpisah secara halus, warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap.

3. Tanah lempung

Tanah lempung adalah suatu istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang terdiri dari butiran yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastis dan kohesi. Kohesi menunjukkan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya tanpa terjadi retakan-retakan atau pecah-pecah.

2.6.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

Adapun sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam teknik jalan raya adalah sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) dan sistem klasifikasi tanah AASHTO (*American Association Of State Highway and Transportation Officials*). Kedua sistem ini memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas *Atterberg*.

A. Sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi tanah ini diusulkan oleh Prof. Arthur Casagrande, sistem ini didasarkan pada sifat tekstur tanah dan sistem ini menempatkan tanah dalam tiga kelompok :

1. Tanah berbutir kasar

Tanah berbutir kasar dibagi lagi atas:

- a. Kerikil dan tanah kerikilan (G)
- b. Pasir dan tanah kepasiran (S)

Yang termasuk dalam kerikil adalah tanah yang mempunyai persentase lolos saringan No.4 > 50% termasuk kelompok pasir. Baik pasir maupun kerikil dibagi lagi dalam 4 kelompok:

- 1) Kelompok GW dan SW adalah tanah kerikilan dan kepasiran bergradasi baik dengan butiran halus yang sedikit atau tanpa butiran halus yang non plastis (lolos saringan No.200 < 5%).
- 2) Kelompok GP dan SP adalah tanah kerikilan dan kepasiran bergradasi buruk dengan butiran halus sedikit yang non plastis.
- 3) Kelompok GM dan SM adalah mencakup tanah kerikil atau pasir kelanauan (lolos saringan No.200 > 12%) dengan plastisitas rendah atau non plastis. Batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A. Dalam kelompok ini bisa termasuk baik yang bergradasi baik maupun yang bergradasi buruk.
- 4) Kelompok GC dan SC adalah mencakup tanah kerikil atau kepasiran dengan butiran halus (lolos saringan No.200 < 12%) lebih bersifat lempung dengan plastisitas rendah sampai tinggi, batas cair dan indeks plastisitas tanah ini terletak di atas garis A dengan grafik plastisitas.

2. Tanah berbutir halus

Tanah berbutir halus dibagi dalam lanau (M) yang berasal dari bahasa Swedia dan lempung (C) yang didasarkan pada batas cair dan indeks plastis juga tanah organis (O) termasuk dalam fraksi ini. Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A dan lempung berada di atas garis A. Lempung organik adalah pengecualian

dari peraturan di atas karena batas cair dan indeks plastisnya berada di bawah garis A. Lanau, Lempung dan tanah organis dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H), garis pembagi antara batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50.

- 1) Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau anorganis dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubur batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung.
 - 2) Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung anorganis. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk, lempung gumbo. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung pasir, atau lempung lanau.
 - 3) Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik, lempung dan lanau organis termasuk kedalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas berkisar pada kelompok ML dan MH.
3. Tanah organis tinggi

Tanah ini tidak dibagi lagi tapi diklasifikasikan dalam satu kelompok. Biasanya mereka sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang di tanah khusus dari kelompok ini adalah humus, tanah lumpur dengan tekstur organis yang tinggi. Komponen umum dari tanah ini adalah partikel daun, rumput, dahan atau bahan yang regas lainnya.

Sifat teknis tanah berbutir kasar ditentukan oleh ukuran dan gradasi butirannya. Oleh karena itu tanah berbutir kasar dikelompokkan berdasarkan ukuran butir dan bentuk gradasi butir tanahnya. Tanah berbutir halus lebih ditentukan oleh sifat tanah plastisitasnya, sehingga pengelompokan tanah berbutir halus dilakukan berdasarkan ukuran butir dan sifat plastisitas tanahnya. Klasifikasi tanah sistem USCS dilakukan dengan simbol-simbol tertentu, yaitu:

1) Simbol komponen:

- a) Kerikil : G (*Gravel*)
- b) Pasir : S (*Sand*)
- c) Lanau : M (*Silt Loam*)
- d) Lempung : C (*Clay*)
- e) Organik : O (*Organic*)
- f) Humus : Pt (*Peat*)

2) Simbol gradasi

- a) Bergradasi baik : W (*Well Graded*)
- b) Bergradasi buruk : P (*Poor Graded*)
- c) Bergradasi seragam : U (*Uniform Graded*)

3) Simbol batas cair

- a) Plastisitas tinggi : H (*High Liquid Limit*)
- b) Plastisitas rendah : L (*Low Liquid Limit*)

Kombinasi dari huruf - huruf ini menggambarkan satu jenis tanah, seperti GP menunjukkan tanah kerikil dengan gradasi buruk.

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi Unified

| Divisi utama | | Sambol Kelompok | Nama Umum | Kriteria Klasifikasi | | |
|---|--|--|---|--|--|--|
| Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50 % butiran tertahan pada ayakan No. 200* | Pasir Lebih dari 50 % fraksi kasar lolos ayakan No. 4 | GW | Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | $C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 5 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW | | |
| | | | GP | | Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | |
| | | GM | Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau | Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$ Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda | | |
| | | | GC | | Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung | |
| | Kerikil 50 % atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4 | SW | Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | $C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW | | |
| | | | SP | | Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | |
| | | SM | Pasir berlanau, campuran pasir-lanau | Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$ Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda | | |
| | | | SC | | Pasir berlempung, campuran pasir-lempung | |
| | | Tanah Berbutir Halus 50 % atau lebih lolos ayakan No. 200 | Lanau dan lempung Batas cair 50 % atau kurang | ML | Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung | |
| | | | | CL | Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays) | |
| OL | Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah | | | | | |
| Lanau dan lempung Batas cair lebih dari 50 % | MH | | Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis | | | |
| | CH | | Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays) | | | |
| | OH | | Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi | | | |
| | PT | | Gambut (peat), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi | | | |

Sumber : Das, 1998

B. AASHTO (*American Association Of State Highway and Transportation Officials*)

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Hogentogler* dan *Terzaghi*, yang akhirnya diambil oleh *bureau of public roads*. Sistem ini mencoba pengelompokan tanah berdasarkan sifatnya terhadap beban roda. Setelah mengalami beberapa perbaikan kemudian diambil oleh AASHTO.

Berdasarkan sistem ini tanah dibagi menjadi 8 kelompok yang diberi nama mulai dari A-1 sampai dengan A-8. Kelompok A-8 merupakan kelompok tanah organik yang revisi terakhir pada sistem AASHTO diabaikan karena tanah pada kelompok ini tidak stabil sebagai bahan pelapisan perkerasan, pada pemakaian sistem klasifikasi AASHTO menggunakan data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka diberikan dalam tabel 2.3 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan ditemukan angka-angka yang sesuai dengan menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair dan indeks plastis masuk ke dalam.

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

| Klasifikasi Umum | Material Granular (<35% lolos saringan no.200) | | | | | | tanah tanah lanau lempung (35% lolos saringan no.200) | | | | |
|---------------------------------------|--|---------|-------------|--|---------|---------|---|---------|------------------|---------|---------|
| | A1 | | A3 | A2 | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | |
| Klasifikasi Kelompok | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | | | | | A-2-7 |
| Analisa Saringan (% lolos) | | | | | | | | | | | |
| 2.00 mm (no.10) | 50 maks | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 0.425 mm (no.40) | 30 maks | 50 maks | 51 maks | - | - | - | - | - | - | | |
| 0.075 mm (no.200) | 15 maks | 25 maks | 10 maks | 35 maks | 35 maks | 35 maks | 35 maks | 36 min | 36 min | | |
| Sifat Fraksi lolos | | | | | | | | | | | |
| Saringan no.40 | | | | | | | | | | | |
| Batas Cair (LL) | - | - | - | 40 maks | 41 maks | 40 maks | 41 min | 40 maks | 41 min | 40 maks | 41 min |
| Indeks Plastis (PI) | 6 maks | Np | Np | 10 maks | 10 maks | 11 min | 11 min | 10 maks | 10 maks | 11 min | 11 min |
| Indeks Kelompok (GI) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 maks | 4 maks | 8 maks | 12 maks | 6 maks | 20 maks |
| Tipe material yang pokok pada umumnya | Pecahan batu, kerikil dan pasir | | pasir halus | kerikil berlanau atau berlempung dan pasir | | | tanah berlanau | | tanah berlempung | | |
| Penilaian Umum sebagai tanah dasar | sangat baik sampai baik | | | | | | sedang sampai buruk | | | | |

Sumber : *Hardiyatmo, 1992*

Deskripsi dari masing-masing golongan adalah sebagai berikut:

1. Golongan tanah berbutir kasar dibedakan menjadi :

Golongan A-1: Berupa bahan yang merupakan campuran antara butiran mulai dari yang kasar sampai pada yang halus, dengan gradasi yang baik. Mungkin memiliki pelekat tanah yang non plastis atau plastisitasnya rendah, sub golongan A-1-a terutama terdiri dari pecahan-pecahan batu atau kerikil, sub golongan A-1-b terutama terdiri dari pasir kasar.

Golongan A-3: Bahan yang khas menggambarkan bahan ini adalah pasir pantai yang halus, tidak mengandung bagian halus yang bersifat kelanauan ataupun kelembungan, atau kandungan lanau non-plastis dalam jumlah yang sangat sedikit.

Golongan A-2: Meliputi berbagai bahan berbutir yang merupakan batas antara golongan-golongan A-1 dan A-3 dengan bahan-bahan lanau lempung yang termasuk golongan-golongan A-4, A-5, A-6, dan A-7. Golongan ini termasuk semua bahan yang mengandung fraksi yang melalui saringan 0,075 mm 35% ke bawah yang tidak bisa di klasifikasikan ke dalam golongan A-1 atau A-3.

2. Golongan tanah berbutir halus dibedakan menjadi :

Golongan A-4: Bahan yang khas termasuk ke dalam golongan ini berupa tanah ke lanauan yang non-plastis atau yang mempunyai sifat plastis yang sedang.

Golongan A-5: Sama seperti golongan A-4 tetapi tanahnya lebih elastis dengan nilai batas cair yang tinggi.

Golongan A-6 : Golongan ini adalah bahan berupa tanah lempung yang plastis, biasanya perubahan dari keadaan basah ke keadaan kering selalu disertai dengan perubahan volume yang mencolok.

Golongan A-7 : Sama seperti golongan A-6 tapi golongan ini memiliki karakteristik batas cair yang tinggi sebagaimana halnya golongan A-5.

Untuk menentukan tingkatan relatif dari suatu bahan di dalam suatu subkelompok, maka dibuatlah suatu indeks kelompok (group indeks, GI). Indeks kelompok merupakan fungsi persentase tanah yang lolos saringan no.200 dan batas *atterberg*. Indeks Grup dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan:

- F = Persentase butiran yang lolos ayakan No.200
 LL = Batas cair (*liquid limit*)
 PI = Indeks plastisitas

Aturan untuk menentukan harga dari indeks grup adalah:

- a) Apabila persamaan 2.1 menghasilkan nilai GI yang negatif, dianggap nol.
- b) Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dibulatkan ke angka yang paling dekat.
- c) Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
- d) Indeks grup untuk tanah yang masuk kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.
- e) Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6, dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu:

$$GI = 0,01(F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada umumnya kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari indeks grup. (braja, 1985).

2.7 Tanah Dasar Lempung

2.7.1 Lempung dan Mineral Lempung

Pelapukan akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, disebut sebagai mineral lempung. Mineral-mineral lempung terdiri dari silikat aluminat dan magnesium. Senyawa aluminium silikat yang kompleks terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu silika tetrahedral dan aluminium oktahedra. Selain itu beberapa diantaranya mengandung alkali sebagai komponen dasarnya.

Beberapa mineral lempung yang biasa terkandung, yaitu:

1. Kaolinit (*Kaolinite*)

Mineral ini termasuk ke dalam kategori kaolin yang terdiri atas kepingan silika tetrahedra dan kepingan aluminium oktahedra. Kedua kepingan tersebut terikat satu sama lain sehingga terbentuk suatu lapisan yang satu kesatuan. Ikatan keduanya merupakan ikatan hidrogen yang sulit dipisahkan. Karena ikatannya yang kuat, mineral ini tergolong stabil sehingga air tidak bisa menerobos masuk di antara kedua kepingan tersebut. Ketiadaan air di antara kedua kepingan tidak dapat menyusutkan ataupun mengembangkan sel satuannya.

2. Halloysit (*Halloysite*)

Mineral halloysit mirip dengan kaolinit, akan tetapi ikatannya lebih acak dan bisa terpisahkan oleh lapisan tunggal molekul air. Jika mineral ini tidak mengandung lapisan tunggal air karena telah dipanaskan, maka sifat dasar mineral akan berubah. Sifat dasar dari mineral halloysit yaitu bentuk partikelnya mirip seperti silinder- silinder yang memanjang.

3. Montmorillonit (*Montmorillonite*)

Mineral montmorillonit juga disebut dengan *smectit*, yang merupakan mineral hasil bentukan satu kepingan aluminium dan dua kepingan silika. Di antara dua kepingan silika terdapat kepingan oktahedra yang membentuk suatu lapisan yang satu. Montmorillonit terbentuk dari proses sedimentasi bersuasana basa (*alkali*) yang sangat silikan. Selain itu, montmorillonit mempunyai ukuran kristal yang sangat kecil tetapi memiliki gaya tarik terhadap air yang sangat kuat sehingga air tersebut dapat memisahkan kepingan. Hal tersebut merupakan akibat kurangnya muatan negatif pada kepingan oktahedran dan lemahnya gaya ikatan *van der Waals* pada ujung kepingan silika. Air yang masuk di antara kepingan dapat melunakkan dan merusak struktur tanah yang mengandung mineral montmorillonit.

4. Illite (*Illite*)

Bentuk susunan mineral illit terdiri dari kepingan aluminium oktahedra yang berada di antara dua kepingan silika tetrahedra. Kepingan – kepingan tersebut saling terikat satu sama lain dengan ikatan antar ion- ion kalium yang

terdapat pada setiap kepingan. Ikatan ini tidak lebih kuat daripada ikatan hidrogen yang mengikat mineral kaolinit, tetapi lebih kuat daripada ikatan ionik yang mengikat mineral montmorillonit. Meski ikatannya tidak terlalu kuat, susunan mineral illit tidak dapat mengembang akibat dari gerakan air yang berada di antara kedua kepingannya.

2.7.2 Sifat Umum Mineral Lempung

Bowles (1989), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

a. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini pada umumnya mempunyai tebal dua molekul karena itu disebut sebagai lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 600°C sampai 1000°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja.

b. Aktivitas

Skempton (1953), mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan persentase butiran yang

lebih kecil dari 0,002 mm. Hasil pengujian *index properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif.

c. Flokulasi dan Dispersi

Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok (*flock*) yang bergerak secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya membentuk sedimen. Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung dibawah larutan air akibat dari mineral lempung umumnya mempunyai $pH > 7$. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk menghindari flokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

d. Pengaruh Zat cair

Fase air yang berada dibawah struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

e. Sifat kembang susut (*swelling potensial*)

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan tenaga-tenaga di bawah

struktur tanah. Tenaga tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari tenaga elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta bergantung pada jarak antar permukaan partikel.

2.8 Pemboran (*Drilling*) dan Pengambilan Contoh Tanah (*Soil Sampling*)

Metode yang dilakukan untuk menentukan kondisi tanah bawah permukaan dan pengambilan contoh adalah dengan melakukan pemboran pada titik-titik yang dipilih di area tempat pondasi setelah dilakukan penelitian di lapangan.

Pemboran beserta pengambilan contoh, eksplorasi tanah atau pengujian pada letak asli dapat memberikan informasi yang lebih teliti dan terpercaya mengenai karakteristik-karakteristik fisik dan mekanik tanah pondasi pada cara-cara yang lain (Suyono Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

Ada beberapa cara pemboran tanah, yaitu:

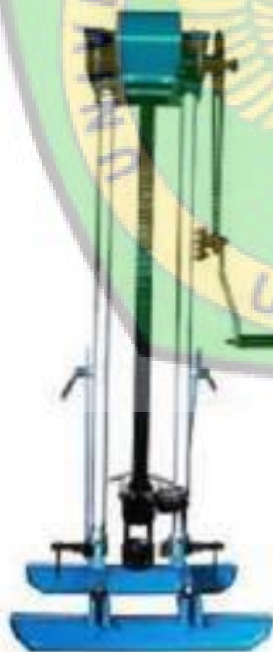
1. Pemboran dengan bor tangan (*hand boring*)

Bor tangan menggunakan berbagai macam mata bor (*auger*) pada ujung bawah stang bor. Untuk bor dangkal biasanya tidak menggunakan mesin untuk menggerakkan mata bor, cukup dengan tangan. Bagian atas dari rangkaian stang bor ini mempunyai tangkai yang dipakai untuk memutar alat tersebut. Biasanya dipakai kaki tiga (*tripod*) dengan katrol dan tali yang dipakai untuk mencabut kembali stang-stang dan auger dari lubang tersebut. Dengan menggunakan *tripod*, biasanya pemboran mencapai kedalaman 15 m. Bor tangan hanya dapat digunakan pada tanah lempung lunak (*soft clay*) dan lempung teguh (*firm clay*).



Gambar 2.1 *Hand Boring*

2. Pemboran dengan mesin (*machine drilling*)



Gambar 2.2 *Machine Drilling*

Untuk bor dangkal biasanya digunakan *rotary drilling machine*. *Rotary drilling machine* atau mesin bor putar adalah metode pemboran yang

menggunakan aksi putaran untuk melakukan penetrasi terhadap batuan. Pada mesin bor putar lubang bor dibentuk dari pemboran dengan mekanisme putar dan disertai pembebanan. Berdasarkan sistem penetrasinya, metode *rotary* terdiri dari 2 metode yaitu: system *tricone* dan *drag bit*. *Tricone bit* dengan hasil penetrasinya berupa gerusan dan *drag bit* dengan hasil penetrasinya berupa potongan (*cutting*). Kedalaman bisa mencapai 100 m. Motor penggerak alat bor umumnya terdiri dari bagian berikut:

- a. Alat yang dapat memutar stang-stang bor dengan kecepatan yang dapat diatur dan memberikan gaya tekan ke bawah.
- b. Pompa untuk memompakan air pencuci ke bawah melalui bagian dalam stang bor.
- c. Roda pemutar atau *tripod* untuk menaikan atau menurunkan stang-stang dan alat bor ke bagian dalam lubang.

Contoh tanah yang diambil untuk pengujian tanah ada 2 jenis (Wesley, 1977), yaitu:

- 1) Contoh tanah terganggu / tidak asli (*disturbed samples*)

Contoh tanah terganggu diambil tanpa adanya usaha-usaha yang dilakukan untuk melindungi struktur asli dari tanah tersebut. Contoh-contoh ini biasanya dibawa ke laboratorium dalam tempat tertutup (kaleng atau kantong plastik) sehingga kadar airnya tidak berubah. Bila contoh ini tidak perlu dipertahankan kadar air aslinya, maka contoh ini dapat diambil terbuka. Contoh ini dapat dipakai untuk segala penyelidikan yang tidak memerlukan contoh tidak terganggu (*undisturbed samples*).

2) Contoh tanah yang tidak terganggu / asli (*undisturbed samples*)

Contoh tanah yang tidak terganggu adalah suatu contoh yang masih menunjukkan sifat-sifat asli dari tanah yang ada padanya. Contoh-contoh ini tidak mengalami perubahan dalam struktur, kadar air (*water content*), atau susunan kimia. Contoh yang benar-benar tidak terganggu/asli (*truly undisturbed samples*) tidaklah mungkin diperoleh, akan tetapi dengan teknik pelaksanaan sebagaimana mestinya dan cara pengamatan yang tepat, maka kerusakan-kerusakan terhadap contoh bisa dibatasi sekecil mungkin.

Pengambilan contoh tanah tidak terganggu dapat dilakukan dengan cara:

1. Memakai tabung-tabung contoh (*samples tubes*)

Alat ini berupa silinder berdinding lapis yang disambung dengan stang-stang bor dengan suatu alat yang disebut pemegang tabung contoh (*sample tube holding device*). Alat terutama dipakai untuk lempung lunak sampai yang sedang. Tabung contoh ini dimasukkan kedalam dasar lubang bor dan kemudian ditekan atau dipukul kedalam tanah asli yang akan diambil contohnya pada dasar lubang bor, setelah tabung contoh ditekan kedalam tanah dibiarkan dulu beberapa menit dengan maksud memberi perlekatan antara tanah dan permukaan dinding tabung. Kemudian tabung contoh diputar kira-kira 180° untuk memotong tanah pada dasar tabung sebelum mencabutnya kembali, Setelah contoh diambil dari lubang bor kemudian tabung contoh tersebut ditutup dengan lilin/parafin pada kedua ujungnya, untuk mencegah terjadinya pengeringan, kemudian dibawa ke laboratorium untuk diteliti.

2. Memakai *core barrels*

Untuk contoh tanah keras digunakan alat *core barrel*. Bila harus diteliti lebih lanjut di laboratorium maka harus diikat baik-baik dan ditutup pada kedua ujungnya dengan lilin/parafin untuk mencegah pengeringan.

3. Mengambil secara langsung dengan tangan dalam bentuk bongkah-bongkah (*black samples*)

Pengambilan ini dapat dilakukan baik pada permukaan ataupun pada dasar lubang-lubang percobaan, untuk mengangkutnya ke laboratorium, sample ini harus ditutup dengan lilin/parafin dan ditempatkan dalam tempat yang kuat.

2.9 Stabilisasi Tanah dan Pematatan

2.9.1 Stabilisasi Tanah

Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan jalan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan sehingga dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan.

Stabilisasi Tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung (mutu) tanah yang tidak atau kurang baik. Dapat juga dikatakan bahwa stabilisasi tanah adalah usaha meningkatkan daya dukung (mutu) tanah yang sudah tergolong baik. Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah itu sendiri adalah meningkatkan

kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Menurut Bowles (1986), cara untuk melakukan stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut:

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi atau tahanan geser.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah.
4. Menurunkan muka air tanah.
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk.

Menurut Ingles dan Metcalf (1972), stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan metode, yaitu:

1. Cara mekanis

Perbaikan tanah dengan menggunakan cara mekanis yaitu perbaikan tanah tanpa penambahan bahan-bahan lainnya. Stabilisasi mekanis biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis dan sebagainya. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik dengan cara mengurangi volume pori sehingga menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum. Metode ini biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar dengan fraksi tanah yang lolos saringan nomor 200 ASTM paling banyak 25%.

2. Cara fisik

Perbaikan tanah dengan cara fisik yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi seperti hidrasi, absorpsi/penyerapan air, pemanasan, pendinginan, dan menggunakan arus listrik.

3. Cara kimiawi

Perbaikan tanah dengan cara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus. Pencampuran bahan kimia yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan semen, kapur, abu batu bara dan sebagainya.

Stabilisasi tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat dari material yang ada dan kurang baik menjadi material yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga stabilisasi ini dapat memenuhi kebutuhan perencanaan konstruksi yang diinginkan. Pemilihan stabilisasi yang digunakan selalu didasarkan atas respon dari tanah tersebut terhadap stabilisasi yang digunakan. Sifat-sifat dari suatu jenis tanah, sangat mempengaruhi dalam penentuan jenis stabilisasi tanah tersebut. Secara umum ada 4 (empat) karakteristik utama tanah atau sifat tanah yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan masalah stabilisasi tanah, yaitu:

1) Stabilitas volume tanah

Perubahan volume tanah berkaitan erat dengan kadar airnya. Banyak jenis tanah lempung yang mengalami susut dan kembang (*shrink and swell*) karena kepekaan terhadap perubahan kadar airnya. Perubahan kadar air ini biasanya terjadi sejalan dengan perubahan musim di wilayah tersebut. Untuk lempung

yang ekspansif, bila hal ini terkontrol maka akan terjadi depormasi dan retak-retak pada permukaan jalan.

Untuk mengukur volume yang terjadi biasanya diadakan percobaan *swelling* potensial di laboratorium. Namun percobaan di laboratorium belum tentu menunjukkan perubahan yang terjadi di lapangan, karena perubahan volume di lapangan kemungkinan akan lebih kecil akibat adanya pengaruh permeabilitas yang rendah. Masalah ini biasanya diatasi dengan *waterproofing* dengan berbagai macam bahan seperti bitumen, tar dan lain-lain. Cara lain adalah dengan *menstabilisasi pressure* dari lempung.

2) Kekuatan

Perubahan beban *eksternal* yang terjadi umumnya adalah berhubungan dengan perubahan volume karena adanya gaya *internal* yang diakibatkan oleh perubahan kadar air. Banyak percobaan dan praktek di lapangan yang membuktikan hal ini, kecuali pada tanah organik dimana stabilisasi hanya meningkatkan volume tanpa terjadi peningkatan kekuatan.

Pada umumnya parameter yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah adalah dengan percobaan parameter kuat geser dan daya dukung tanah. Hampir semua jenis stabilisasi berhasil mencapai tujuan ini, namun pada tanah organik hal ini sulit dicapai, jadi lapis tanah organik (*top soil*) sebaiknya tidak digunakan sebagai material yang harus distabilisasi, melainkan disingkirkan. Pelaksanaan pemadatan yang baik sampai sekarang masih stabilisasi yang diterapkan. Sehingga hampir semua jenis stabilisasi

bertujuan untuk meningkatkan stabilitas volume sekaligus meningkatkan kekuatan tanah.

3) Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan titik energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah.

Untuk lempung, permeabilitas yang terjadi disebabkan sistem *micropore* (sistem pori-pori mikro) dan kapasitasnya. Masalah utama akibat besarnya permeabilitas umumnya adalah timbulnya tekanan air pori dan terjadi aliran perembesan (*seepage flow*). Sedangkan pada tanah lempung, permeabilitas tinggi biasanya diakibatkan karena pelaksanaan pemadatan yang kurang baik. Karena itu masalah ini dapat diatasi dengan pembuatan sistem drainase, pelaksanaan pemadatan dan stabilisasi yang baik.

4) Durabilitas

Durabilitas adalah daya tahan bahan konstruksi terhadap cuaca, erosi dan kondisi lalu lintas di atasnya. Durabilitas yang buruk dapat menimbulkan masalah baik pada tanah alami maupun tanah yang distabilisasi. Dampak yang ditimbulkan tidak terlalu berpengaruh pada struktur perkerasan tetapi

lebih banyak terjadi pada permukaan sehingga biaya pemeliharaan jalan cenderung meningkat.

Pada tanah yang distabilisasi, durabilitas yang buruk biasanya diakibatkan oleh pemilihan jenis stabilisasi yang salah, bahan stabilisasi yang tidak cocok atau karena masalah cuaca. Percobaan untuk mengetahui ketahanan material terhadap cuaca dan kondisi lalu lintas sampai sekarang masih sulit dihubungkan dengan keadaan sebenarnya di lapangan.

2.9.2 Pematatan

Pematatan merupakan proses dimana tanah yang terdiri dari butiran tanah, air, dan udara diberi energi mekanik seperti penggilasan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) sehingga volume tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah. Untuk pematatan di lapangan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya dengan cara menggilas. Sedangkan untuk pematatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart Compaction Test* dan *Modified Compaction Test*.

Pengujian pematatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum. Kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pematatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas.

Pematatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar

air optimum dan berat isi kering maksimum. Pemadatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu.

Pemadatan tanah lempung secara benar akan memberikan kuat geser yang tinggi, sedangkan stabilitas terhadap kembang susut tergantung dari jenis material yang digunakan. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Berat volume kering dari tanah akan naik, bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Jenis tanah (distribusi ukuran butiran), bentuk butiran tanah, gravitas khusus bagian tanah, jumlah serta jenis mineral lempung yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut. Dalam pemadatan tanah, ada empat faktor yang mempengaruhi pemadatan yaitu:

1. Usaha pemadatan (energi pemadatan).
2. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya).
3. Kadar air.
4. Berat isi kering.

Pada pembuatan timbunan tanah untuk jalan raya, DAM tanah dan banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas (renggang) haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah. Sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan, atau dengan kata lain maksud dari pemadatan adalah:

- a) Mempertinggi kuat geser tanah.
- b) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
- c) Mengurangi permeabilitas.
- d) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat penurunan kadar air dll.

Pada percobaan pemadatan tanah di laboratorium untuk penelitian ini yang dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum adalah percobaan pemadatan standar (*standard compaction test*). Pada uji pemadatan standar ini tanah dipadatkan dalam suatu cetakan silinder dengan diameter 101,6 mm dan volume 943,3 cm³. Cetakan di klem pada sebuah plat dasar dan di atasnya diberi perpanjangan. Untuk memperoleh suatu nilai MDD dan OMC biasanya dilakukan enam kali percobaan pemadatan dengan kadar air yang berbeda-beda. Setiap pemadatan dilakukan dengan menggunakan penumbuk khusus. Berat penumbuk adalah 2,5 kg dan tinggi jatuh 304,8 mm. pemadatan dilakukan dalam tiga lapisan yang sama dan setiap lapisan dilakukan 25 kali pukulan. Pada uji pemadatan ini tanah yang diuji adalah tanah yang lolos saringan 20 mm.

2.10 California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standar load*) dan dinyatakan dalam persen. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Nilai CBR adalah salah satu parameter yang digunakan

untuk mengetahui kuat dukung tanah dasar dalam perencanaan lapis perkerasan. Bila tanah dasar memiliki nilai CBR yang tinggi, praktis akan mengurangi ketebalan lapis perkerasan yang berada di atas tanah dasar (*subgrade*), begitu pula sebaliknya.

Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), CBR dapat dibagi sesuai dengan cara mendapatkan contoh tanahnya yaitu CBR lapangan (*CBR in place atau field CBR*), CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*) dan CBR 36 laboratorium (*laboratory CBR*). CBR laboratorium dibedakan menjadi dua macam yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked CBR laboratory*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked CBR laboratory*).

CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini. Pemeriksaan CBR bertujuan untuk menentukan harga CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Disamping itu, pemeriksaan ini juga dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Pemeriksaan CBR Laboratorium mengacu pada AASHTO T-193-74 dan ASTM-1883-73. Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan. Nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ini disebut "*design CBR*".

Cara yang dipakai untuk mendapat “*design CBR*“ ini ditentukan dengan perhitungan dua faktor (Wesley, 1977) yaitu:

- a. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan
- b. Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat.

Nilai CBR sangat bergantung kepada proses pemadatan. Selain digunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai, CBR juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan tebal lapisan dari suatu perkerasan serta untuk menilai *subgrade* yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum, dan membentuk profil sesuai yang direncanakan. Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), berdasarkan cara mendapatkan contoh tanah, CBR dapat dibagi atas:

1. CBR lapangan (*CBR in place* atau *field CBR*)

Metode pemeriksaan CBR lapangan dilakukan dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

2. CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*)

Untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air, pemeriksaan ini dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mold*) yang ditekan masuk ke dalam tanah mencapai kedalaman tanah yang diinginkan. *Mold* yang berisi contoh tanah yang dikeluarkan dan direndam dalam air selama 4 hari sambil diukur pengembangannya (*swelling*). Setelah pengembangan tidak terjadi lagi maka dilaksanakan pemeriksaan CBR.

3. CBR laboratorium (*laboratory CBR*)

CBR laboratorium dapat disebut juga CBR rencana titik. Tanah dasar yang diperiksa merupakan jalan baru yang berasal dari tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. Oleh karena itu, nilai CBR laboratorium adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuat dan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan.

2.11 Penelitian Terdahulu

Dasar berupa teori-teori penelitian diperoleh dari hasil berbagai penelitian sebelumnya sebagai pendukung dan pelengkap. Pembahasan yang dimasukkan ke dalam penelitian ini merupakan pembahasan yang berkaitan dengan penelitian sebelumnya. Dalam hal ini, fokus penelitian terdahulu yang dijadikan acuan yaitu, mengenai pengaruh pencampuran *fly ash* terhadap nilai daya dukung tanah dasar. Oleh karena itu penulis melakukan langkah kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu berupa skripsi, jurnal penelitian, buku-buku, dan sumber-sumber terkait lainnya melalui internet.

Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian

| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
|----|--|---------------------|---|---|--|
| 1. | Stabilisasi Tanah Menggunakan <i>Fly Ash</i> Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Berdasarkan Variasi Kadar Air Optimum (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). | Rama Indera. (2017) | <ul style="list-style-type: none"> - mengetahui jenis dan klasifikasi tanah pada Jalan Raya Bojonegara Kabupaten Serang dengan pengujian fisik tanah; - Memberikan tambahan informasi di bidang teknik sipil bahwa <i>fly ash</i> dapat meningkatkan nilai kuat tekan untuk tanah dasar jalan, berdasarkan nilai kadar air optimum dan kadar air tiap sampel tanah. | <ul style="list-style-type: none"> - Pertama pengujian sifat fisik tanah dan analisa besar butir untuk mengetahui jenis tanah; - Melakukan uji pemadatan untuk mengetahui kadar air optimum dan berat isi kering maksimum tanah; - Melakukan pembuatan benda uji dengan kadar <i>fly ash</i> yang ditentukan yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%; - Pemeraman selesai maka lakukan uji <i>Unconfined Compression Test (UCT)</i>, atau disebut juga Uji Kuat Tekan Bebas untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah tersebut; - Selain uji UCT lakukan juga uji sifat fisik tanah untuk mengetahui pengaruh <i>fly ash</i> terhadap sifat fisik tanah; - Melakukan analisis. | <ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian fisik tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk pada golongan tanah lempung bercampur lanau pasir pada Jalan Raya Bojonegara Kabupaten Serang; - Berdasarkan pengujian UCT pada benda uji dengan variasi <i>fly ash</i> 30% nilai yang paling maksimum dengan pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari berturut-turut adalah 2.043 kg/cm², 2.06 kg/cm², 2.29 kg/cm² dan 2.4 kg/cm². Nilai kuat tekan (qu) terbesar terdapat pada pemeraman 28 hari dengan presentase <i>fly ash</i> 30% sebesar 2.4 kg/cm²; - Mengetahui campuran mana yang cocok dengan tanah terganggu di daerah bojonegara dengan presentasi yang telah ditentukan. |

| Lanjutan Tabel 2.4 | | | | | |
|--------------------|--|----------------------------|--|--|--|
| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
| 2. | Analisis Campuran Kapur- <i>Fly Ash</i> Dan Kapur-Abu Sekam Padi Terhadap Lempung Ekspansif. | Denny Boy Pinasang. (2016) | <ul style="list-style-type: none"> Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai kekuatan tanah; Memberikan yang distabilisasi dengan pencampuran <i>fly ash</i> batu bara dan kapur -abu sekam padi pada tanah lempung ekspansif; Berapakah prosentasi yang efektif dan efisien pada penambahan <i>fly ash</i> batu bara dibandingkan dengan kapur-abu sekam padi terhadap kekuatan tanah pada tanah lempung ekspansif. | <p>Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental yang dilakukan dilaboratorium. Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu penelitian awal untuk menentukan apakah tanah lempung yang akan diteliti benar-benar merupakan tanah lempung ekspansif atau merupakan lempung biasa. Pengujian awal meliputi: pengujian analisis saringan dan pengujian indeks properties. Setelah diketahui bahwa tanah adalah tanah lempung ekspansif, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah kapur - abu terbang batu bara dan kapur-abu sekam padi yang kemudian diuji sifat-sifat mekaniknya. Pengujian lanjutan meliputi: pengujian kepadatan, CBR laboratorium, kuat tekan bebas dan uji geser langsung.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Tanah lempung yang diamati merupakan tanah ekspansif dengan yang memiliki potensi mengembang tinggi dengan kandungan mineral lempung montmorillonit; Penggunaan kapur + abu terbang lebih efektif dari pada menggunakan kapur + abu sekam padi untuk menurunkan nilai plastisitas; Penambahan kapur + abu sekam padi dan penambahan kapur + abu terbang menunjukkan terjadi peningkatan nilai <i>qu</i> seiring bertambahnya persentasi kapur, penambahan kapur + abu terbang lebih memberikan nilai kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran kapur + abu sekam padi. |

| Lanjutan Tabel 2.4 | | | | | |
|--------------------|--|-------------------------------------|---|---|---|
| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
| 3. | Pengaruh Penambahan <i>Fly Ash</i> Pada Sifat Fisik Dan CBR Tanah Lunak Di Proyek Jalan Tol Gempol – Pasuruan. | Muhammad Rizki Fathurrahman. (2018) | <ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui pengaruh dan hasil dari tanah asli yang ditambahkan / diperbaiki menggunakan zat tambah <i>fly ash</i> terhadap sifat fisik tanah (LL, PL, SL, dan <i>density</i>); - Mengetahui pengaruh dan hasil dari tanah asli yang ditambahkan / diperbaiki menggunakan zat tambah <i>fly ash</i> terhadap uji pematatan dan nilai CBR tanah. | <p>Pada percobaan ini dilakukan dilakukan uji <i>atterberg limit</i>, <i>density</i>, pematatan, dan CBR untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) dan kadar <i>fly ash</i> optimum serta pengaruhnya terhadap daya dukung tanah, dimana pada tiap sampel uji tersebut ditambahkan persentase kadar <i>fly ash</i> sebesar 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Menurut sistem klasifikasi tanah <i>Unified</i> termasuk ke dalam golongan MH (lanau plastisitas tinggi) sedangkan menurut klasifikasi AASHTO, termasuk ke dalam golongan tanah lempung grup A 6 (Silt & Clay), dimana hasil tersebut tidak merubah dari sifat tanah asli yang sudah ada; - Penambahan <i>fly ash</i> dapat menurunkan batas cair dan plastis, sementara meningkatkan batas susut dari tanah asli; - Dapat meningkatkan berat isi tanah sekaligus memperkecil nilai porositas dari tanah asli; dapat meningkatkan berat isi kering tanah dan menurunkan kadar air optimum (OMC) dari tanah asli. |

| Lanjutan Tabel 2.4 | | | | | |
|--------------------|---|---------------------------|--|--|--|
| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
| 4. | Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Tanah Lempung Di Daerah Randegansari Kabupaten Gresik Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) Test. | Puspita Anggraeni. (2014) | - Untuk mendapatkan hasil seberapa besar pengaruh penambahan <i>fly ash</i> pada tanah lempung di daerah Randegansari Kabupaten Gresik terhadap nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR). | Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Surabaya dengan cara membuat campuran tanah lempung dengan penambahan <i>fly ash</i> yang bervariasi penambahannya yaitu: 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, setelah itu akan dibuat benda uji dari masing-masing campuran <i>fly ash</i> dengan tanah lempung. | <ul style="list-style-type: none"> - Nilai CBR meningkat dengan semakin besar prosentase penambahan <i>fly ash</i> pada tanah lempung, yaitu besar nilai CBR pada prosentase <i>fly ash</i> (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) penetrasi 0,1” (1.22%, 1.58%, 1.6%, 2.83%, 4.00%), sedangkan penetrasi 0,2” (1.77%, 2.05%, 2.16%, 3.46%, 4.8%); - Batas minimum untuk memenuhi persyaratan subgrade (CBR 4%) pada penetrasi 0,1” dibutuhkan penambahan <i>fly ash</i> 20% dari tanah kering sedangkan pada penetrasi 0,2” dibutuhkan penambahan <i>fly ash</i> sebanyak 17,02%; - Nilai efisien untuk tanah dasar (<i>Subgrade</i>) dengan nilai CBR 4% yaitu pada penambahan <i>fly ash</i> sebanyak 20% untuk tanah lempung didaerah Randegansari Kabupaten Gresik. |

Lanjutan Tabel 2.4

| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
|----|---|-------------------------------|---|---|---|
| 5. | Analisis Penambahan <i>Fly Ash</i> Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Ekspansif. | Puspa Dewi Ainul Mala. (2017) | <ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan <i>fly ash</i> terhadap daya dukung pondasi dangkal pada tanah lempung ekspansif. | <ul style="list-style-type: none"> - Penelitian ini adalah penelitian eksperimen di laboratorium dengan melakukan serangkaian pengujian pada benda uji yang terbuat dari campuran tanah lempung dengan <i>Fly Ash</i>, dimana penelitian ini dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Unesa; - Variabel bebas adalah variabel yang sengaja dipelajari pengaruhnya (dengan cara memanipulasi) terhadap variabel terikat; - Variabel terikat adalah variabel akibat yang keadaannya akan tergantung pada variabel bebas; - Variabel kontrol adalah variabel perlakuan yang disamakan terhadap penelitian yang dilakukan. | <p>Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian di laboratorium mengenai pengaruh penambahan <i>fly ash</i> pada tanah lempung yang diambil di daerah Randegansari Kec. Driyorejo Kab. Gresik, nilai daya dukung pondasi dangkal dari tanah asli, didapat sebesar 66,253 t/m², dangkal sebesar 80,948 t/m², kemudian penambahan berikutnya 10% <i>fly ash</i> nilai daya dukung pondasi dangkal sebesar 102,038 t/m². Penambahan 15% <i>fly ash</i> didapat nilai daya dukung pondasi dangkal sebesar 114,178 t/m², sedangkan dengan penambahan 20% <i>fly ash</i> didapat nilai daya dukung pondasi dangkal sebesar 124,892 t/m². Dapat disimpulkan bahwa, semakin banyak penambahan <i>fly ash</i> pada tanah lempung ekspansif, maka semakin baik pula daya dukung tanah yang dihasilkan.</p> |

| Lanjutan Tabel 2.4 | | | | | |
|--------------------|--|-----------------------|---|--|---|
| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
| 6. | Stabilisasi Tanah Dengan Menggunakan Fly Ash Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). | Rama Indera K. (2016) | Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui klasifikasi dan indeks plastisitas tanah pada Jalan Raya Bojonegara Kabupaten Serang dengan pengujian fisik tanah dan mengetahui pengaruh penambahan fly ash terhadap sifat fisik tanah serta mengetahui nilai kuat tekan bebas tanah dalam kondisi eksisting dan setelah dicampurkan fly ash dengan kadar persentase bervariasi. | <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian sifat fisik tanah dan analisa besar butir untuk mengetahui jenis tanah; - Melakukan uji pematangan untuk mengetahui kadar air optimum dan berat isi kering maksimum tanah; - Melakukan pembuatan benda uji dengan kadar fly ash yang ditentukan yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%. Setelah benda uji jadi, lakukan pemeraman sesuai waktu yang ditentukan yaitu 0, 7, 14, dan 21 hari; - Melakukan uji <i>Unconfined Compression Test</i> (UCT), atau disebut juga uji kuat tekan bebas untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah tersebut; - Melakukan juga uji sifat fisik tanah untuk mengetahui pengaruh fly ash terhadap sifat fisik tanah. | <ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian fisik tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut masuk pada golongan tanah campuran lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batuan, pasir halus berlanau atau berlempung dengan sedikit plastisitas (ML); - Nilai qu tertinggi didapat dari tanah dengan kadar fly ash sebesar 20% dengan lama pemeraman selama 21 hari yang menghasilkan nilai qu sebesar 2,55 kg/cm², meningkat sebesar 202,38% dari nilai terendah yaitu 1,26 kg/cm²; - Semakin banyak kadar fly ash maka nilai batas plastis semakin besar; - Semakin banyak kadar fly ash maka nilai batas cair semakin besar; - Semakin banyak kadar fly ash maka nilai berat jenis semakin kecil. |

| Lanjutan Tabel 2.4 | | | | | |
|--------------------|--|------------------------|--|--|--|
| No | Judul | Peneliti | Tujuan | Metode | Kesimpulan |
| 7. | Kinerja Tanah Lunak Stabilisasi Fly Ash Dengan Perkuatan Serat Alami Sebagai Lapis Penutup Landfill. | Sukiman Nurdin. (2016) | <ul style="list-style-type: none"> - Menganalisis karakteristik fisik, mekanis dan mineral tanah lunak sebagai lapis penutup akhir landfill; - Menganalisis perilaku mekanis tanah lunak yang distabilisasi fly ash dan perkuatan serat tandang sawit; - Menganalisis perilaku kembang-susut serta keretakan tanah lunak yang distabilisasi fly ash dan perkuatan serat terhadap siklus basah kering; - Merancang uji model laboratorium konduktivitas hidrolik tanah stabilisasi fly ash dan serat. | <p>Metode penelitian yang akan dilaksanakan ini dapat dikategorikan sebagai bentuk penelitian eksperimental di laboratorium yang dapat didefinisikan sebagai sebuah pendekatan keilmuan dan sistematis dimana benda uji dan model uji di laboratorium diperiksa, diberi perlakuan, diamati, dikaji dan akhirnya dirangkum menjadi menjadi suatu kesimpulan penelitian tentang fenomena dan sasaran yang ingin dicapai sesuai dengan kerangka pikir penelitian.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Analisis gradasi tanah menunjukkan bahwa tanah asli merupakan jenis tanah pasir lanau yang mengandung fraksi lempung; - Nilai q_u tertinggi didapat dari Kapasitas tanah yang distabilisasi fly ash dan perkuatan serat berupa tingkat kepadatan, kuat tekan bebas dan kuat geser tanah menunjukkan peningkatan kapasitas yang signifikan dalam mendukung tanah sebagai lapis penutup landfill; - Potensi pengembangan dan penyusutan tanah asli dapat dikurangi dengan stabilisasi fly ash dan perkuatan serat; - Perilaku konduktivitas hidrolik tidak jenuh tanah menunjukkan peningkatan kapasitas dukung tanah dalam mengurangi rembesan akibat pengaruh kekentalan cairan (ρ). |



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian di lapangan meliputi survey lokasi pengambilan sampel tanah, pemboran tanah, dan pengambilan contoh tanah. Pemboran yang dilakukan adalah pemboran ringan sampai pada kedalaman dangkal (< 10 m). Bor yang digunakan adalah bor jenis iwan (*iwan auger*).

Penelitian di laboratorium menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui efektivitas *fly ash* sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah dasar. Pembuatan dan pengujian terhadap sampel akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Penelitian ini terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan bahan dan alat.
2. Pemeriksaan sifat fisik dan sifat mekanik tanah asli.
3. Perencanaan campuran dengan proporsi yang ditentukan berdasarkan metode coba-coba (*trial and error*) dan pembuatan sampel.
4. Pemeriksaan sifat mekanik campuran.
5. Analisis data.

3.2 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan yang diperlukan terdiri dari sampel tanah asli dan *fly ash*.

Alat yang dipersiapkan terdiri dari

1. Oven, timbangan, desikator dan cawan timbang tertutup dari gelas atau logam tahan karat untuk pemeriksaan kadar air.
2. Ring berat isi, jangka sorong, timbangan, oven desikator untuk pemeriksaan berat isi.
3. Piknometer, desikator, oven, bak perendam, botol berisi air suling, neraca, pompa hampa udara atau tungku listrik, termometer serta saringan dan penadahnya untuk pemeriksaan berat jenis.
4. Alat batas cair standar (*Atterberg*), alat pembuat alur (*grooving tool*) ASTM dan Casagrande, cawan porselin (*mortar*), pestel (penumbuk/penggerus) berkepala karet atau dibungkus karet, spatula/spatel, gelas ukur, cawan (*thin box*), Saringan, air destilasi dalam botol cuci (*wash bottle*) dan alat-alat pemeriksaan kadar air untuk pemeriksaan batas cair.
5. Plat kaca, spatula, batang pembanding, cawan porselin, cawan untuk menentukan kadar air, gelas ukur, neraca, oven dan air destilasi dalam botol cuci (*wash bottle*) untuk pemeriksaan batas plastis.
6. *Prong plate*, *monel dish*, *crystallizing dish*, cawan petry, *mercury*, *porselin dish*, neraca dan oven untuk pemeriksaan batas susut.
7. Mesin pengguncang saringan (*sieve analysis*), saringan (*sieve*), timbangan dan talam untuk pemeriksaan analisa saringan.

8. Hidrometer, tabung-tabung gelas, termometer, pengaduk mekanis dan mangkok dispresi, saringan, neraca, oven, batang pengaduk dari gelas, dan *stopwatch* untuk analisa hidrometer.
9. Mold pemadatan, palu pemadatan *standart* dan *modified*, pisau pemotong, palu karet, kantong plastik, sendok cawan, pan, gelas ukur, alat pengeluar contoh (*extruler mold*) dan timbangan untuk pemeriksaan pemadatan laboratorium.
10. Mesin penetrasi CBR, *CBR mold*, piring pemisah, palu penumbuk *modified*, alat pengeluar contoh (*extruler mold*), alat pengukur pengembangan (*swelling*) keping beban lubang bulat dan lubang alur, piston penetrasi, pengukur beban dan penetrasi, talam dan cawan, alat perata, bak perendam, timbangan, kantong plastik, gelas ukur, dan kertas saring (*filter*) untuk pemeriksaan CBR laboratorium.

3.3 Pemeriksaan Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Tanah Asli

3.3.1 Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah Asli

Pemeriksaan sifat fisik tanah asli meliputi:

a. Pemeriksaan Kadar Air (*Water Content*)

Maksud pemeriksaan ini adalah memeriksa kadar air suatu contoh tanah.

Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat kering tanah, yang dinyatakan dalam persen. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D 2216-71.

b. Pemeriksaan Berat Isi (*Density Test*)

Maksud pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui berat isi, isi pori, serta derajat kejenuhan suatu sampel tanah. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D 2216-71.

c. Pemeriksaan Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Maksud pemeriksaan ini adalah untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan No.4 dengan piknometer. Berat jenis tanah adalah perbandingan. Antara berat butir tanah dengan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D 854-58.

d. Pemeriksaan Batas-batas Atterberg

1) Pemeriksaan Batas cair (*Liquid Limit*)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair suatu tanah adalah kadar air tanah tersebut pada keadaan batas peralihan Antara cair dan keadaan plastis. Tanah dalam keadaan pada batas cair apabila diperiksa dengan alat Casagrande, kedua bagian tanah dalam mangkok yang terpisah oleh alur lebar 2 mm, menutup sepanjang 12,7 mm oleh 25 pukulan. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D 4318-66.

2) Pemeriksaan Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum dimana

suatu tanah masih dalam keadaan plastis. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D 423-66.

3) Pemeriksaan Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk menentukan kadar air sampel tanah pada batas keadaan semi padat dan keadaan padat. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur AASHTO T-92-68.

e. Pemeriksaan Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui ukuran butir dan susunan butir (gradasi). Tanah yang tertahan pada saringan No.200. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan Prosedur ASTM D 422-63.

f. Analisis Hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk menentukan pembagian ukuran butir dari tanah yang lewat saringan No.200. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D 423-66.

3.3.2 Pemeriksaan Sifat Mekanik Tanah Asli

Pemeriksaan sifat mekanik tanah asli meliputi:

a. Pemeriksaan Pemadatan Laboratorium (*Compaction Test*)

Tujuan pemeriksaan ini adalah mengetahui hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Dapat disebut juga *proctor test* dan dapat dilakukan secara *standard* maupun *modified*. Masa pemeraman sampel 3 hari dan 7 hari, dengan prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur ASTM D-1557.

b. Pemeriksaan CBR Laboratorium (*Laboratory CBR*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan CBR (*California Bearing Ratio*) tanah dan campuran agregat di laboratorium pada kadar air tertentu, CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Masa pemeraman sampel 3 hari dan 7 hari dan prosedur pelaksanaan pemeriksaan sesuai dengan prosedur PB 0113-76; AASHTO T-193-81; ASTM D-1883-73.

3.4 Perencanaan Sampel dan Campuran

Campuran direncanakan berdasarkan metode coba-coba (*trial and error*) yaitu tanah dicampur dengan *fly ash* dengan persentase *fly ash* sebesar 5%, 7,5%, dan 10% dari berat tanah dan masa pemeraman yaitu selama 3 hari dan 7 hari, sebelum dilakukan pengujian CBR dan pengujian yang lainnya.

3.5 Pemeriksaan Sifat Mekanik Campuran

1. Pemeriksaan Pemadatan Laboratorium (*Compaction Test*)

Tujuan pemeriksaan, jumlah sampel, masa pemeraman dan prosedur pelaksanaan pemeriksaan sama dengan pemeriksaan sifat mekanis tanah asli.

2. Pemeriksaan CBR Laboratorium (*Laboratory CBR*).

Tujuan pemeriksaan, jumlah sampel, masa pemeraman dan prosedur pelaksanaan pemeriksaan sama dengan pemeriksaan sifat mekanis tanah asli.

3.6 Analisis Data

Analisis data hasil pengujian meliputi analisis varian.

1. Analisis Varian

Analisis varian bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa perlakuan terhadap suatu populasi pada suatu penelitian. Analisis varian menggunakan uji F.

Nilai F dihitung dengan rumus:

$$F = \frac{MS_p}{MS_e} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

MS_p = Mean Square antar perlakuan

MS_e = Mean Square Error (dalam perlakuan)

Tabel 3.1 Analisis Varian

| Uraian | Perlakuan (i) | | | |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Data (i) | X ₁₁ | X ₁₂ | ... |
| | X ₂₁ | X ₂₂ | ... | X _{2k} |
| | ... | ... | ... | ... |
| | X _{i1} | X _{i2} | ... | X _{ik} |
| Total | T ₁ | T ₂ | ... | T _k |
| Jumlah Data | n ₁ | n ₂ | ... | n _k |
| Rata-rata | x ₁ | x ₂ | ... | x _k |

Sumber: Dixon, 1991

Langkah-langkah dalam analisis varian (Welkowitz, 1982) adalah sebagai berikut:

a. Menghitung *Correction Factor* (CF)

$$CF = \frac{(\sum T_j)^2}{n_{total}} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

CF = *Correction Factor*

$\sum T_j$ = $T_1 + T_2 + \dots + T_k$

n_{total} = $n_1 + n_2 + n_3$

b. Menghitung *Sum Square* total (SS_t)

$$SS_t = \sum (x_{ij})^2 - CF \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

SS_t = *Sum Square* total

x_{ij} = Data ke-i dari perlakuan ke-j

c. Menghitung *Sum Square* antar perlakuan (SS_p)

$$SS_p = \frac{(T_1)^2}{n_1} + \frac{(T_2)^2}{n_2} + \dots + \frac{(T_k)^2}{n_k} - CF \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

SS_p = *Sum Square* antar perlakuan

T_1, T_2, \dots, T_k = Total data pada perlakuan ke-1,2, ..., k

n_1, n_2, \dots, n_k = Banyak data pada perlakuan ke-1,2, ..., k

CF = *Correction Factor*

d. Menghitung *Sum Square Error* (SS_e)

$$SS_e = SS_t - SS_p \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan:

SS_e = *Sum Square Error*

SS_t = *Sum Square* total

SS_p = *Sum Square* antar perlakuan

- e. Menghitung derajat kebebasan (*Degree of Freedom = DF*)

$$DF_p = j - 1 \dots\dots\dots (3.6)$$

$$DF_t = n_{total} - 1 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$DF_e = DF_t - DF_p \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan:

DF_p = Derajat kebebasan antar perlakuan

J = Banyaknya perlakuan

DF_t = Derajat kebebasan total

DF_e = Derajat kebebasan *Error*

- f. Menghitung *Mean Square* antar perlakuan (MS_p) dan *Mean Square Error* (MS_e)

$$MS_p = \frac{SS_p}{DF_p} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$MS_e = \frac{SS_e}{DF_e} \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan:

MS_p = *Mean Square* antar perlakuan

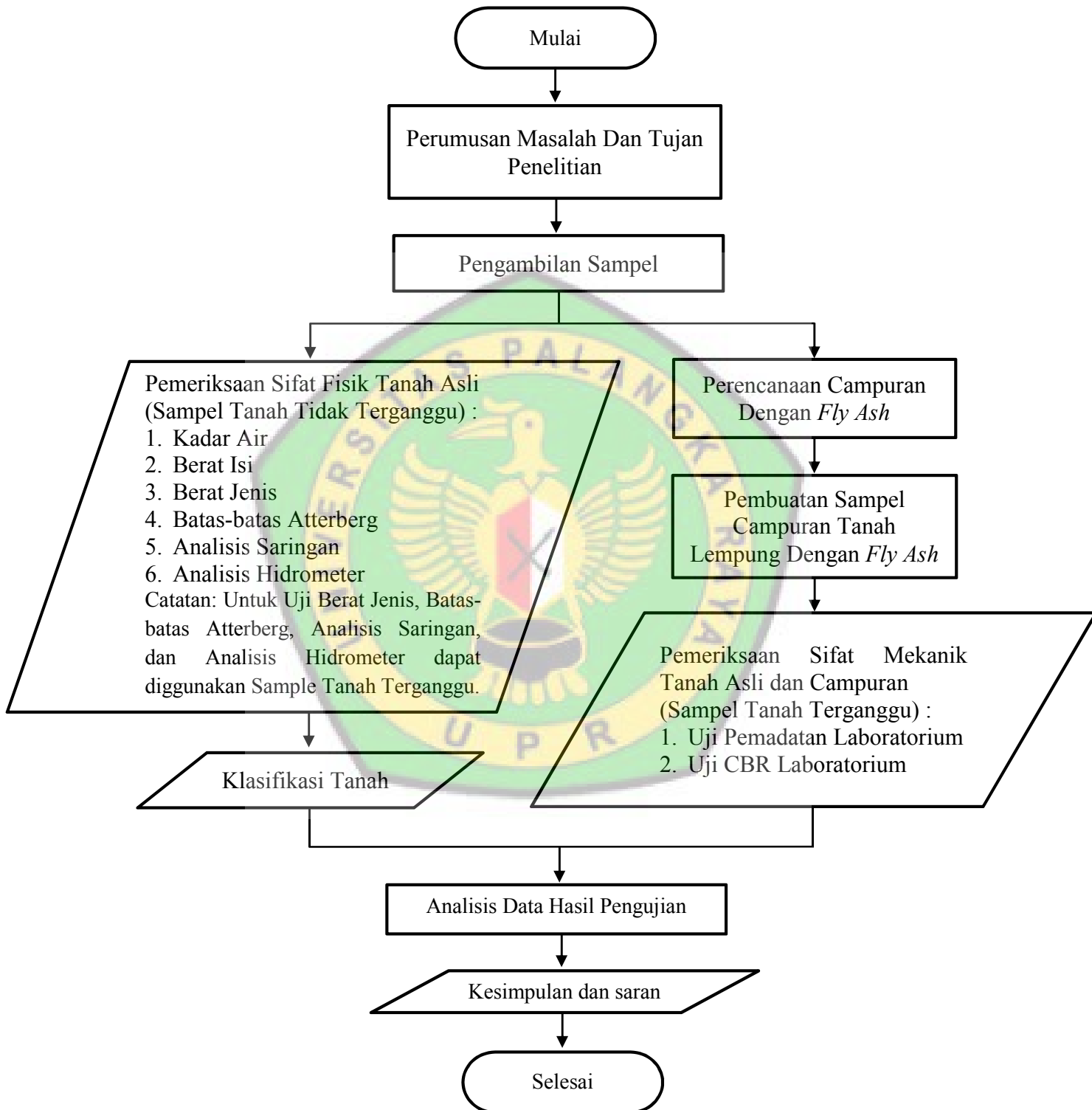
MS_e = *Mean Square Error*

- g. Menghitung nilai F

$$F = \frac{MS_p}{MS_e} \dots\dots\dots (3.11)$$

Perlakuan memberikan pengaruh yang nyata apabila $F_{perhitungan} > F_{tabel}$

3.7 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah dilakukan beberapa pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi kadar air, berat isi, berat jenis, dan batas-batas *Atterberg*. Pengujian sifat-sifat fisik dilakukan untuk mengklasifikasikan tanah. Pengujian ini menggunakan tanah tidak terganggu. Pada pengujian sifat-sifat mekanik tanah dilakukan dalam 2 (dua) kondisi yaitu kondisi tanah asli dan kondisi tanah yang telah dicampuri *fly ash*.

4.1.1 Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah

| No. | Jenis Pemeriksaan | Hasil Pengujian | | | Rata - rata |
|-----|--|-----------------|-----------|-------|-------------|
| | | Sampel I | Sampel II | | |
| 1. | Kadar Air (<i>Water Content</i>) % | 27,41 | 24,64 | | 27,02 |
| 2. | Berat Isi (<i>Denisty Test</i>) gr/cm ³ | 1,45 | 1,39 | | 1,42 |
| 3. | Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>) | 2,73 | 2,75 | | 2,74 |
| 4. | Batas-Batas <i>Atterberg</i> (%) | | | | |
| | a. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>) | 39,12 | 29,96 | 16,55 | 28,54 |
| | b. Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>) | 15,46 | | 15,35 | 15,41 |
| | c. Indeks Plastisitas (<i>Plastic Indeks</i>) | 13,08 | | 13,19 | 13,13 |
| | d. Batas Susut (<i>Shrinkage Limit</i>) | 14,45 | | 15,39 | 14,92 |
| 5. | Analisis Saringan | | | | |
| | a. Persentase Berat Tertahan (%) | 9,47 | | 9,98 | 9,73 |
| | b. Persentase Lolos (%) | 54,47 | | 51,47 | 52,97 |
| 6. | Analisis <i>Hydrometer</i> (%) | 12,86 | | 11,05 | 11,96 |

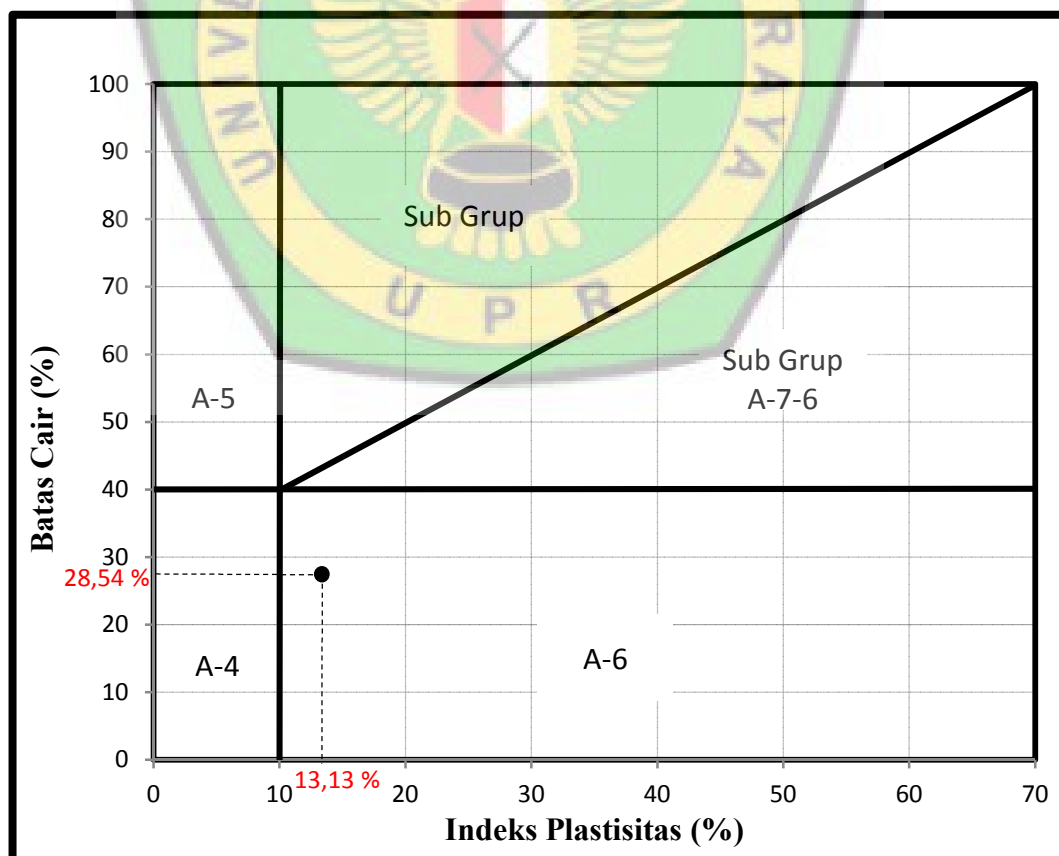
Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium (2020)

4.1.2 Klasifikasi Tanah

a. Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO mengikuti prosedur sebagai berikut:

- 1) Dari hasil pemeriksaan analisis saringan, persentase material lolos saringan No. 200 (0,075 mm) adalah 52,97 % > 35%, maka tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi lanau-lempung (silt clay), kelompok A-4, A-5, A-6 atau A-7.
- 2) Pemeriksaan batas-batas *Atterberg* didapat nilai batas cair (LL) rata-rata = 28,54% < 40% dan indeks plastisitas (PI) rata-rata = 13,13% > 11% maka tanah tersebut termasuk kelompok A-6. (Gambar 4.1)



Gambar 4.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO

Kelompok A-6 adalah kelompok tanah berlempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar. Sistem klasifikasi ini membagi tanah dalam beberapa kelompok yang setiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya. Perhitungan indeks kelompok (GI) berdasarkan persamaan 2.1 adalah

$$GI = (F - 35) ((0,2 + 0,005 (LL - 40)) + 0,01 (F - 15) (PI - 10))$$

$$GI = (52,97 - 35)(0,2 + 0,005 (28,54 - 40)) + 0,01 (52,97 - 15)(13,13 - 10)$$

$$= 3,75 \sim 4$$

Jadi, tanah diklasifikasikan sebagai tanah berlempung dalam kelompok A-6 (4).

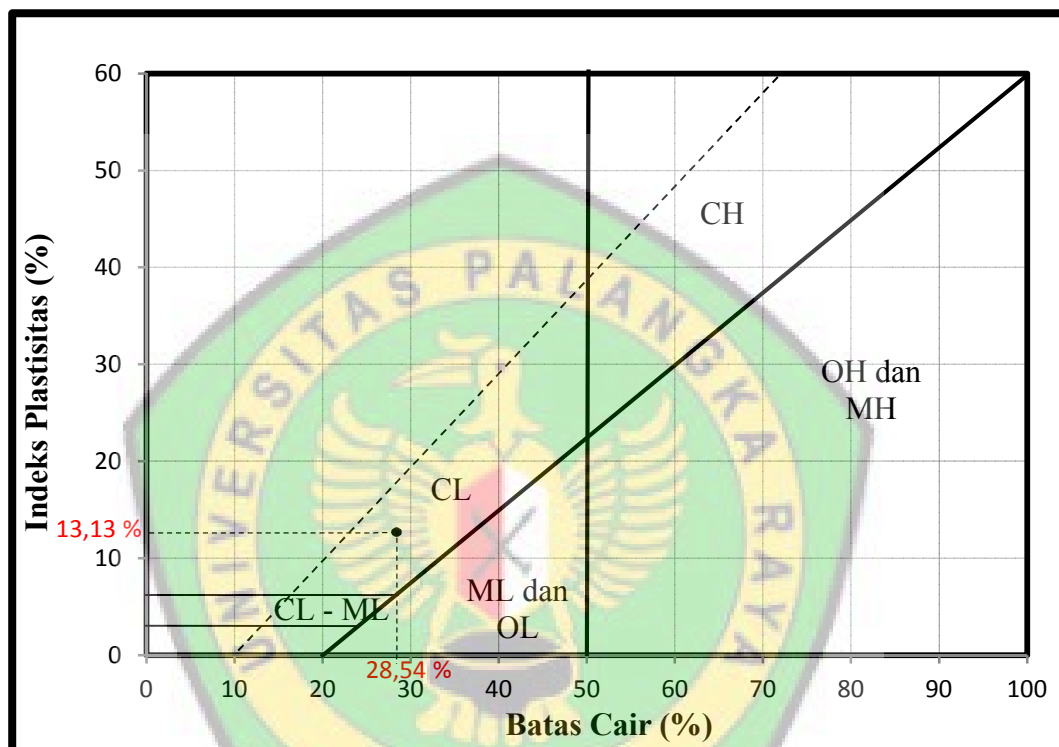
b. Sistem Klasifikasi USCS

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS mengikuti prosedur sebagai berikut:

- 1) Dari hasil pemeriksaan analisis saringan, persentase material lolos saringan No.200 (0,0075 mm) rata-rata = 52,97% > 50%, maka tanah tersebut termasuk tanah berbutir halus.
- 2) Dari hasil pemeriksaan batas-batas *Atterberg*, didapat nilai batas cair (LL) rata-rata = 28,54% < 50%, maka tanah tersebut termasuk kelompok ML, CL atau OL.
- 3) Dari grafik batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) (gambar terlampir) diperoleh LL dan PL yang diplot berada di bawah garis A, maka tanah tersebut termasuk kelompok CL.

- 4) Secara visual, tanah berwarna kuning dan bercampur dengan sedikit pasir, maka tanah tersebut termasuk dalam kelompok CL.

Kelompok CL merupakan kelompok lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir lempung berlanau, lempung “kurus” (*lean clays*).



Gambar 4.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi USCS

4.1.3 Pemeriksaan Perencanaan Campuran.

Maksud percobaan ini adalah untuk memeriksa persentase campuran tiap sampel, mengetahui berat masing - masing sampel, mengetahui masa pemeraman sampel, mengetahui penambahan air untuk pengujian tanah asli bercampur *fly ash*.

Tabel 4.2 Uraian Persentase Campuran *Fly Ash* Untuk Pemadatan Laboratorium

| Nama Sampel | Persentase <i>Fly Ash</i> (%) | Persentase Tanah Asli (%) | Berat <i>Fly Ash</i> (gr) | Berat Tanah Asli (gr) | Penambahan Air (cc) | | | | |
|-------------|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | Mold 1 | Mold 2 | Mold 3 | Mold 4 | Mold 5 |
| I | Sampel Tanah Asli (Masa pemeraman 0 Hari) | | | | | | | | |
| I - 1 | 0% | 100% | 0 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| II | Sampel Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> (Masa pemeraman 3 Hari) | | | | | | | | |
| II - 1 | 5% | 100% | 125 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| II - 2 | 7,5% | 100% | 187,5 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| II - 3 | 10% | 100% | 250 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| III | Sampel Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> (Masa pemeraman 7 Hari) | | | | | | | | |
| III - 1 | 5% | 100% | 125 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| III - 2 | 7,5% | 100% | 187,5 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| III - 3 | 10% | 100% | 250 gr | 2500 gr | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |

Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium (2020)

Tabel 4.3 Uraian Persentase Campuran *Fly Ash* Untuk CBR Laboratorium

| Nama Sampel | Persentase <i>Fly Ash</i> (%) | Persentase Tanah Asli (%) | Berat <i>Fly Ash</i> (gr) | Berat Tanah Asli (gr) | Penambahan Air (cc) | | |
|-------------|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | | | | | Tumbukan 10 x | Tumbukan 25 x | Tumbukan 56 x |
| I | Sampel Tanah Asli (Masa Pemeraman 0 Hari) | | | | | | |
| I - A | 0% | 100% | 0 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |
| II | Sampel Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> (Masa Pemeraman 3 Hari) | | | | | | |
| II - A | 5% | 100% | 300 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |
| II - B | 7,5% | 100% | 450 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |
| II - C | 10% | 100% | 600 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |
| III | Sampel Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> (Masa Pemeraman 7 Hari) | | | | | | |
| III - A | 5% | 100% | 300 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |
| III - B | 7,5% | 100% | 450 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |
| III - C | 10% | 100% | 600 gr | 6000 gr | 960 | 960 | 960 |

Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium (2020)

4.1.4 Pengujian Sifat-sifat Mekanik Tanah

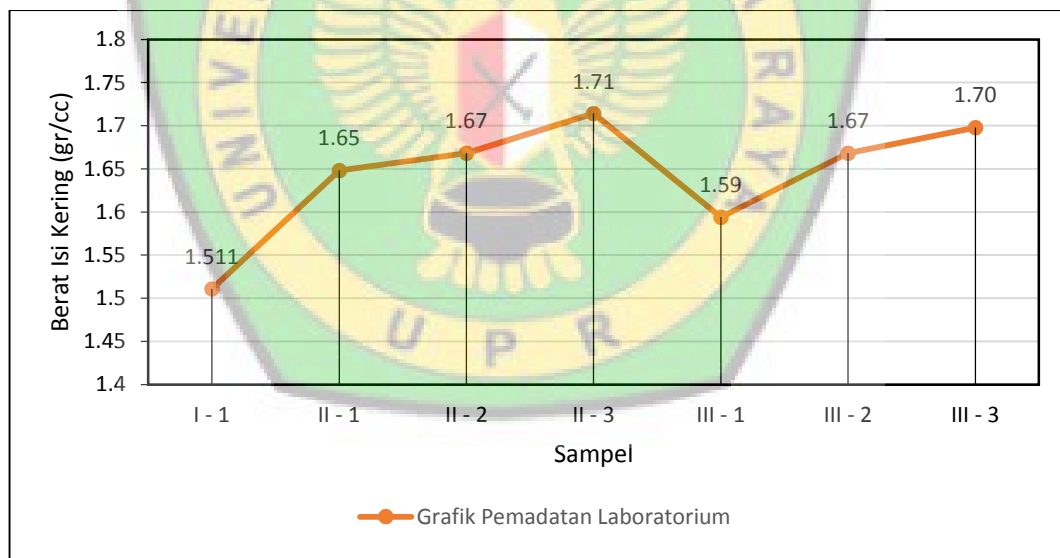
Pengujian sifat – sifat mekanik tanah di laboratorium terdiri dari pemadatan laboratorium dan CBR laboratorium. Pengujian ini dilakukan dengan cara standar proctor.

a. Pemadatan Laboratorium

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pemadatan Laboratorium

| Sampel | Berat Isi Kering (gr/cc) |
|---------|--------------------------|
| I - 1 | 1,511 |
| II - 1 | 1,648 |
| II - 2 | 1,668 |
| II - 3 | 1,714 |
| III - 1 | 1,594 |
| III - 2 | 1,668 |
| III - 3 | 1,698 |

Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium (2020)



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Pemadatan Laboratorium

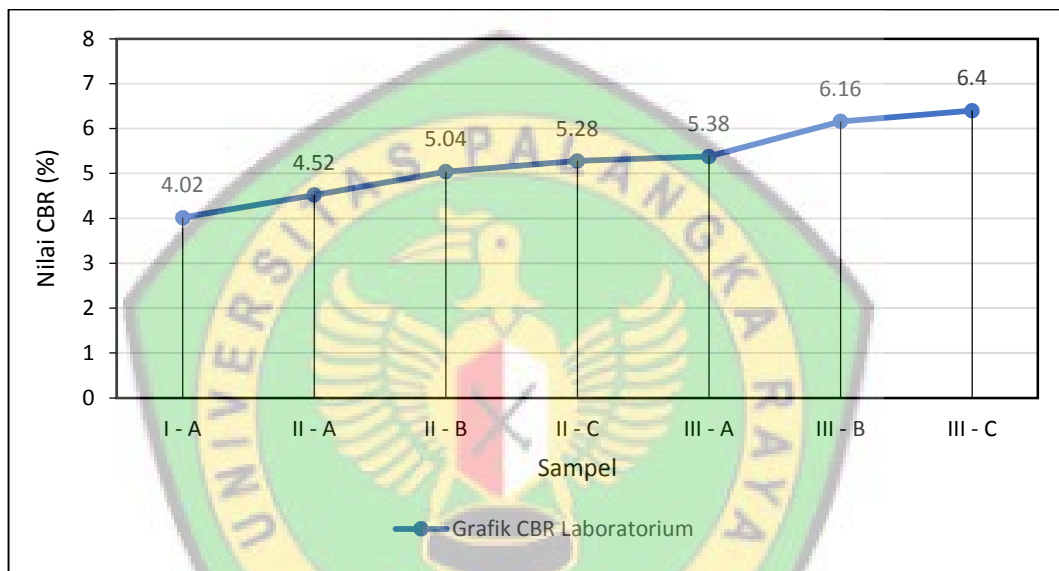
Kesimpulan : Berat isi kering tanah asli sebesar 1,511, dan dengan penambahan *fly ash* mendapatkan berat isi kering terbesar menurut grafik di atas terjadi pada penambahan *fly ash* 10% pada masa pemeraman 3 hari sebesar 1,714. Maka dapat disimpulkan terjadi kenaikan 13,435% dari tanah asli ke persentase penambahan *fly ash* yg tertinggi.

b. CBR Laboratorium

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Laboratorium

| Sampel | Nilai CBR (%) |
|---------|---------------|
| I – A | 4,02 |
| II – A | 4,52 |
| II – B | 5,04 |
| II – C | 5,28 |
| III – A | 5,38 |
| III – B | 6,16 |
| III – C | 6,40 |

Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium (2020)



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Kesimpulan : Nilai CBR tanah asli sebesar 3,94, dan dengan penambahan *fly ash* mendapatkan nilai CBR terbesar menurut grafik di atas terjadi pada penambahan *fly ash* 10% pada masa pemeraman 7 hari sebesar 6,40. Maka dapat disimpulkan terjadi kenaikan 59,204% dari tanah asli ke persentase penambahan *fly ash* yg tertinggi.

4.2 Pembahasan

1. Analisis Varian

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR tanah dasar perlu dilakukan pengujian, dalam hal ini digunakan analisis varian satu arah (*one way anova*).

Hipotesis penelitian adalah :

Ha : Terhadap perbedaan yang signifikan dari nilai CBR pada berbagai persentase penambahan *fly ash*.

Ho : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari nilai CBR pada berbagai persentase penambahan *fly ash*.

Tabel 4.6 Analisis Varian Perbaikan Daya Dukung Tanah Dengan *Fly Ash*

| No. | Berat Isi Kering Rata-rata untuk Berbagai Penambahan <i>Fly Ash</i> | | | A ² | B ² | C ² |
|-----|---|-------|-------|----------------|----------------|----------------|
| | A | B | C | | | |
| 1. | 1,648 | 1,668 | 1,714 | 2.716 | 2.782 | 2.938 |
| 2. | 1,594 | 1,668 | 1,698 | 2.541 | 2.782 | 2.883 |
| Σ | 3,242 | 3,336 | 3,412 | 5,257 | 5,564 | 5,821 |
| | 9,990 | | | 16,642 | | |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2020)

Keterangan :

A = Persentase *Fly Ash* 5%

B = Persentase *Fly Ash* 7,5%

C = Persentase *Fly Ash* 10%

1 = Masa Pemeraman 3 Hari

2 = Masa Pemeraman 7 Hari

Tahapan pengujian dengan analisis varian menggunakan uji F adalah :

- a. Menghitung *Correction Faktor (CF)* berdasarkan persamaan (3.2)

$$\begin{aligned} CF &= \frac{(9,990)^2}{6} \\ &= 16,633 \end{aligned}$$

- b. Menghitung *Sum Square total (SS_t)* berdasarkan persamaan (3.3)

$$\begin{aligned} SS_t &= 16,642 - 16,633 \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

- c. Menghitung *Sum Square* antar perlakuan (*SS_p*) berdasarkan persamaan (3.4)

$$\begin{aligned} SS_p &= \frac{(3,242)^2}{2} + \frac{(3,336)^2}{2} + \frac{(3,412)^2}{2} - 16,633 \\ &= 0,007 \end{aligned}$$

- d. Menghitung *Sum Square Error (SS_e)* berdasarkan persamaan (3.5)

$$\begin{aligned} SS_e &= 0,009 - 0,007 \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

- e. Menghitung Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom = DF*) berdasarkan persamaan (3.6), (3.7), dan (3.8)

$$DF_p = 2 - 1 = 1$$

$$DF_t = 7 - 1 = 6$$

$$DF_c = 6 - 1 = 5$$

- f. Menghitung *Sum Square* antar perlakuan (*MS_p*) dan *Mean Square Error (MS_e)* berdasarkan persamaan (3.9), dan (3.10)

$$\begin{aligned} MS_p &= \frac{0,007}{1} \\ &= 0,007252 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MSe} &= \frac{0,002}{5} \\ &= 0,000317 \end{aligned}$$

g. Menghitung nilai F berdasarkan persamaan (3.11)

$$\begin{aligned} F_{\text{Hitung}} &= \frac{0,007252}{0,000317} \\ &= 22,863 \end{aligned}$$

Untuk nilai $DF_p = 1$ dan $DF_c = 5$ dari tabel nilai persentil untuk distribusi F didapat :

$$F_{\text{tabel } 0,01} = 16,26$$

$$F_{\text{tabel } 0,02} = 6,61$$

Karena $F_{\text{tabel } 0,01} = 16,26 < F_{\text{hitung}} = 22,863$ dan $F_{\text{hitung}} = 22,863 > F_{\text{tabel } 0,02} = 6,61$, maka hipotesis H_0 ditolak sehingga disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* mempunyai pengaruh yang “nyata” terhadap nilai CBR untuk perbaikan daya dukung tanah.

2. Hubungan Nilai CBR, Masa Pemeraman , dan Berat Isi Kering

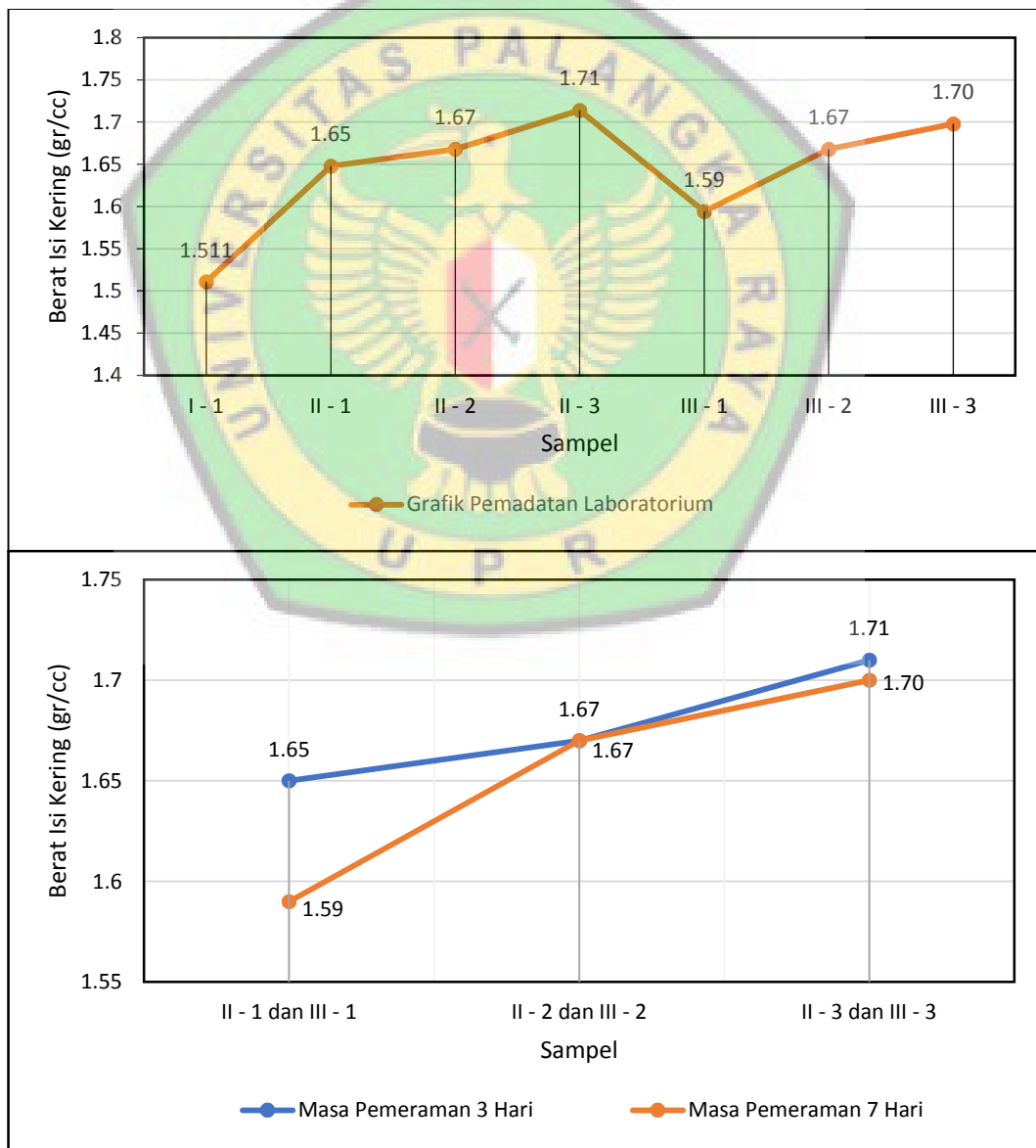
Maksimum

Tabel 4.7 Nilai CBR Rata-rata dan Berat Isi Kering Maksimum Pada Berbagai Penambahan *FlyAsh*

| Umur Pemeraman | Penambahan <i>Fly Ash</i> (%) | Berat Isi Kering Maksimum (gr/cc) | Nilai CBR Rata – rata (%) |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 0 Hari | 0 % | 1,511 | 4,02 |
| 3 Hari | 5 % | 1,648 | 4,52 |
| | 7,5 % | 1,668 | 5,04 |
| | 10 % | 1,714 | 5,28 |
| 7 Hari | 5 % | 1,594 | 5,38 |
| | 7,5 % | 1,668 | 6,16 |
| | 10 % | 1,698 | 6,40 |

Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium (2020)

Berdasarkan kolom tabel di atas menunjukkan penambahan *fly ash* pada tanah dengan perbandingan masa pemeraman tidak selalu meningkatkan berat isi kering maksimum pada pengujian pemadatan laboratorium, sedangkan penambahan *fly ash* pada tanah untuk pengujian CBR dengan perbandingan umur pemeraman antara 3 hari dan 7 hari selalu meningkatkan nilai CBR yang signifikan. Peningkatan nilai CBR terbesar terjadi pada persentase penambahan *fly ash* 10% dari tanah asli dengan masa pemeraman 7 hari.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Sifat – sifat fisik tanah di dapat nilai, kadar air = 27,02%; berat isi = 1,42 gr/cm³; berat jenis = 2,74%; batas – batas *Atterberg* yaitu *LL* = 28,54%; *PL* = 15,41%; *PI* = 13,13%; *SL* = 14,92%; analisis saringan persentase lolos = 52,97%. Menurut AASHTO tanah diklasifikasikan sebagai tanah berlempung dalam kelompok A-6 (4), dan menurut sistem USCS tanah diklasifikasikan sebagai tanah berlempung anorganik masuk dalam kelompok CL. Sifat mekanik tanah di dapat nilai pemadatan laboratorium, untuk sampel tanah asli didapat, *OMC* = 27,10%, dan $\gamma_{d \max} = 1,511(\text{gr/cc})$. Untuk Penambahan *fly ash* tertinggi dengan komposisi tanah asli 100% dan *fly ash* 10% dan masa pemeraman 3 hari didapat *OMC* = 19,20%, $\gamma_{d \max} = 1,714(\text{gr/cc})$, maka dapat disimpulkan terjadi kenaikan 13,435% dari tanah asli ke persentase penambahan *fly ash* yang tertinggi.
2. Persentase nilai CBR untuk sampel tanah asli didapat Nilai CBR = 4,02%. Untuk umur pemeraman 3 hari nilai CBR tertinggi dengan komposisi tanah asli 100% dan *fly ash* 10% didapat = 5,28%. Untuk sampel campuran tertinggi dengan komposisi tanah asli 100% dan *fly ash* 10% dan masa

pemeraman 7 hari didapat nilai CBR = 6,40%, maka dapat disimpulkan terjadi kenaikan 59,204% dari tanah asli ke persentase penambahan *fly ash* yang tertinggi.

3. Hasil analisis varian penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR tanah dasar menyatakan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai CBR untuk perbaikan daya dukung tanah dengan persentase kenaikan 59,204% dari tanah asli ke persentase penambahan *fly ash* dan pemeraman yang tertinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analisis data yang dilakukan, maka disarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Untuk melihat kenaikan atau penurunan CBR tanah, sebaiknya dilakukan penambahan umur pemeraman.
2. Persentase penambahan *fly ash* pada campuran sebaiknya dilakukan penambahan agar memperoleh data yang optimal.
3. Pemeriksaan pemadatan laboratorium dan pemeriksaan CBR laboratorium dapat menggunakan cara modified.
4. Pengawasan intensif perlu dilakukan pada pelaksanaan pembuatan sampel di laboratorium dan juga perlu diperhatikan kondisi peralatan yang digunakan pada saat penelitian sehingga diperoleh data yang akurat.
5. Penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan menggunakan campuran bahan kimia lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A Costa, Dafi, 2009. *Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Dari Pembakaran Batu Bara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor*. Jurnal teknologi mineral dan batu bara.
- Bowles, Joseph E., 1989. *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, Joseph E., 1986. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chapra, S. C. dan R. P. Canale, 1991. *Metode Numerik*, Edisi Kedua (Alih Bahasa Oleh: I Nyoman S), Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja. M., 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Geoteknis)*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja, M., 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid-1*, Erlangga, Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 1986. *Pengujian Tanah dan Batuan*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Dixon, W. J dan Frank J. Manssey, 1991. *Pengantar Analisis Statistik*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992. *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Harijono, D., 2006. *Fly Ash dan Pemanfaatannya*, Prosiding Seminar Nasional Batubara Indonesia, Yogyakarta. UGM.
- Ingles, & Metcalf, 1972. *Soil Stabilization, Principles and Practice*. USA, USA.
- Koesnadi, Heri, 2008. *Fly Ash*. http://heri-mylife.blogspot.com/2008/06/fly_ash.html.
- Marinda, P, 2008. *Kumpulan Artikel Abu Terbang Batubara*, <http://www.pu.go.id>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun, 1999. *Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun*. 7 Oktober 1999. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1999. Jakarta.

- Prahasto, Tony dan Sugiyanto, 2007. *Efek Penggunaan Fly Ash sebagai Bahan Cetakan Pada Proses Pengecoran Besi Ditinjau Dari Kekerasan dan Struktur Mikro*. Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Skempton, A.W., 1953. *The Colloid Activity of Clays*, Proceedings, 3rd Internasional Convergence of Soil Mechanic and Foundations Engineering London.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E., 1997. *Mekanika Tanah I*, Yogyakarta, Kanisius.
- Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto, 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Wahyuni, Ida, 2004. *Penggunaan Batu Kapur Sebagai Bahan Alternatif Stabilisasi Tanah Dasar Pada Ruas Jalan Palangka Raya – Bukit Rawi*, Tugas akhir Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno, 2008. *Pemanfaatan Limbah Batu bara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Welcowitz, J., Ewen, R.B., and Cohen, J., 1982. *Introductory statistics for the behavioral sciences*, Third edition. Orlando, Florida. Harcourt, Brace Jovanovich, Inc.
- Wesley, L. D., 1977. *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.