

**STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CAMPURAN SEMEN DAN DIFA *SOIL STABILIZER* UNTUK
PENGAPLIKASIAN PERKERASAN JALAN**

(Skripsi)

Oleh

RANTA KURNIAWAN PUTRA

1715011009



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN SEMEN DAN DIFA *SOIL STABILIZER* UNTUK PENGAPLIKASIAN PERKERASAN JALAN

Oleh

RANTA KURNIAWAN PUTRA

Tanah memiliki komposisi yang terdiri dari suatu komponen bahan organik, daya dukung tanah lempung akan berkurang dengan adanya bahan organik di dalam tanah lempung tersebut. Oleh karena itu, penggunaan bahan aditif seperti semen dan DIFA *Soil Stabilizer* dapat menjadi pilihan untuk meningkatkan kekuatan tanah pada jenis tanah lempung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beberapa variasi pada campuran tanah asli, semen dan DIFA *Soil Stabilizer*. Setelah di stabilisasi menggunakan campuran semen dan Difa SS dilakukan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Pengujian CBR dilakukan setelah sampel berumur 4, 7, dan 14 hari masa pemeraman, dan 4 hari masa perendaman. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai CBR tanah asli + semen + DIFA *Soil Stabilizer* mengalami peningkatan, Kenaikan nilai CBR terhadap variasi campuran dan lama pemeraman dan rendaman cenderung mengalami peningkatan yang konstan, yaitu dengan meningkatnya variasi campuran dan semakin lama waktu pemeraman maka nilai CBR nya akan semakin meningkat. Kemudian setelah mendapatkan nilai CBR pada beberapa sampel benda uji dilakukan perhitungan tebal lapis perkerasan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017, dengan hasil meningkatnya nilai CBR tanah asli dikarenakan stabilisasi yang telah dilakukan maka dapat meminimalisir tebal lapis perkerasan jalan.

Kata kunci : Stabilisasi, Tanah Lempung, Semen, DIFA SS, CBR

ABSTRACT

CLAY SOIL STABILIZATION USING CEMENT AND DIFA SOIL STABILIZER MIXTURES FOR ROAD PAVEMENT APPLICATIONS

By

RANTA KURNIAWAN PUTRA

The soil has a composition consisting of a component of organic matter, the carrying capacity of clay soil will decrease with the presence of organic matter in the clay soil. Therefore, the use of additives such as cement and DIFA Soil Stabilizer can be an option to increase soil strength in clay soil types. This study aims to analyze several variations in the mixture of native soil, cement and DIFA Soil Stabilizer. After stabilization using a mixture of cement and Difa SS, CBR (California Bearing Ratio) testing was carried out. CBR testing is performed after the samples are 4, 7, and 14 days old in the souring period, and 4 days of soaking period. The results show that the CBR value of the original soil + cement + DIFA Soil Stabilizer has increased, the increase in the CBR value of the mixture variation and the length of souring and soaking tends to experience a constant increase, that is, with the increase in mixture variation and the longer the souring time, the CBR value will increase. Then after obtaining the CBR value on several test object samples, a calculation of the thickness of the pavement layer was carried out using the 2017 Road Pavement Design Manual (MDPJ) method, with the results of increasing the original soil CBR value due to the stabilization that has been carried out, it can minimize the thickness of the road pavement layer.

Keywords : Stabilization, Clay Soil, Cement, DIFA SS, CBR

**STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CAMPURAN SEMEN DAN DIFA *SOIL STABILIZER* UNTUK
PENGAPLIKASIAN PERKERASAN JALAN**

Oleh

RANTA KURNIAWAN PUTRA

1715011009

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

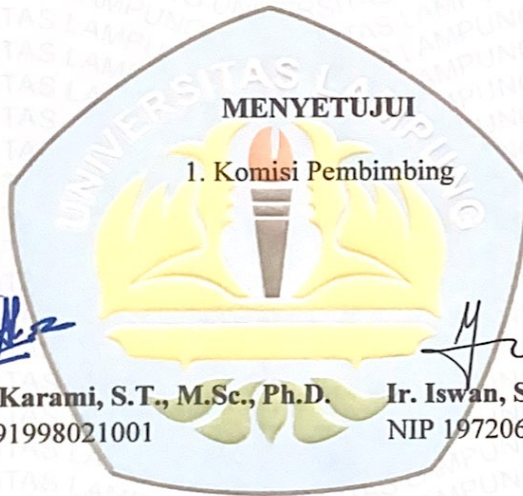
Judul Skripsi : **STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN SEMEN DAN DIFA *SOIL STABILIZER* UNTUK PENGAPLIKASIAN PERKERASAN JALAN**

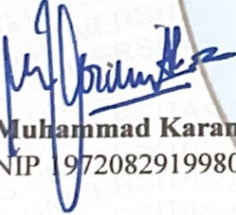
Nama Mahasiswa : **RANTA KURNIAWAN PUTRA**

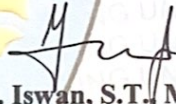
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011009

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

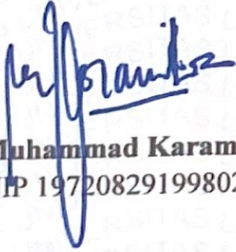



Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 197208291998021001


Ir. Iswan, S.T., M.T.
NIP 197206082005011001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

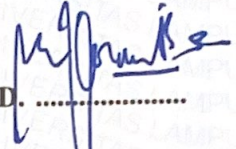

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 197208291998021001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 196204081989032001

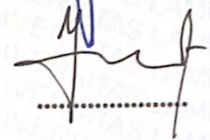
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.



Sekretaris : Ir. Iswan, S.T., M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 November 2022

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Ranta Kurniawan Putra**

NPM : 1715011009

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menggunakan Campuran
Semen Dan DIFA *Soil Stabilizer* Untuk Pengaplikasian
Perkerasan Jalan

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Desember 2022

Pembuat Pernyataan,



Ranta Kurniawan Putra

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kelapa Tujuh pada tanggal 6 Juni 1999.

Penulis merupakan anak pertama dari Empat bersaudara dari

Bapak Misranto dan Ibu Yulita. Jenjang pendidikan yang

ditempuh oleh penulis yaitu pendidikan dasar di SD Negeri 03

Liwa, pendidikan menengah tingkat pertama di SMP Negeri 01 Liwa, dan pendidikan menengah tingkat atas di SMA Negeri 01 Liwa.

Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur seleksi SNMPTN. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Studi Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menggunakan Campuran Semen dan DIFA *Soil Stabilizer* Untuk Pengaplikasian Perkerasan Jalan. Selama menjalani perkuliahan, penulis pernah menjadi anggota dari Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Departemen Hubungan Luar (periode 2018/2019) dan anggota Departemen Kaderisasi (periode 2019/2020).

Pada tahun akademik 2021/2022 penulis menjadi asisten laboratorium mata kuliah Mekanika Tanah II. Penulis telah melakukan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gudang BULOG Kapasitas 10.000 Ton Campang Raya Unit A Bandar Lampung selama 3 bulan dan mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Sukarame, Kecamatan Sukarame, Kota Bandar Lampung selama 40 hari pada periode 1 tahun 2021.

Persembahkan

Puji syukur hamba panjatkan kepada ALLAH SWT yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan kepada hamba dalam menyelesaikan tugas akhir.

Kedua orang tua dan adik-adikku yang selalu memberi dukungan dan yang selalu menyertakan namaku dalam setiap doa dalam sujud nya serta mendukungku dalam meraih kesuksesan dan kebahagiaanku.

Rekan dan sahabat-sahabat yang selalu menemani dalam suka maupun duka serta selalu memberikan dukungan agar skripsi ini berjalan dengan baik.

Rekan seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2017.

MOTTO

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan”

(QS. Ar-Rahmaan: 13)

“Jangan pernah mengambil keputusan ketika sedang marah dan jangan pernah mengumbar janji ketika sedang bergembira”

(Ali bin Abi Thalib)

“Hidup untuk orang lain adalah kehidupan yang berharga”

(Albert Einstein)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STABILISASI TENAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN SEMEN DAN DIFA *SOIL STABILIZER* UNTUK PENGAPLIKASIAN PERKERASAN JALAN”.

Pada penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil sekaligus dosen pembimbing I, atas pemberian judul serta kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran serta bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Iswan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil. selaku dosen penguji atas kesempatannya untuk menguji sekaligus memberi bimbingan kepada penulis dalam Seminar Skripsi.

6. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu dan wawasan yang telah diberikan selama perkuliahan.
8. Bunda, ayah, dan adik-adikku atas dukungan materil, spiritual, dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Esterlita S. dan rekan-rekan pengen ngampus yang selalu menemani, memberikan semangat, dan dukungan tidak hanya dalam proses penyelesaian skripsi ini, tapi juga selama masa perkuliahan di Teknik Sipil Universitas Lampung
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang selalu memberikan dukungan dan semangat, serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat Penulis harapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 06 Desember 2022

Penulis

Ranta Kurniawan Putra

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Stabilisasi Tanah Dengan Zat <i>Additive</i> | 5 |
| 2.2 Tanah Lempung | 10 |
| 2.2.1 Pemasatan Tanah..... | 13 |
| 2.2.2 Kembang Susut Tanah..... | 15 |
| 2.2.3 Daya Dukung Tanah..... | 17 |
| 2.3 Semen PC (<i>Portland Cement</i>) | 19 |
| 2.4 Zat <i>Additive</i> Difa Soil Stabilizer | 20 |
| 2.5 Perkerasan Jalan..... | 20 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1 Pengambilan Sampel Tanah..... | 23 |
| 3.2 Bagan Alir Penelitian..... | 23 |
| 3.3 Persiapan Sampel Tanah | 25 |
| 3.4 Pengujian Sampel Tanah..... | 26 |
| 3.5 Perhitungan Dan Perencanaan Tebal Perkerasan | 28 |
| 3.6 Analisis Data | 29 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 4.1 Uji Fisik Tanah..... | 30 |
| 4.2 Pemasatan (<i>Standar Proctor</i>) | 35 |
| 4.3 Pengujian CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)..... | 39 |
| 4.4 Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 | 44 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 53 |
| 5.2 Saran | 54 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Kerusakan Perkerasan Jalan Akibat Kembang-Susut Tanah | 13 |
| Gambar 2.2 Zat <i>Additive</i> Difa <i>Soil Stabilizer</i> | 20 |
| Gambar 2.3 Lapis Perkerasan Jalan | 22 |
| Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah | 23 |
| Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian | 25 |
| Gambar 4.1 Pengaruh Penambahan Semen dan DIFA SS Terhadap Nilai Batas Cair (LL), Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas (IP) | 32 |
| Gambar 4.2 Grafik Plastisitas Sistem Klasifikasi USCS Tanah Asli | 34 |
| Gambar 4.3 Grafik Kurva Hubungan Antara Kadar Air (w) dan Berat Volume Tanah Kering (γ_d) Variasi 1 | 36 |
| Gambar 4.4 Grafik Hubungan Variasi Campuran dengan Kadar Air | 37 |
| Gambar 4.5 Grafik Hubungan Variasi Campuran dengan Berat Volume Kering..... | 38 |
| Gambar 4.6 Grafik Hubungan Nilai CBR dengan Lama Pemeraman | 40 |
| Gambar 4.7 Grafik Perbandingan CBR <i>Soaked</i> dan <i>Unsoaked</i> | 41 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.8 Grafik Hubungan Variasi Campuran dengan Nilai <i>Swelling</i> | 44 |
| Gambar 4.9 Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli | 50 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Unsur Penyusun Bahan <i>Additive</i> Buatan | 9 |
| Tabel 2.2 Batasan Berat Jenis Untuk Beberapa Jenis Tanah | 10 |
| Tabel 2.3 Hubungan Antara Indeks Plastisitas dan Jenis Tanah..... | 10 |
| Tabel 2.4 Potensi Pengembangan | 16 |
| Tabel 2.5 Klasifikasi Potensi Pengembangan | 16 |
| Tabel 2.6 Deskripsi Nilai CBR (<i>California Bearing Ratio</i>) | 18 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah..... | 31 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengujian (<i>Atterberg Limit</i>)..... | 31 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Penentuan Variasi Benda Uji..... | 33 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah..... | 35 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pematatan (<i>Standar Proctor</i>)..... | 37 |
| Tabel 4.6 Hasil Pengujian CBR | 39 |
| Tabel 4.7 Tabel Persen Sisa CBR <i>Soaked</i> dan CBR <i>Unsoaked</i> | 42 |
| Tabel 4.8 Nilai <i>Swelling</i> | 43 |
| Tabel 4.9 Faktor Distribusi Lajur..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4.10 Hasil Perhitungan ESA | 48 |
| Tabel 4.11 Tebal Lapisan (dalam mm) Perkerasan Lentur Menggunakan Lapis Pondasi Berbutir Untuk Beban Kurang Dari 2 Juta ESA..... | 51 |
| Tabel 4.12 Tebal Lapisan (dalam mm) Perkerasan Lentur Menggunakan Lapis Pondasi Berbutir Untuk Beban 2-4 Juta ESA | 52 |
| Tabel 4.13 Tebal Lapisan (dalam mm) Perkerasan Lentur Menggunakan Lapis Pondasi Berbutir Untuk Beban Lebih Dari 4 Juta ESA | 52 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah memiliki komposisi yang terdiri dari suatu komponen bahan organik, bahan mineral dan endapan-endapan lainnya. Pada setiap daerah tanah memiliki karakteristik tanah dan sifat tanah yang berbeda-beda, seperti halnya pada provinsi Lampung dimana setiap daerah memiliki karakteristik dan sifat tanah yang tidak sama dengan daerah satu sama lainnya. Pada setiap lapisan tanah dasar tidak semuanya mampu menahan beban di atasnya, maka dari itu agar tetap stabil dan kokoh pekerjaan tanah memiliki peran yang sangat penting untuk mendukung beban di atasnya.

Keberagaman jenis tanah di Indonesia menyebabkan nilai CBR yang berbeda-beda sehingga perlu penanganan untuk perbaikan atau stabilisasi tanah agar terciptanya nilai CBR yang diinginkan. Secara umum, stabilisasi tanah merupakan proses perbaikan sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu campuran agar dapat mempertahankan kekuatan geser dan meningkatkan kekuatan tanah. Menurut Bowles 1991, beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut: meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul, menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah, mengganti tanah yang buruk.

Menambahkan zat *additive* ke tanah digunakan untuk meningkatkan kapasitas pengikatan tanah dan semen. Karena sifat tanah organik (seperti lempung), maka semen dan tanah tidak dapat merekat dengan baik, sehingga penambahan sedikit bahan kimia akan menyebabkan semen merekat dengan

kuat pada permukaan tanah. Zat *additive* Difa Soil Stabilizer (DIFA SS) yang diproduksi oleh perusahaan Indonesia yaitu PT. Difa Mahakarya, merupakan bahan *additive* yang cocok untuk menstabilkan tanah lempung dasar pada perkerasan jalan Indonesia. PT. Difa Mahakarya mengemukakan bahwa produk DIFA SS memiliki keunggulan sebagai berikut:

1. Meningkatkan parameter daya dukung tanah
2. Jalan menjadi tidak lembek/becek dan licin saat musim hujan serta tidak berdebu di musim kering.
3. Jalan dapat dilalui pada hari ke 4 – 14, tergantung tanah dan cuaca.
4. Tidak brittle, karena mampu memanfaatkan kadar air di udara secara optimum (di kembangkan di Indonesia), bahan *soil stabilizer* lainnya umumnya di kembangkan di subtropis.
5. Memaksimalkan fungsi bahan stabilitas lain seperti semen PC
6. Ramah lingkungan

Untuk itu dalam penelitian ini akan dilakukan stabilisasi tanah asli di daerah Lampung dengan cara kimiawi yaitu dengan menambahkan zat *additive* Difa Soil Stabilizer ke dalam campuran tanah dan semen untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dan mengurangi efek *swelling* pada tanah berjenis lempung untuk pengaplikasian pada desain konstruksi jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dibuat rumusan masalah yaitu, bagaimana pengaruh penambahan zat *additive* Difa Soil Stabilizer pada campuran semen dan tanah asli terhadap tebal lapis perkerasan jalan ditinjau dari nilai CBR tanah terhadap tebal lapis perkerasan jalan raya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh campuran semen dan zat *additive* Difa Soil Stabilizer penstabil tanah terhadap nilai CBR

(*california bearing ratio*) tanah lempung, sebagai guna mengevaluasi perbandingan ketebalan perkerasan jalan antara sebelum dan sesudah tanah di stabilisasi.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini pembahasan masalah dibatasi sebagai berikut:

1. Tanah yang diuji menggunakan sampel tanah di Desa Gunung Langgar, Jl. Pulau Singkep, Kecamatan Sabah Balau, Kabupaten Lampung Selatan.
2. Bahan aditif yang digunakan dalam menstabilisasi tanah ini berupa campuran semen (*portland cement*) merk Tiga Roda yang diproduksi PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk., dan DIFA *Soil Stabilizer* yang diproduksi oleh PT Difa Maha Karya.
3. Pembuatan sampel dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung.
4. Pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan adalah:
 - a. Kadar Air
 - b. Berat Jenis
 - c. Batas *Atterbergh*
 - i. Batas Cair (*Liquid Limit*)
 - ii. Batas Plastis (*Plastic Limit*)
 - d. Analisa Saringan
5. Pengujian sifat mekanika tanah yang dilakukan adalah:
 - a. Pemadatan Tanah (*Modified Proctor*)
 - b. CBR (*California Bearing Ratio*)
 - c. Pengembangan Tanah (*Swelling*) terhadap CBR (*California Bearing Ratio*)
6. Perhitungan tebal lapis perkerasan jalan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 dengan umur rencana 20 tahun sesuai dengan nilai CBR dari berbagai variasi campuran.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa peningkatan kekuatan tanah lempung sebagai lapisan dasar perencanaan perkerasan jalan dan meminimalisir tebal lapis perkerasan jalan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada perencanaan perkerasan jalan, proses pekerjaan tanah merupakan kegiatan awal yang harus dilakukan, karena lapisan tanah berperan penting dalam menopang struktur di atasnya agar tetap stabil dan kuat. Tetapi, tidak semua tanah memiliki sifat teknis yang memadai. Untuk memperbaiki sifat dan karakteristik tanah dapat digunakan berbagai cara sesuai dengan jenis dan karakteristik tanah yang akan distabilisasi.

Sebagian besar wilayah Indonesia memiliki karakteristik tanah lempung yang memiliki sifat mengembang (*swelling*) jika memiliki kadar air yang tinggi dan menyusut (*shrinkage*) jika memiliki kadar air yang rendah. Dalam struktur tanah seperti ini, hampir tidak mungkin untuk menopang beban karena struktur tersebut. Ketika kadar air tinggi, jika beban diterapkan gaya konsolidasi akan berkurang (*consolidation settlement*). Apabila hal tersebut terjadi, maka dapat dilakukan stabilisasi tanah untuk memperbaiki tanah lempung tersebut.

Stabilisasi tanah pada penggunaan teknologi saat ini meliputi: stabilisasi mekanis, stabilisasi kimiawi, dan metode stabilisasi tanah lainnya. Dalam studi ini, stabilisasi tanah asli akan dicampur dengan zat *additive* yaitu *Difa Soil Stabilizer* dan campuran semen.

2.1. Stabilisasi Tanah Dengan Zat *Additive*

Menurut Edil (2002), tanah yang tidak cocok harus diganti dengan batu yang memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mendukung beban. Namun, karena kenyataan bahwa biaya penggantian tanah yang tidak cocok, seperti tanah ekspansif mungkin sangat mahal, meningkatkan karakteristik geoteknik tanah ini dengan metode stabilisasi tertentu yang tepat bisa menjadi pilihan

yang layak. Stabilisasi tanah ekspansif harus dipandu melalui serangkaian investigasi geoteknik yang dimulai dengan investigasi lokasi yang cermat.

Setelah investigasi lapangan awal dan evaluasi sifat-sifat tanah di laboratorium, pengobatan yang paling cocok dapat ditentukan. Nelson (1992) melaporkan beberapa perawatan tanah ekspansif adalah bahan kimia tambahan, pra-pembasahan, penggantian tanah dengan kontrol pemadatan, kontrol kelembaban, pemuatan biaya tambahan dan pemuatan termal.

McGraw-Hill (2003), stabilisasi tanah adalah perlakuan kimia atau mekanis yang dirancang untuk meningkatkan atau mempertahankan stabilitas massa tanah atau sebaliknya untuk meningkatkan sifat teknisnya dengan meningkatkan kekuatan gesernya, mengurangi kompresibilitasnya atau mengurangi kecenderungannya untuk menyerap air.

Deskripsi lain yang diberikan oleh Departemen Gabungan Angkatan Darat dan Angkatan Udara, AS (1994) mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai proses pencampuran dan pencampuran bahan dengan tanah untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu. Proses ini dapat mencakup pencampuran tanah untuk mencapai gradasi yang diinginkan atau pencampuran aditif yang tersedia secara komersial yang dapat mengubah gradasi, tekstur atau plastisitas, atau bertindak sebagai pengikat untuk menyemen tanah. Aditif dapat berupa produk komersial yang diproduksi atau produk samping yang dibuat dari proses industri. Aditif ini ketika ditambahkan ke tanah dalam jumlah yang tepat dapat meningkatkan beberapa karakteristik rekayasa tanah seperti kekuatan, tekstur, kemampuan kerja, dan plastisitas.

Dalam uraian pertama yang disebutkan di atas, ada dua metode stabilisasi tanah, yaitu stabilisasi mekanik dan stabilisasi kimia. Stabilisasi mekanis dilakukan oleh tanah asli dengan gradasi berbeda sehingga campuran akhir memiliki gradasi sesuai dengan persyaratan desain. Proses pencampuran dapat dilakukan secara langsung di lapangan atau dilakukan di lokasi yang berbeda sebelum dibawa kembali ke lokasi kerja, kemudian campuran tersebut tersebar di lapangan dan dipadatkan untuk mencapai kepadatan yang

diperlukan. Stabilisasi kimia dilakukan dengan menambahkan bahan aditif lainnya pada bagian tertentu dari tanah yang diolah. Peningkatan terjadi karena reaksi kimia antara aditif dan tanah serta kekuatan dan kekakuan, aditif juga dapat meningkatkan gradasi, kemampuan kerja dan plastisitas tanah dasar (USA Corps of Engineers, 2004)

Stabilisasi tanah merupakan suatu usaha untuk meningkatkan sifat-sifat kekuatan tanah, salah satu upaya stabilisasi tanah adalah dengan penggunaan zat *additive*. Zat *additive* yang sering digunakan adalah abu terbang (*fly ash*), semen, kapur, serbuk gypsum, dan abu sekam padi. Zat *additive* merupakan suatu zat yang ditambahkan pada suatu campuran tertentu untuk meningkatkan daya guna suatu bahan. Dan zat *additive* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah semen yang dicampur dengan Difa Soil Stabilizer.

Menurut Bowles (1986), stabilitas dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut:

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

Pencampuran tanah dengan semen sudah beberapa kali diteliti oleh para ahli. Kezdi (1979) melaporkan bahwa dengan menambah semen baik kedalam tanah lempung maupun kedalam tanah pasir akan meningkatkan kepadatan maksimum tanah tersebut sebesar kurang lebih 10%. Namun demikian, jika diterapkan pada tanah lanau kepadatannya justru menurun. Menurutnya, semen menurunkan indeks plastisitas tanah kohesif yang disebabkan oleh peningkatan batas plastis serta penurunan batas cairnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai CBR, dan kepadatan standar naik dengan naiknya presentase semen didalam tanah. Kadar optimum tercapai

pada kadar semen 7,5%. Pada kadar semen tersebut terlihat adanya penurunan potensi pengembangan dan peningkatan nilai CBR yang cukup signifikan. Pada pengujian tekan bebas terlihat bahwa semakin tinggi kadar semen, nilai parameter kuat geser tanah semakin naik. Dalam hal ini tidak terlihat adanya kadar semen optimum.

Tanah organik memperlambat hidrasi semen, penambahan ion kalsium atau yang lain akan memperbaiki sifat semen (Ingles,1972). Kezdi (1979) menyatakan bahwa penambahan sejumlah kecil zat kimia akan memperbaiki dan menambah kekuatan tanah semen. Sebelumnya telah dilakukan percobaan dengan alkali oleh Lambe (1960) yang menerangkan bahwa alkali hidroksida (Sodium, potassium, lithium) mempunyai efek yang baik pada tanah. Kesimpulan percobaan tersebut adalah:

1. Penambahan 1 – 4 % alkali hidroksida dan variasi alkali akan menaikkan kekuatan tanah.
2. Senyawa sodium mempunyai efek yang baik, terutama sodium hidroksida, sodium karbonat, sodium sulphate, metasilikat dan aluminat memiliki efisiensi yang tinggi.
3. Efisiensi senyawa sodium tergantung pada jenis tanah, IP atau jumlah bahan organik yang ada.
4. Efisiensi penambahan bahan kimia tergantung pada reaksi sifat dalam tanah.
5. Konsentrasi alkali optimum diambil 15, konsentrasi yang tinggi akan menambah kuat akhir yang sama tetapi memperlambat konsolidasi.

Bahan *additive* buatan merupakan suatu produk stabilisasi tanah yang pertama kali ditemukan di Jepang. Produk ini berupa material serbuk halus/tepung terdiri dari komposisi logam dan garam/mineral anorganik bersumber dari air laut. Produk stabilisasi tanah ini biasa digunakan untuk:

1. Pengganti konstruksi jalan (LPA+LPB) yang lebih kuat dan elastik.
2. Pengganti dinding penahan tanah/stabilitas tanah yang lebih kuat, elastik dan ekonomis.
3. Pengganti konstruksi lantai kerja paving blok.

4. Pembuatan jalan tanah, landasan pesawat terbang dan lahan parkir.

Bahan *additive* buatan melarutkan asam humus (humic acid) yang terdapat dalam tanah, dan menghilangkan efek penghambatan ikatan ion, sehingga partikel tanah menjadi lebih mudah bermuatan ion negatif (anion), dan kation Ca^{++} dapat mengikat langsung dengan mudah pada partikel tanah. Jika pencampuran semen mengandung sulfur (SO_3), dengan tanah tanpa melibatkan bahan *additive* buatan, maka ketika bercampur dengan air tanah atau tekanan air hujan, campuran tadi akan menghasilkan sulfuric acid yang menyebabkan terjadinya keretakan.

Hal ini akan berbeda bila menggunakan bahan *additive* buatan, dimana pada saat terjadi pengikatan semen pada partikel tanah dan mengering karena reaksi dehidrasi, akan terbentuk kristal-kristal yang muncul diantara campuran semen yang mengikat partikel-partikel tanah, Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum-jarum, secara intensif akan bertambah banyak dan membesar yang nantinya membentuk rongga-rongga mikrin yang dapat menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi keretakan. (Sumber: Cylo Trimegah, Soil Stabilizer & Energy Solution Corp.) Adapun bahan-bahan yang terkandung pada bahan *additive* buatan diantaranya:

Tabel 2.1. Unsur Penyusun Bahan *Additive* Buatan

| Unsur | Prosentase kadar (%) |
|--|----------------------|
| NaCl | 15 – 25 |
| KCl | 20 – 35 |
| CaCl_2 | 15 – 25 |
| MgCl_2 | 5 – 15 |
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | 1 – 5 |
| Na_2SO_4 | 1 – 10 |
| $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$ | 1 – 5 |
| Lain-lain | 5 |

Sumber : PT.Indoenviro

Berdasarkan beberapa jenis perlakuan tanah yang dilaporkan dengan mempertimbangkan tanah ekspansif yang diklasifikasikan sebagai tanah

berbutir halus, perlakuan yang disarankan untuk tanah ekspansif adalah stabilisasi kimia.

2.2. Tanah Lempung

Terzaghi (1987) mendefinisikan tanah lempung adalah tanah yang berukuran mikrokonis sampai sub mikrokonis yang tanah ini berasal dari hasil pelapukan unsur kimiawi penyusun batuan. Sedangkan menurut Hardiyatmo (1992) tanah adalah ikatan yang relatif lemah antar butir, yang disebabkan oleh karbonat, bahan organik atau oksida yang mengendapkan di antara partikel. Ruang antar partikel yang mengandung air, udara atau benda lain. Adapun batasan berat jenis untuk beberapa jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2. Sedangkan untuk hubungan antara indeks plastisitas dan jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Batasan Berat Jenis Untuk Beberapa Jenis Tanah

| Jenis Tanah | Batas |
|-------------------|-------------|
| Pasir | 2,65 – 2,68 |
| Kerikil | 2,65 – 2,68 |
| Lanau Organik | 2,62 – 2,68 |
| Lempung Organik | 2,58 – 2,65 |
| Lempung Anorganik | 2,68 – 2,75 |
| Gumus | 1,37 |
| Gambut | 1,25 – 1,80 |

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah 2, hal. 5

Tabel 2.3. Hubungan Antara Indeks Plastisitas dan Jenis Tanah

| PI | Sifat | Macam Tanah | Kohesi |
|--------|--------------------|------------------|------------------|
| 0 | Non Plastis | Pasir | Non Kohesif |
| < 7 | Plastisitas Rendah | Lanau | Kohesif sebagian |
| 7 - 17 | Plastisitas Sedang | Lempung berlanau | Kohesif |
| > 17 | Plastisitas Tinggi | Lempung | Kohesif |

Sumber : Hardiatmo, 2006

Untuk mencapai tingkat layanan tertinggi subgrade untuk perkerasan jalan, itu harus memiliki properti spesifik yang sesuai. Kinerja ini biasanya dikaitkan dengan beberapa karakteristik utama yang saling terkait. Diantaranya adalah kadar air, potensial kembang-susut dan kapasitas dukung beban.

Kadar air adalah sejumlah air yang terkandung di dalam suatu benda, seperti tanah yang disebut juga kelembaban tanah, bebatuan dan sebagainya. Kadar air digunakan secara luas dalam bidang ilmiah dan teknik dan diekspresikan dalam rasio, dari 0 (kering total) hingga nilai jenuh air di mana semua pori terisi air. Kadar air tanah perbandingan antara berat air yang dikandung didalam tanah dengan berat total sampel tanah. Kadar air didalam tanah dinyatakan dalam persen. Jumlah air yang dapat ditahan oleh tanah dinyatakan atas dasar berat atau volume. Dasar penentuannya adalah pengukuran kehilangan berat atau isi selama pengeringan (Pairunan *et al.*, 1997 dalam Nurmawa'dah, 2011).

Potensi kembang susut adalah karakteristik tanah yang unik terutama untuk tanah lempung, yang tergantung pada fluktuasi kadar air. Perubahan kadar air dapat menyebabkan tanah yang luas berubah bentuk secara berlebihan, yang dapat merusak struktur pendukung.

Daya dukung tanah dasar (DDT), adalah merupakan salah satu parameter yang dipakai dalam nomogram penetapan indeks tebal perkerasan (ITP), nilai daya dukung tanah dasar didapat dari hasil grafik korelasi CBR tanah dasar terhadap DDT (Sukirman, 1999). Tanah dasar dapat terdiri dari tanah dasar tanah asli, tanah dasar tanah galian, atau tanah dasar tanah urug yang disiapkan dengan cara dipadatkan. Di atas lapis tanah dasar diletakkan lapis struktur perkerasan lainnya, oleh karena itu mutu daya dukung tanah dasar ikut mempengaruhi mutu jalan secara keseluruhan. Berbagai parameter digunakan sebagai penunjuk mutu daya dukung tanah dasar seperti *California Bearing Ratio* (CBR) (Sukirman, 2003).

Tanah in-situ harus memiliki stabilitas tanah dasar yang sesuai. Dalam hal ini, tanah dasar dapat dianggap memuaskan jika:

1. Dapat dengan baik mendukung lapisan perkerasan di atasnya serta muatan dari pemadatan.
2. Dapat menahan defleksi rebound trotoar karena tekanan beban.
3. Dapat mencegah rutting dan dorong yang berlebihan selama konstruksi dan mampu menahan beban operasional tanpa deformasi yang berlebihan.

Jika kriteria di atas tidak dapat dipenuhi, harus ada perlakuan khusus untuk meningkatkan kinerja tanah dasar (Illinois, 2000).

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki banyak masalah dalam dunia keteknikan, karena jenis tanah ini terdiri dari butiran yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastis dan kohesif. Kohesif 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 dan tidak terjadi retakan-retakan atau pecah-pecah.

Studi membuktikan bahwa meningkatkan kadar air dalam massa tanah mengurangi kohesi tanah dan sudut gesekan (Kong, dkk. 2000). Kondisi ini menyebabkan penurunan gesekan internal dan tanah mungkin gagal karena berat sendiri atau beban eksternal. Kandungan air di dalam tanah dasar mungkin hasil dari permukaan air tanah, drainase, atau infiltrasi.

Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi isomorf dan oleh karena pecahnya keping partikel pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dapat dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar. Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentinite group*).

Tanah lempung memiliki beberapa jenis, salah satunya lempung ekspansif yang diklasifikasikan sebagai tanah yg kurang baik, karena nilai kembang-susut yang besar. Proses terjadinya kembang-susut tanah sebagian besar terjadi akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah. Pengembangan (*swelling*) adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air, sedangkan penyusutan (*shrinkage*) adalah pengecilan volume tanah ekspansif akibat berkurangnya kadar air. Terjadinya pengembangan dan penyusutan ini dapat menyebabkan struktur di atasnya terjadi kerusakan, yang dapat terjadinya kerusakan pondasi dan perkerasan jalan. Seperti contoh pada gambar 2.1 dibawah ini yang mengalami kerusakan pondasi dan struktur jalan.



Gambar 2.1. Kerusakan Perkerasan Jalan Akibat Kembang-Susut Tanah.

2.2.1. Pemadatan Tanah

Proses pemadatan tanah berguna untuk membuat jarak antar partikel tanah menjadi lebih kecil. Pada proses pemadatan tanah ini bertujuan agar udara dalam tanah berkurang dan kerapatan tanah bertambah. Pemadatan ini sangat penting untuk membangun suatu jalan raya karena semakin sempit udara yang masuk maka menghasilkan nilai tekan yang kuat sebagai penopang struktur jalan raya di atasnya. Fungsi dari pemadatan tanah ini diantaranya juga sebagai berikut :

1. Mengurangi permeabilitas dan kompresibilitas atau penurunan beban.
2. Memperbaiki daya dukung tanah dan mutu tanah itu sendiri.

3. Mengurangi sifat kembang-susut pada tanah lempung.

Pemadatan adalah peristiwa peningkatan berat volume kering dengan pembebanan dinamis. Karena pembebanan dinamis, partikel tanah saling berdekatan sehingga rongga udara berkurang. Pada awal pemadatan, berat volume kering diturunkan dengan peningkatan kadar air. Saat dilakukan pemadatan secara berkala dengan kekuatan yang sama, bobot masing-masing partikel tanah padat per volume satuan juga meningkat. Peningkatan kadar air justru menurunkan berat volume kering akibat air yang mengisi rongga-rongga yang sebelumnya terisi partikel keras. Apabila kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmak}) disebut sebagai kadar air optimum (W_{opt}).

Kadar air optimum adalah kadar air yang ditentukan agar mencapai kepadatan maksimum dari tanah sedangkan berat kering maksimum butiran per satuan volume tanah (*Dry Density*) yang diberi notasi γ_{dry} disebut dengan kepadatan tanah. Salah satu cara mendapatkan kepadatan maksimum yaitu dengan melakukan pengujian proktor (Gogot, 2013). Terdapat dua jenis pengujian proktor yaitu:

1. *Standard Proctor*

Percobaan ini dilakukan dengan cara tanah dipadatkan dengan alat pemukul dengan berat 2,5 kg didalam *mold* dan dijatuhkan dengan ketinggian 30,5 cm. Pemadatan dengan alat pemukul dilakukan dengan 3 lapis dan setiap lapisan dipukul sebanyak 25 kali.

2. *Modified Proctor*

Dalam pelaksanaan percobaan ini berbeda pada jumlah pukulan, jumlah lapis dan tinggi pukulan yang dijatuhkan. Dengan berat alat pemukul sebesar 4,5 kg, jumlah pemadatan 5 lapis dan tinggi jatuh alat pemukul 45,7 cm. Standar yang dilakukan percobaan ini adalah ASTM D-1557.

2.2.2. Kembang Susut Tanah

Tanah lempung memiliki sifat penyusutan yang besar, dan sifat pemuaian dan penyusutan sangat dipengaruhi oleh kelembaban di dalam tanah. Jika kadar air tinggi maka tanah akan mengembang dan daya dukungnya akan berkurang, sebaliknya jika kadar air berkurang atau mengering maka tanah akan menyusut dan menyebabkan tanah retak, dan daya dukungnya akan bertambah. Zheng, dkk. (2009) menyatakan bahwa perubahan volume tanah ekspansif yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan parah pada bangunan dan struktur lain yang terletak pada jenis tanah ini. Perubahan volume dapat terjadi berulang kali dan dalam rentang waktu yang lama. Perluasan tanah reaktif menyebabkan kerusakan pondasi dan perkerasan jalan oleh gerakan pengangkatan karena tanah membengkak dengan kelembaban meningkat.

Perilaku kembang susut tanah terutama pada tanah lempung sangatlah umum. Proses pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinking*) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah. Perilaku kembang-susut tanah juga memiliki pengertian lain yaitu struktur tanah memiliki tingkat kepadatan yang sama, karena pengaruh penambahan kadar air volume tanah akan mengalami peningkatan dan sebaliknya apabila kadar air berkurang maka volume tanah akan mengalami pengurangan. Potensi tanah lempung ekspansif berdasarkan % lewat saringan no. 200 dan batas cair menurut Chen (1988) dalam Hardiyatmo (2002) dalam tabel berikut:

Tabel 2.4. Potensi Pengembangan

| Potensi Mengembang | Persen lolos saringan No 200 (%) | Batas cair (LL) (%) | Kemungkinan <i>ekspansif</i> (%) | Tekanan pengembangan (kPa) |
|--------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Sangat tinggi | >95 | >60 | >10 | >1000 |
| Tinggi | 60-95 | 40-60 | 3-10 | 250-1000 |
| Sedang | 30-60 | 30-40 | 1-5 | 150-250 |
| Rendah | <30 | <30 | <1 | 50 |

Sumber : Chen (1988) dalam Hardiyatmo (2002)

Holtz (1969), Gibs (1969) dan USBR (1974) dalam Hardiyatmo (2002) membuat suatu kriteria identifikasi tanah lempung ekspansif, seperti pada Tabel berikut:

Tabel 2.5. Klasifikasi Potensi Pengembangan

| Potensi Pengembangan | Pengembangan (%) akibat tekanan 6,9 kPa | Persen Koloid (<0,001mm) (%) | Indeks plastisitas as PI (%) | Batas Susut SL (%) | Batas Cair LL (%) |
|----------------------|---|------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| Sangat tinggi | >30 | >28 | >35 | <11 | >63 |
| Tinggi | 20-30 | 20-31 | 25-41 | 7-12 | 50-63 |
| Sedang | 10-20 | 13-23 | 15-28 | 10-16 | 39-50 |
| Rendah | <10 | <15 | <18 | >15 | <39 |

Sumber : Holtz, 1969; Gibs, 1969; USBR, 1974 dalam Hardiyatmo, 2002

Potensi pengembangan yang terjadi dapat dianalisa dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{\Delta H}{H} \times 100\%$$

Dengan :

S : potensi pengembangan (%),

ΔH : perubahan tinggi sampel (cm).

H : tinggi awal sampel (cm).

Pembengkakan dan penyusutan tanah ekspansif dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut: jenis dan jumlah mineral dan peringatan tanah liat, kadar air, kepadatan kering, struktur tanah, dan kondisi pemuatan. Beberapa metode digunakan untuk mengurangi perubahan volume tanah ekspansif, dan metode yang biasa digunakan adalah stabilisasi tanah kimia. Dalam metode ini, sejumlah senyawa kimia ditambahkan ke tanah ekspansif. Penambahan kapur, semen, *fly ash*, dan senyawa kimia lainnya sebagai aditif dalam proses stabilisasi tanah telah berhasil diadopsi selama bertahun-tahun (Neeraja dan Rao, 2010).

2.2.3. Daya Dukung Tanah

Untuk menghitung tebal lapis perkerasan dibutuhkan nilai kekuatan dari lapisan tanah dibawah konstruksi jalan yang akan dibangun. Maka dari itu diperlukan uji CBR untuk mengetahui nilai kekuatan tanah asli ataupun tanah yang sudah dilakukan stabilisasi dengan zat *additive*. Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah dengan cara CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (subgrade).

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Sedangkan, nilai CBR yang didapat akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang mempunyai nilai CBR tertentu. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dari nilai CBR digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas. Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah pada penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” untuk pengujian laboratorium.

Rumus perhitungan dalam penentuan nilai CBR adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi } 0,1'' = \frac{A}{3000} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi } 0,2'' = \frac{B}{4500} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

A = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1''

B = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2''

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR. Berikut ini adalah tabel nilai CBR yang menjadi acuan dalam pengujian CBR.

Tabel 2.6. Deskripsi Nilai CBR (*California Bearing Ratio*)

| Deskripsi | Nilai CBR |
|--------------|-------------|
| Jelek Sekali | 0,00 – 3,00 |
| Jelek | 3,00 – 7,00 |
| Sedang | 7,00 – 20,0 |
| Baik | 20,0 – 50,0 |
| Baik Sekali | >50,0 |

Sumber : Braja M.Das, Mekanika Tanah Jilid 1, 1985

Pengujian tanah yang distabilisasi akan dilakukan menggunakan metode CBR laboratorium. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan CBR (*California Bearing Ratio*) tanah dan campuran tanah agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR laboratorium ialah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. CBR Laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR Laboratorium rendaman dan CBR Laboratorium tanpa rendaman.

Dari penjelasan tanah lempung diatas maka dapat dikatakan bahwa tanah lempung sangat perlu untuk dilakukan perbaikan atau stabilisasi tanah guna mampu menahan beban konstruksi diatasnya seperti konstruksi jalan raya.

2.3. Semen PC (*Portland Cement*)

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen banyak digunakan dalam pencampuran uji stabilitas tanah karena memiliki sifat perekat yang dapat mengikat butiran satu dengan butiran lainnya demi meningkatnya daya dukung dan nilai CBR suatu tanah. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen portland, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Sifat-sifat tanah dapat diperbaiki secara ekonomis dengan menggunakan bahan campuran. Salah satu bahan campuran yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi adalah *portland cement*, mengingat bahwa kemampuannya mengeras dan mengikat butir-butir agregat sangat baik. Hal ini bermanfaat bagi usaha mendapatkan massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. Portland cement dapat bereaksi dengan hampir semua jenis tanah, dari jenis kasar nonkohesif sampai sangat plastis. Biasanya pada stabilisasi tanah dasar dengan menggunakan portland cement ditambahkan suatu retarder ganti bahan untuk memperlambat pengerasan. Bahan yang digunakan adalah gips (campuran kapur dan asam sulfat). Untuk mengontrol dan memperlambat waktu pengerasan biasanya dibutuhkan penambahan bahan gips sebesar 2% atau 3% (Murdock dan Brook, 1991).

2.4. Zat Additive Difa Soil Stabilizer

Difa Soil Stabilizer yang juga sering disebut Difa SS ini merupakan zat *additive* yang di produksi oleh PT Difa Mahakarya. Difa SS adalah bahan aditif yang berfungsi untuk memadatkan (solidifikasi) dan menstabilkan (stabilizer) tanah secara fisik dan kimia. Zat *additive* ini berupa material serbuk halus terdiri dari komposisi mineral anorganik.



Gambar 2.2. Zat Additive Difa Soil Stabilizer

Metode pelaksanaan Difa SS di lapangan dapat digunakan dengan dua cara yaitu:

1. Cara kering. Pelaksanaan dilapangan meliputi pencampuran tanah dengan semen, penggalian dan pengemburan tanah, penyemprotan larutan Difa SS, pemadatan awal, pemadatan akhir, selesai.
2. Cara basah. Pelaksanaan dilapangan meliputi perataan tanah, pencampuran larutan Difa SS, tanah, semen, kemudian diaduk dengan menggunakan molen beton, *Backhoe* atau *Rotary Mixer*, penghamparan material, selesai.

2.5. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Tujuan penyediaan struktur lapisan perkerasan adalah agar tegangan akibat beban perkerasan yang bekerja pada tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah dasar (subgrade) tersebut.

Perencanaan perkerasan jalan dikatakan baik apabila konstruksi tersebut memberikan beberapa sifat yaitu kuat, nyaman dan bernilai ekonomis. Konstruksi perkerasan harus mampu mendukung beban lalu lintas serta ketahanannya terhadap kondisi lingkungannya (Kilreski, 1990). Tiga karakteristik dasar kinerja tanah dasar harus dipertimbangkan dan diselesaikan yaitu kadar air, daya dukung (kekuatan) dan potensi penyusutan dan pemuaian.

Peran tanah dasar (subgrade) terhadap daya dukung lapisan struktur perkerasan jalan adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapisan perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dengan semen dan lain-lain. Persiapan lapisan tanah dasar dapat dibuat dengan sebagai berikut yaitu tanah asli, tanah urugan dan tanah galian.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.

Konstruksi perkerasan jalan dibedakan menjadi dua kelompok menurut bahan pengikat yang digunakan, yaitu perkerasan lentur (*fleksible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perkerasan lentur (*fleksible pavement*) dibuat dari agregat dan bahan ikat aspal. Lapis perkerasan kaku (*rigid pavement*) terbuat dari agregat dan bahan ikat semen, terdiri dari satu lapisan pelat beton atau tanpa pondasi bawah (subbase) antara perkerasan dan tanah dasar (subgrade).

Metode yang dapat digunakan untuk menghitung tebal lapis perkerasan jalan raya, salah satunya adalah Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 ini merupakan metode dari Bina Marga yang merupakan dasar dalam menentukan tebal perkerasan lentur

yang dibutuhkan untuk suatu jalan raya. Yang di maksud perkerasan lentur (*flexible pavement*) dalam perencanaan ini adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tanah lempung yang berasal dari Desa Gunung Langgar, Jl. Pulau Singkep, Kecamatan Sabah Balau, Kabupaten Lampung Selatan. Tanah yang diambil merupakan sampel tanah terganggu (*disturbed sample*), Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara bongkahan, yaitu sampel tanah diambil secukupnya sesuai kebutuhan dengan cangkul dan dimasukkan ke dalam karung plastik dan ditutup rapat. Pada penelitian ini digunakan zat tambah (*additive*) yang berupa DIFA SS sebagai bahan stabilisasi yang berasal dari PT. DIFA MAHAKARYA, sedangkan semen (*portland cement*) yang digunakan sebagai bahan tambahan untuk stabilisasi tanah yaitu semen Tiga Roda yang diproduksi oleh PT. Indocement Tunggal Prakarsa., Tbk.



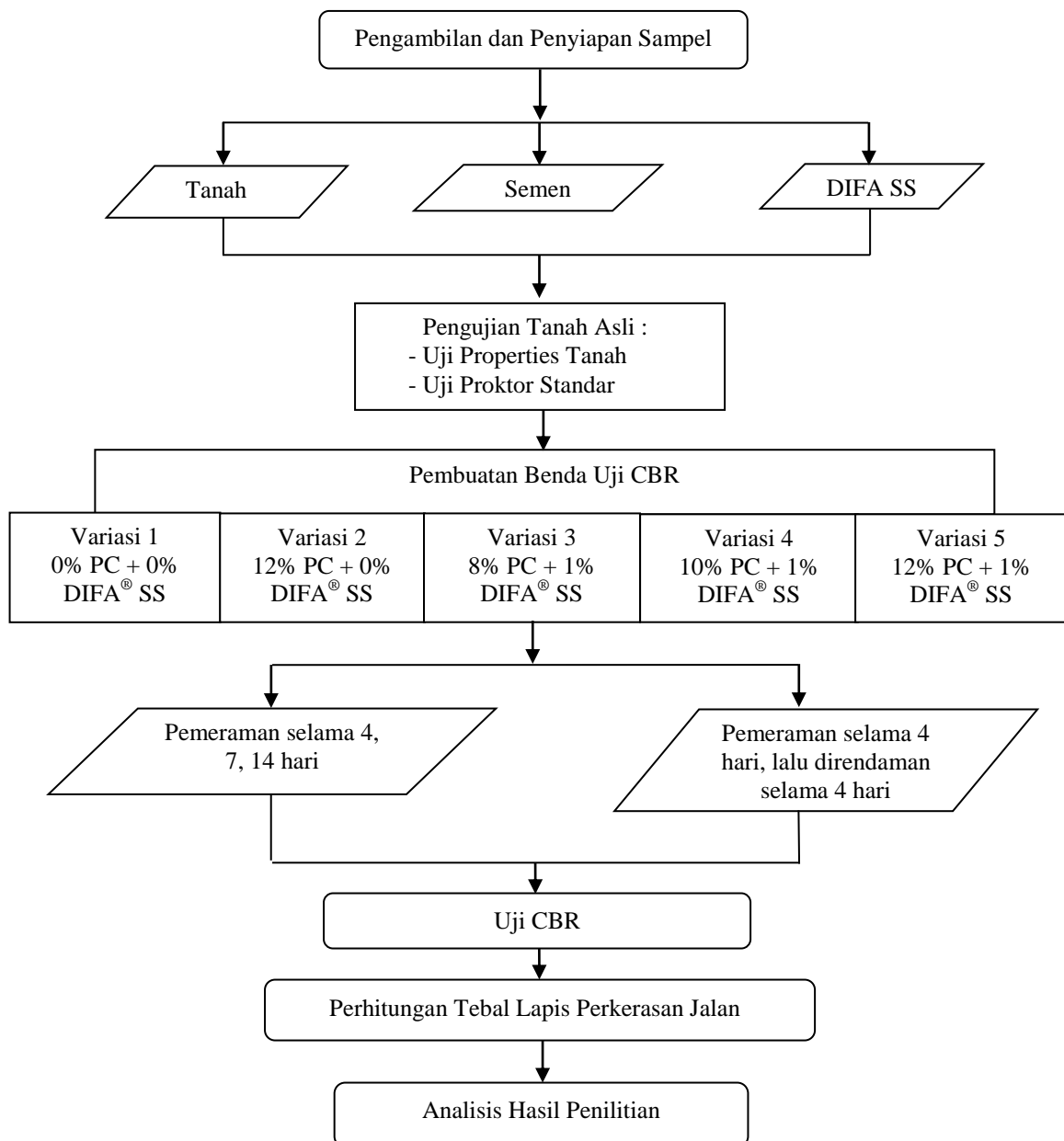
Gambar 3.1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

3.2. Bagan Alir Penelitian

Pada metode penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium. Pelaksanaan penelitian dimulai dari pengambilan sampel tanah dari Desa Gunung Langgar, Jl. Pulau Singkep, Kecamatan Sabah Balau, Kabupaten Lampung Selatan dan bahan tambah kimia yaitu berupa Semen (*Portland Cement*) dari PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk., dan DIFA *Soil Stabilizer* dari PT. DIFA MAHAKARYA, kemudian untuk mengetahui besar peningkatan nilai CBR maka dilakukan pembuatan sampel benda uji yang terdiri dari tanah asli tanpa adanya penambahan bahan tambah (*additive*) dengan tanah yang dicampur dengan bahan tambah (*additive*).

Benda uji yang mengalami pencampuran (*mixing*) tanah dengan semen 8%, 10%, dan 12% dari berat sampel tanah dengan DIFA SS sebesar 1% dari berat semen, variasi pemeraman (*curing*) 4, 7, dan 14 hari, selanjutnya dilakukan uji standar proktor yang bertujuan untuk mencari kadar air optimum dan berat volume kering maksimum yang terdapat pada tanah asli. Pengujian CBR terhadap masing-masing variasi persentase pencampuran tanah dengan zat tambah dengan kadar air optimum (W_{opt}) hasil uji proktor standar, dengan waktu pemeraman selama 4, 7, dan 14 hari. Pembuatan benda uji CBR rendaman, sebelum benda uji direndam selama 4 hari, benda uji tersebut diperamkan selama 4 hari dengan alasan untuk memberi waktu supaya terjadi reaksi kimia antara semen, DIFA SS dengan tanah lalu hasil pengujian CBR rendaman dibandingkan dengan CBR pemeraman selama 4 hari untuk mengetahui besar persentase penurunan nilai CBR yang terjadi.

Dalam penelitian diperlukan suatu tahapan grafik untuk membantu dalam pelaksanaan pekerjaan, yang biasa disebut dengan flowchart penelitian. Flowchart penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Bagan Alir Penelitian

3.3. Persiapan Sampel Tanah

Pengujian dilakukan pada beberapa sampel dengan komposisi yang berbeda, yaitu: tanah asli, campuran tanah asli + semen, dan campuran tanah asli + semen + DIFA SS. Sampel tanah dikeringkan di bawah sinar matahari sebelum digunakan dan diayak menggunakan saringan No. 40 Kemudian timbang sesuai kadar yang direncanakan dan campur dengan semen dan

DIFA SS. Komposisi sampel diatas dibagi menjadi beberapa variasi persentase:

1. Variasi 1 = Tanah Asli + 0% Semen + 0% DIFA SS
2. Variasi 2 = Tanah Asli + 12% Semen + 0% DIFA SS
3. Variasi 3 = Tanah Asli + 8% Semen + 1% DIFA SS
4. Variasi 4 = Tanah Asli + 10% Semen + 1% DIFA SS
5. Variasi 5 = Tanah Asli + 12% Semen + 1% DIFA SS

3.4. Pengujian Sampel Tanah

Pekerjaan yang akan dilakukan dilaboratorium meliputi pengujian sifat fisik dan mekanik tanah lempung yang dilakukan. Pengujian sifat fisik dan mekanik tanah yang dilakukan pada penelitian, yakni sebagai berikut :

1. Kadar air (*Moisture Content*)

Pengujian kadar air menggunakan dua buah sampel, kemudian dari kedua sampel diperoleh nilai kadar air rata-rata. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air sampel tanah asli yang akan diuji. Pengujian berdasarkan ASTM D 2216-98.

2. Berat Volume (*Unit Weight*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah. Berat volume tanah (γ) adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total tersebut. Pengujian berdasarkan ASTM D 2937-00.

3. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan untuk menentukan kepadatan massa butiran atau partikel tanah yaitu perbandingan antara berat butiran tanah dan berat air suling dengan volume yang sama pada temperature tertentu . Pengujian berdasarkan ASTM D 854-02.

4. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah dalam keadaan batas antara air dan plastis. Pengujian ini untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no 40. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

5. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis (kadar air peralihan dari kondisi semi solid ke kondisi plastis). Penggunaan sampel pengujian sama dengan batas cair. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

6. Analisa Saringan Dan Analisis Hidrometer

Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui jenis tanah tersebut dengan cara uji analisa saringan dan analisis hidrometer. Uji analisa saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no 200 dan untuk menentukan pembagian butir-butir tanah (gradasi) agregat halus dan agregat kasar. Pengujian analisis hidrometer adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang tidak mengandung butir tanah saringan no 10, pengujian ini dilakukan dengan cara analisa sedimen menggunakan hidrometer.

7. Pengujian Pemadatan Tanah (*Proctor Modified*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kadar air dengan berat volume tanah yang akan di uji, kegunaannya untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan maksimum dari sampel tanah lempung yang di uji. Pengujian laboratorium dilakukan dengan cara penambahan air pada tanah asli dengan beberapa interval sehingga didapatkan kadar air

optimum dan volume kering maksimum. Pengujian berdasarkan ASTM D-698.

8. Pengujian Pengembangan Tanah (*Swelling*)

Pengujian pengembangan tanah (*swelling*) adalah pengujian bertujuan untuk mengetahui besar persentase mengembang pada sampel tanah, untuk pengujian ini pengamatan dilakukan selama 4 hari pada sampel tanah tanpa penambahan *additive* dan sampel tanah dengan variasi penambahan persentase *additive* yang berbeda. Kemudian sampel tersebut dimasukkan ke dalam cetakan ring *oedometer* dan selanjutnya pengujian dilakukan dialat konsolidasi dengan beban sebesar 6,9 kPa.

9. Pengujian CBR Laboratorium

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) bertujuan untuk mengetahui kekokohan permukaan lapisan tanah yang akan dipakai sebagai sub-base (urugan) atau sub-grade (lapisan tanah dasar) konstruksi perkerasan jalan. Pengujian ini dilakukan dua macam pengujian CBR di laboratorium, yaitu dengan cara kering (*Unsoaked*) dan cara basah (*Soaked*). Pengujian berdasarkan ASTM D 1883.

3.5. Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Jalan

Setelah dilakukan pengujian tanah dan mendapatkan data eksisting, selanjutnya digunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017, untuk menghitung tebal perkerasan jalan. Tebal perkerasan yang di rencanakan dalam tugas akhir ini adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*).

Data hasil perhitungan perkerasan dengan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 yang diperoleh, kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel lapis perkerasan. Hasil perhitungan tebal lapis perkerasan ini menjadi bahan evaluasi yang akan di bandingkan antara tebal lapis perkerasan tanah dasar

yang di stabilisasi menggunakan zat *additive* dan tanah dasar yang tidak menggunakan zat *additive* (tanah asli).

3.6. Analisis Data

Pada serangkaian pengujian yang dilakukan di laboratorium, diperoleh nilai parameter sifat fisik tanah asli dan juga diperoleh nilai CBR, baik yang dicampur dengan bahan *additive* atau tanah asli maupun yang dicampur dengan bahan tambahan dalam keadaan terendam dan kondisi tanpa perendaman. Hal ini memungkinkan analisis data dalam bentuk tabel dan grafik. Kemudian dilakukan perhitungan tebal lapis perkerasan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, tanah asli yang digunakan masuk ke dalam kelompok A-7-5 yaitu tanah berlempung dengan penilaian umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk. Berdasarkan USCS, tanah diklasifikasi sebagai CL yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah, sedangkan sifat fisik tanah stabilisasi mengalami perubahan yang cukup signifikan setelah terjadinya penambahan zat *additive*, perubahan fisik tersebut cenderung kearah yang lebih baik bila dibandingkan dengan sifat-sifat fisik pada tanah tanpa stabilisasi.
2. Penambahan semen kedalam tanah meningkatkan nilai CBR tanah asli, dan penambahan DIFA SS kedalam campuran semen dan tanah asli memaksimalkan reaksi kimia semen sehingga menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi.
3. Kenaikan nilai CBR terhadap variasi campuran dan lama pemeraman dan rendaman cenderung mengalami peningkatan yang konstan, yaitu dengan meningkatnya variasi campuran dan semakin lama waktu pemeraman maka nilai CBR-nya akan semakin meningkat.

4. Perhitungan tebal lapis perkerasan dengan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017, dengan meningkatnya nilai CBR tanah asli dikarenakan stabilisasi yang telah dilakukan dapat meminimalisir tebal lapis perkerasan jalan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka disarankan beberapa hal berikut untuk menjadi pertimbangan:

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya menerapkan stabilisasi menggunakan zat tambah yang sama, namun pada jenis tanah yang berbeda, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan aditif berupa campuran semen dan *DIFA Soil Stabilizer* terhadap jenis tanah yang berbeda.
2. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan uji kekuatan lainnya seperti uji konsolidasi agar diperoleh nilai konsolidasinya, uji triaxial agar diketahui nilai sudut gesek dalam beserta kohesinya, serta uji permeabilitas untuk mengetahui perilaku hidromekanik tanah, sehingga didapatkan informasi yang cukup untuk pengembangan selanjutnya.
3. Pada penelitian selanjutnya perlu dipertimbangkan perhitungan biaya agar dapat membandingkan pekerjaan perkerasan jalan menggunakan perkerasan stabilisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, E. J. Johan K. Helnim. 1991. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). PT. Glora Aksara Pratama. Jakarta.
- Bowles, Joseph. E. 1986. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga, Jakarta.
- Chen, F.H., (1975), "Fondation in Expansive Soil", Elvesier Scientific Publishning Company, New York.
- Edil, T. B. 2002. "Field Evaluation of Construction Alternatives for Roadways over Soft Subgrade." Transportation Research Record, 1786 (1): 36.
- Fredlund, D. G. 2006. "Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 132 (3): 286321.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. Mekanika Tanah 1. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Mekanika Tanah 2. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Ingels, O.G. and Metclaf, J.B. 1972. Soil Stabilization Principles and Practice. Butterworths, Sydney.
- Illinois Department of Transportation. 2000. Subgrade Modification and Stabilization. Pavement Technology Advisory, PTA-D7 (Eff. 08/2000, Rev. 02/2005), Illinois Department of Transportation, Bureau of Materials and Physical Research, Illinois.
- Kementerian PUPR. 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Kezdi, A. 1979. Stabilized Earth Roads, Elseviers Scientific Publising Company New York.

- Kong, L., Tan, L., Rahardjo, H., Toll, D., and Leong, E. 2000. "Study on shear strength and swelling-shrinkage characteristic of compacted expansive soil" Proceedings of the Asian Conference on Unsaturated Soils, UNSAT-Asia 2000, Singapore: AA Balkema, 515-519.
- Lambe, T.W. and Whitman, R.V. 1962. Soil Stabilization, Foundation Engineering, Ed. G.A Leonards, Mc Graw Hill, New York.
- M. Das, Braja. 1985. Mekanika Tanah Jilid I (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). PT. Erlangga. Jakarta.
- M. Das, Braja. 1995. Mekanika Tanah Jilid II (Prinsip-prinsip Rekayasa Rekayasa Geoteknis). PT. Erlangga. Jakarta.
- Neeraja, D., and Rao, A. V. N. 2010. "Use of Certain Admixtures in The Construction of Pavement on Expansive Clayey Subgrades." International Journal of Engineering Science and Technology 2 (11): 6106-6114.
- Nelson, J. D. 1992. Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering. Edited by Debora J. Miller. New York: J. Wiley, 180212.
- Solanki, P., and Zaman, M. M. 2010. "Laboratory Performance Evaluation of Subgrade Soils Stabilized with Sulfate-Bearing Cementitious Additives." Journal of Testing and Evaluation 38 (1): 1-12.
- Zha, F.-S., Liu, S.-Y., and Du, Y.-J. 2006. "Effectiveness Of Fly Ash as an Expansive Soil Stabilizer." Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics 27: 549554.
- Zheng, J.-L., Zhang, R., and Yang, H.-P. 2009. "Highway Subgrade Construction in Expansive Soil Areas." Journal of Materials in Civil Engineering 21 (4): 154162.