

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI DAN ABU
CANGKANG SAWIT TERHADAP NILAI CBR PADA TANAH
LEMPUNG**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

DOLY ROSADY LUBIS
1407210197



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2021

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Doly Rosady Lubis

NPM : 1407210197

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Cangkang Sawit Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lempung

Bidang Ilmu : Geoteknik

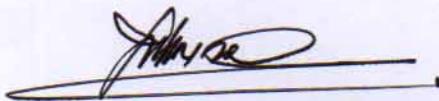
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 Mei 2022

Disetujui untuk disampaikan kepada

Panitia Ujian Sripsi :

Dosen Pembimbing I



Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembimbing II



Sri Prafanti S.T. M.T.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Doly Rosady Lubis

NPM : 1407210197

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Cangkang Sawit Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lempung

Bidang ilmu : Geoteknik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 Mei 2022

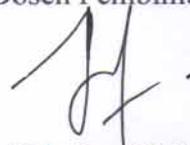
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



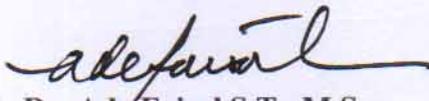
Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembimbing II



Sri Prafanti S.T., M.T.

Dosen Pembimbing I



Dr. Ade Faisal S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing II



Rizki Efrida S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Doly Rosady Lubis
Tempat/tanggal lahir : Padangsidempuan, 20 Mei 1995
NPM : 1407210197
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Cangkang Sawit Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lempung”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja milik orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara original dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak-sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi mengakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 Mei 2022

Saya yang menyatakan,



Doly Rosady Lubis

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI DAN ABU CANGKANG SAWIT TERHADAP NILAI CBR PADA TANAH LEMPUNG

Doly Rosady Lubis

1407210197

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Sri Prafanti, S.T., M.T.

Pada penelitian ini akan dibahas tentang stabilisasi tanah lempung dengan penambahan kapur dan abu tandan sawit sebagai bahan stabilisator yang diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat fisis maupun mekanis yang ditinjau dari Uji CBR (*California Bearing Ratio*) dari sampel tanah sehingga didapat tanah lempung yang memenuhi syarat teknis penggunaan pada konstruksi dilapangan. Kombinasi campurannya adalah 2% sampai 13% abu cangkang sawit, 2% abu sekam padi. Dari penelitian ini diperoleh bahwa sampel tanah asli memiliki kadar air 15,91%; berat jenis 2,65; batas cair 50,49%; dan indeks plastisitas 22,14%. Berdasarkan klasifikasi USCS, sampel tanah tersebut termasuk jenis (CL) yaitu lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis A-7-6. Hasil nilai CBR tidak terendam untuk tanah asli sebesar 4,82%. Sedangkan nilai CBR tidak terendam untuk semua variasi campuran yang paling optimum diperoleh pada variasi campuran 2% abu sekam padi dan 7% abu cangkang sawit yaitu sebesar 9,16%.

Kata kunci: tanah lempung, stabilisasi, abu sekam padi, abu cangkang sawit, California Bearing Ratio.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE USE OF RICE HUSK ASH AND PALM SHELL ASH ON CBR VALUE IN CLAY SOIL

Doly Rosady Lubis

1407210197

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Sri Prafanti, S.T., M.T.

In this study, it will be discussed about the stabilization of clay with the addition of lime and palm bunch ash as a stabilizer which is expected to improve physical and mechanical properties in terms of the CBR (California Bearing Ratio) test of the soil sample in order to obtain clay that meets the technical requirements. use in field construction. The mixture combination is 2% to 13% palm shell ash, 2% rice husk ash. From this study it was found that the original soil sample had a moisture content of 15.91%; specific gravity 2.65; liquid limit 50.49%; and the plasticity index is 22.14%. Based on the USCS classification, the soil sample belongs to the type (CL) which is inorganic clay with low to moderate plasticity. Based on the AASHTO classification, the soil samples were classified as type A-7-6. The result of the CBR value not submerged for the original soil is 4.82%. While the CBR value is not submerged for all variations of the most optimum mixture obtained at a variation of 2% rice husk ash and 7% palm shell ash, which is 9.16%.

Keywords: clay soil, stabilization, rice husk ash, palm shell ash, California Bearing Ratio.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu saya menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Medan, 25 Mei 2022

Penulis



Doly Rosady Lubis

1407210197

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu saya menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Medan, November 2021

Penulis

Doly Rosady Lubis

1407210197

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI & SINGKATAN	
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Teori	6
2.2 Bahan-bahan Penelitian	26
BAB 3 METODE PENELITIAN	37
3.1 Bagan Alir Penelitian	37
3.2 Program Penelitian	38
3.3 Pekerjaan Persiapan	38
3.4 Proses Sampling	39
3.5 Pelaksanaan Pengujian	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Pembahasan	41
4.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah	41
4.3 Pengujian Sifat Mekanis Tanah	48

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elemen Tanah Dalam Keadaan Asli dan Tiga Fase Elemen Tanah	7
Gambar 2.2	Batas-batas Atterberg	12
Gambar 2.3	Alat Untuk Uji Batas Cair, Alat Untuk Menggores, Contoh Tanah Sebelum diuji, Contoh Tanah Setelah diuji	13
Gambar 2.4	Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah	21
Gambar 2.5	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser	24
Gambar 2.6	Rangkaian Dasar Oktahedral dan Tetrahedral	27
Gambar 2.7	Susunan Mineral Montmorillonite	28
Gambar 2.8	Susunan Mineral Kaolinite	29
Gambar 2.9	Susunan Mineral Illite	30
Gambar 4.1	Plot Grafik Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unified Soil Classification System</i> (USCS)	42
Gambar 4.2	Grafik Hasil Analisa Saringan Tanah Asli	43
Gambar 4.3	Grafik Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>) Atterberg Limit	43
Gambar 4.4	Grafik Hubungan antara Nilai Batas Cair (LL) dengan Variasi Campuran Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit	45
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Nilai Batas Plastis (PL) dengan Variasi Campuran sekam padi dan Abu cangkang Sawit	46
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Nilai Indeks Plastisitas (IP) dengan Variasi Campuran sekam padi dan Abu cangkang Sawit	47
Gambar 4.7	Kurva Kepadatan Tanah Asli	48
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara Berat Isi Kering Maksimum (γ_a maks) Tanah dengan Variasi Campuran sekam padi dan Abu cangkang Sawit	50
Gambar 4.9	Grafik Hubungan antara Kadar Air Optimum Tanah (W_{opt}) dengan Variasi Campuran sekam padi dan Abu cangkang Sawit	51
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Nilai CBR dengan Variasi Persentase Penambahan Campuran sekam padi dan Abu cangkang Sawit	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat Jenis Tanah	11
Tabel 2.2	Derajat Kejenuhan dan Kondisi Tanah	11
Tabel 2.3	Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Indeks Plastisitasnya	15
Tabel 2.4	Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	17
Tabel 2.5	Klasifikasi Tanah Dalam Sejumlah Kelompok dan Subkelompok	18
Tabel 2.6	Klasifikasi tanah sistem <i>Unified Soil Classification System</i> (USCS)	20
Tabel 2.7	Klasifikasi Tanah Lempung dengan Nilai Sensitifitasnya	25
Tabel 2.8	Aktivitas Tanah Lempung	31
Tabel 2.9	Pemilihan Bahan Tambah Untuk Stabilisasi Tanah	35
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Tanah Asli	41
Tabel 4.2	Data Hasil Uji Atterberg Limit	44
Tabel 4.3	Data Uji Pemadatan Tanah Asli	48
Tabel 4.4	Data Hasil Uji Pemadatan Tanah dengan Bahan Stabilisator	49
Tabel 4.1	Tabel Pengujian CBR untuk Tanah Asli	53

DAFTAR NOTASI

V	Volume tanah (cm^3)
V_s	Volume butiran padat (cm^3)
V_v	Volume pori (cm^3)
V_a	Volume udara di dalam pori (cm^3)
V_w	Volume air di dalam pori (cm^3)
W	Berat tanah (gr)
W_s	Berat butiran padat (gr)
W_w	Berat air (gr)
ω	Kadar air (%)
η	Porositas
e	Angka pori
γ_b	Berat volume basah (gr/cm^3)
γ_d	Berat volume kering (gr/cm^3)
γ_s	Berat volume padat (gr/cm^3)
G_s	Berat jenis tanah
S_r	Derajat kejenuhan (%)
IP	Indeks plastisitas
LL	Batas cair (%)
PL	Batas plastis (%)
T_f	Kuat geser (kg/cm^2)
σ_1	Tegangan utama (kg/cm^2)
q_u	Kuat tekan bebas (kg/cm^2)

c_u	Kohesi (kg/cm^2)
ϕ	Sudut geser tanah ($^\circ$)
τ_f	Tegangan runtuh (kg/cm^2)
S_t	Sensitivitas
ϵ	Regangan axial (%)
ΔL	Perubahan panjang (cm)
L_o	Panjang mula-mula (cm)
A	Luas rata-rata pada setiap saat (cm^2)
A_o	Luas mula-mula (cm^2)
σ	Tegangan (kg/cm^2)
P	Beban (kg)
k	Faktor kalibrasi <i>proving ring</i>
N	Pembacaan <i>proving ring</i> (div)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran- 1, Data Uji Laboratorium, Kadar Air dan Berat Jenis
- Lampiran- 2, Data Uji Laboratorium, Analisa Saringan
- Lampiran- 3, Data Uji Laboratorium, *Atterberg Limit*
- Lampiran- 4, Data Uji Laboratorium, *Compaction Test*
- Lampiran- 5, Data Uji Laboratorium, *CBR Laboratorium Test*
- Lampiran- 6, Data Komposisi Kimia Kapur
- Lampiran- 7, Data Komposisi sekam padi dan Abu cangkang Sawit
- Lampiran- 8, Dokumentasi Pelaksana

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam pembangunan suatu konstruksi. Akan tetapi tidak semua tanah dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. Tanah lempung pada umumnya merupakan tanah lunak (*soft soil*) yang sifatnya mudah berubah apabila dipengaruhi oleh air. Menurut suyono (1983), tanah lunak memiliki sifat kekuatan gesernya rendah, penurunannya besar, permeabilitasnya tinggi, deformasi relatif tinggi dan daya dukungnya rendah. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memperbaiki sifat-sifat tanah lempung tersebut yang memenuhi persyaratan teknis dan parameter tersebut. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan metode stabilisasi tanah.

Stabilisasi tanah menurut Kreb dan Walker (1971), dalam arti luas tujuan stabilisasi tanah meliputi perlakuan tanah dimana dibuat lebih stabil. Menurut Hardiyatmo (2010), dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah (*additive*) ke dalam tanah. Kesimpulan yang dapat diambil adalah stabilisasi tanah merupakan suatu cara yang digunakan untuk memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut kemampuannya menjadi lebih baik baik secara mekanis maupun dengan cara menggunakan bahan tambah. Hal tersebut dimaksudkan untuk dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi apapun yang akan dibangun di atasnya. Prinsip usaha stabilitas tanah adalah menambah kekuatan lapisan tanah sehingga bahaya keruntuhan dapat diperkecil atau membuat tanah menjadi lebih stabil dalam menerima beban yang dapat dikaji terjadinya tegangan dan regangan tanah.

Stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi ini dilakukan dengan cara menambahkan bahan tambahan (*additive*) pada tanah yang akan distabilisasi. Bahan additive ini antara lain adalah *Portland cement* (PC), dan bahan sintesis. Namun saat ini, penggunaan bahan additive tersebut masih cukup mahal, maka

dusahakan menggunakan bahan limbah yang ada disekitar kita salah satunya limbah abu tandan sawit.

Pada penelitian ini akan dibahas tentang stabilisasi tanah lempung dengan penambahan kapur dan abu tandan sawit sebagai bahan stabilisator yang diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat fisis maupun mekanis dari sampel tanah sehingga didapat tanah lempung yang memenuhi syarat teknis penggunaan pada konstruksi dilapangan.

Abu sekam padi merupakan sisa pembakaran dari sekam padi, sehingga pada prinsipnya abusekam padi ini merupakan limbah sisa pembakaran. Namun berdasarkan penelitian-penelitian yang telah lalu menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki kandungan kimia yang dapat dimanfaatkan untuk stabilisasi tanah karena sifat pozzolan dari bahan kimia tersebut. Hasil analisis lebih lanjut pada abu sekam padi menunjukkan bahwa kandungan SiO_2 mencapai 80-90%, yang memiliki sifat perekat, sehingga pemanfaatannya sudah banyak digunakan yakni dengan mereaksikannya dengan larutan NaOH untuk menghasilkan natrium silikat sehingga dalam industri dapat dimanfaatkan sebagai bahan filler dalam pembuatan sabun dan detergen, bahan perekat (adhesive), dan jeli silika (silica gel) (Wanadri, 1999, dalam Abdurrozak & Azzanna, 2017).

Abu cangkang sawit yang disebut juga dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dihasilkan dari limbah padat kelapa sawit pada suhu sekitar 800 - 1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat, 2009). POFA dapat digunakan sebagai pozzolan, yaitu bahan halus yang mengandung silika dan alumina yang dapat bereaksi dan membentuk bahan semen (ASTM, 2001). POFA mengandung silicon dioksida yang tinggi dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen. POFA adalah bahan pozzolanic yang menjanjikan dan banyak tersedia di seluruh bagian dunia (Tangchirapat, 2009). Pemanfaatan POFA yang tepat dapat mengurangi penggunaan semen dan mengurangi volume limbah sehingga sangat bermanfaat bagi kelestarian lingkungan (Tangchirapat, 2009). Abu hasil pembakaran ini biasanya dibuang dekat pabrik sebagai limbah padat dan tidak dimanfaatkan. Namun setelah diteliti, ternyata abu cangkang sawit mengandung zat kapur (CaO) dan senyawa silika silika yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan stabilisasi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang ingin dijawab dalam penelitian ini yaitu antara lain:

1. Apakah Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit dapat dimanfaatkan untuk bahan stabilisasi tanah?
2. Apakah tanah seperti dari Perbaungan dapat digunakan sebagai tanah timbunan dengan memperbaiki *index properties* nya?
3. Berapakah kadar campuran Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit yang sesuai untuk stabilisasi tanah ?
4. Berapa kadar air optimum kombinasi Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit untuk stabilisasi tanah Perbaungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sifat fisis (*index properties*) dari tanah asli.
2. Mengetahui sifat fisis dan teknis dari Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit.
3. Mencari campuran yang optimal yang memberikan nilai CBR terbesar dari tanah lempung yang distabilisasi dengan Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit.
4. Mengetahui pengaruh penambahan variasi abu cangkang sawit pada tanah lempung terhadap *index properties* dengan penambahan maksimum sebesar 13%.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Pihak - pihak atau mahasiswa yang akan membahas hal yang berkaitan dengan penelitian ini.
2. Pihak – pihak yang membutuhkan informasi dan mempelajari hal yang di bahas dalam laporan tugas akhir ini.
3. Mengurangi limbah Abu sekam padi dan Abu cangkang Sawit.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

1. Tanah yang dipakai tanah lempung Perbaungan, Deli Serdang.
2. Bahan stabilitas yang digunakan adalah kapur yang telah lolos saringan no 200.
3. Abu sekam padi yang digunakan adalah Abu sekam padi yang diambil dari Kilang padi.
4. Abu cangkang sawit sawit sisa pembakaran yang diperoleh dari PT. SAN.
5. Variasi kadar air 2%, 4%, 6%.
6. Uji *index properties* tanah asli untuk mengetahui sifat fisis tanah yang dilakukan pada awal penelitian, meliputi: Uji kadar air, Uji berat jenis tanah, Uji nilai *Atterberg* (batas-batas konsistensi), Uji distribusi butiran atau analisa saringan.
7. Pengujian untuk engineering properties dilakukan dengan uji *Proctor Standard*, uji CBR Laboratorium (*California Bearing Ratio*).
8. Berat tanah yang dimaksud adalah tanah dalam kondisi kering setelah dijemur di bawah sinar matahari dan lolos saringan no 4.
9. Masa pemeraman yaitu 14 hari.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini akan dibuat dalam 5 bab dengan uraian sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan; berisi latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II: Tinjauan Pustaka

Bab ini mencakup hal-hal yang dijadikan penulis sebagai dasar dalam membahas pengaruh penambahan kapur dan abu tandan sawit pada tanah lempung, terhadap peningkatan daya dukung tanah dengan pengujian CBR Laboratorium (*California Bearing Ratio*).

Bab III : Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang segala metodologi yang dilakukan dalam penelitian berupa urutan-urutan tahapan pelaksanaan penelitian mulai dari pekerjaan di lapangan sampai jenis penelitian yang dilakukan di laboratorium hingga analisis data laboratorium yang telah diperoleh.

Bab IV: Pembahasan

Bab ini berisi tentang pembahasan mengenai pengaruh penambahan kapur dan abu tandan sawit pada tanah lempung yang dilihat dari pengujian laboratorium yaitu CBR Laboratorium sesuai dengan variasi kadar campuran yang direncanakan

Bab V: Kesimpulan dan Saran; berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang diberikan atas hasil yang didapat.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KAJIAN TEORI

2.1.1 Tanah

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan yang diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan udara (Craig, 1989). Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat oksida yang bersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik.

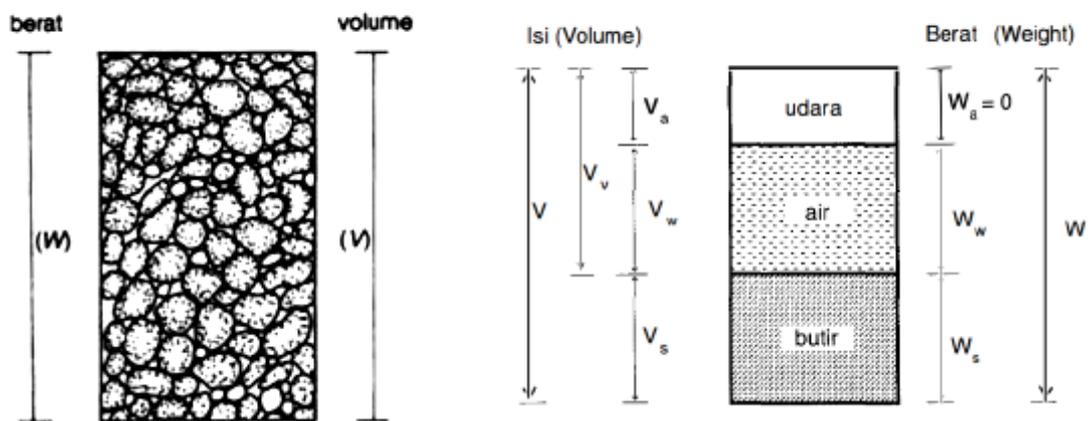
Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*).

- a. Kerikil (*gravels*) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral *quartz*, *feldspar*, dan mineral-mineral lain.
- b. Pasir (*sand*) sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*. Butiran dari mineral yang lain mungkin juga masih ada pada golongan ini.
- c. Lanau (*silts*) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika.
- d. Lempung (*clays*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan

mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air, dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.1: (a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) tiga fase elemen tanah (DAS, 1995)

Dari gambar 2.1 dapat diperoleh persamaan-persamaan untuk menghitung volume total (V) dari suatu tanah sebagai berikut:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (2.1)$$

Dimana :

V_s : Volume butiran padat (Cm^3)

V_v : Volume pori (Cm^3)

V_w : Volume air di dalam pori (Cm^3)

V_a : Volume udara di dalam pori (Cm^3)

Jika udara diasumsikan bahwa tidak memiliki berat, maka untuk menghitung berat total tanah (W) dapat dilihat pada pers 2.2:

$$W = W_s + W_w \quad (2.2)$$

Dimana:

W_s : Berat butiran padat (gr)

W_w : Berat air (gr)

2.1.2 Sifat-sifat fisik tanah

2.1.2.1 Angka Pori (*Void Ratio*)

Angka pori atau void ratio (e) didefinisikan sebagai perbandingan antar volume pori dan volume butiran padat. Pers 2.3 digunakan untuk menghitung angka pori.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.3)$$

Dimana : e : Angka Pori

2.1.2.2 Porositas (*Porosity*)

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume total pada tanah tersebut. Pers 2.4 digunakan untuk menghitung nilai porositas (n).

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (2.4)$$

Dimana :

n : Porositas

V_v : Volume Pori (Cm^3)

V : Volume Tanah (Cm^3)

2.1.2.3 Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air (w) yang disebut juga water content didefenisikan sebagai sebagai perbandingan antar berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pers 2.5 digunakan untuk menentukan nilai kadar air (w).

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.5)$$

2.1.2.4 Berat Volume Basah

Berat volume basah atau lembab (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (w) dengan volume total tanah (V). Pers 2.6 digunakan untuk menentukan nilai berat volume basah.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2.6)$$

Dimana:

γ_b = Berat volume basah (gr/Cm³)

W = berat butiran tanah (gr)

V = volume total tanah (Cm³)

Dengan:

$$W = W_w + W_s + W_v \text{ (} W_v = \text{ berat udara } = 0 \text{)}.$$

Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

2.1.2.5 Berat Volume Kering

Berat volume kering (γ_d), adalah perbandingan antara berat butiran berat butiran (W_s) dengan volume total (V) tanah. Pers 2.7 digunakan untuk menentukan nilai berat volume kering.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.7)$$

Dimana :

γ_d = berat volume kering (gr/Cm³)

W_s = berat butiran tanah (gr)

V = volume total tanah (Cm³)

2.1.2.6 Berat Volume Butiran Padat (*Soil Volume Weight*)

Berat volume butiran padat (γ_s) merupakan perbandingan antara berat butiran tanah (W_s) dengan volume butiran tanah padat (V_s). Pers 2.8 digunakan untuk menentukan nilai berat volume butiran padat.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.8)$$

Dimana :

γ_s : Berat volume padat (gr/Cm³)

W_s : Berat butiran tanah (gr)

V_s : Volume total padat (Cm³)

2.1.2.7 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah (G_s) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4°. Nilai suatu berat jenis tanah tidak bersatuan (tidak berdimensi). Pers 2.9 digunakan untuk menentukan berat jenis.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.9)$$

Dimana:

G_s : berat jenis

γ_s : berat volume padat (gr/Cm³)

γ_w : berat volume air (gr/Cm³)

Nilai- nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1: Berat Jenis Tanah (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau anorganik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung anorganik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,8

2.1.2.8. Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation*)

Derajat kejenuhan (S) merupakan perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v), biasanya dinyatakan dalam persen. Pers 2.10 digunakan menentukan derajat kejenuhan.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (2.10)$$

Dimana :

S : derajat kejenuhan

V_w : volume air (Cm³)

V_v : volume total rongga pori tanah (Cm³)

Derajat kejenuhan dan kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2: Derajat kejenuhan dan kondisi tanah (Hardiyatmo, 2002)

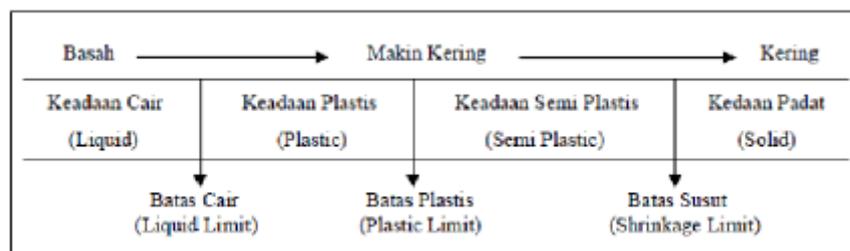
Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	>0 - 0,25
Tanah lembab	0,26 - 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 - 0,75
Tanah basah	0,76 - 0,99
Tanah jenuh air	1

2.1.3 Batas-batas Atterberg

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*adsorbed water*) di sekeliling permukaan dari partikel lempung.

Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis, dan cair.

Kadar air dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (*Atterberg limits*).

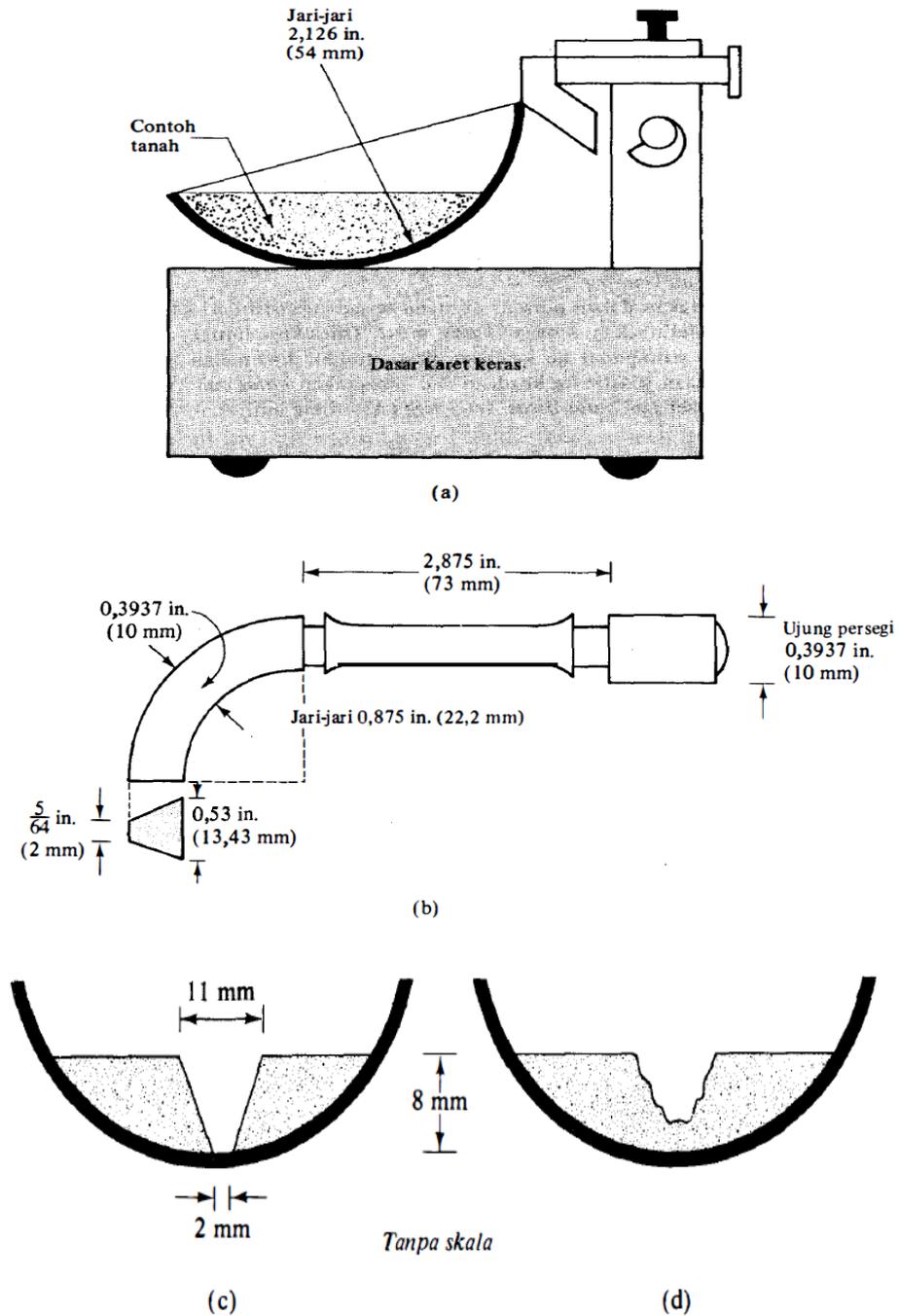


Gambar 2.2 Batas-batas Atterberg (Hardiyatmo, 2002)

2.1.3.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*liquid limit*) adalah sebagai kadar air pada tanah ketika tanah berada diantara keadaan plastis dan keadaan cair. Batas cair ditentukan dari pengujian *Cassagrande* (1948), yakni dengan menggunakan cawan yang telah dibentuk sedemikian rupa yang telah berisi sampel tanah yang telah dibelah oleh *grooving tool* dan dilakukan dengan pemukulan sampel dengan dua sampel dengan pukulan diatas 25 pukulan dan dua sampel dengan pukulan dibawah 25 pukulan sampai tanah yang telah dibelah tersebut menyatu. Hal ini dimaksudkan

agar mendapatkan persamaan sehingga didapatkan nilai kadar air pada 25 kali pukulan. Batas cair memiliki batas nilai antara 0 – 1000, akan tetapi kebanyakan tanah memiliki nilai batas cair kurang dari 100. (Holtz dan Kovacs, 1981). Alat uji batas cair berupa cawan *Cassagrande* dan *grooving tool* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: (a) alat untuk uji batas cair; (b) alat untuk menggores; (c) contoh tanah sebelum diuji; (d) contoh tanah setelah diuji (DAS, 1995)

2.1.3.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (*Plastic Limit*) dapat didefinisikan sebagai kadar air pada tanah ketika tanah berada diantara daerah semi padat dan daerah plastis. Batas Plastis memiliki batas nilai antara 0 – 100, akan tetapi kebanyakan tanah memiliki nilai batas cair kurang dari 40.

Untuk mengetahui Batas Plastis suatu tanah dilakukan dengan percobaan menggulung tanah berbentuk silinder dengan diameter sekitar 3,18 mm dan mulai mengalami retak-retak ketika digulung, kadar air dari sampel tersebut adalah Batas Plastis (ASTM D-424).

2.1.3.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Kadar Air Tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat disebut Batas Susut (*Shrinkage Limit*), yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Percobaan Batas Susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi oleh pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna yang kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dalam air raksa. Batas Susut dapat dinyatakan dalam Pers 2.11 seperti yang ditunjukkan pada rumusan dibawah ini.

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dimana :

m_1 : berat tanah basah dalam cawan percobaan (g)

m_2 : berat tanah kering oven(g)

v_1 : volume tanah basah dalam cawan (Cm³)

v_2 : volume tanah kering oven (Cm³)

γ_w : berat volume air (gr/ Cm³)

2.1.3.4 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitan tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis besar disebut tanah gemuk. Nilai indeks plastisitas dapat dihitung dengan Pers 2.12 berikut :

$$IP = LL - PL \quad (2.12)$$

Dimana :

IP : Indeks Plastisitas (%)

LL : Batas Cair (%)

PL : Batas Plastis (%)

Klasifikasi jenis tanah berdasarkan indeks plastisitasnya dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3: Klasifikasi jenis tanah berdasarkan indeks plastisitasnya
(Hardiyatmo, 2002)

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

2.1.3.5 Indeks Kecairan (*Liquidity Index*)

Kadar Air tanah asli relatif pada kedudukan plastis dan cair, dapat didefinisikan oleh Indeks Kecairan (*Liquidity Index*). Indeks Kecairan merupakan perbandingan antara selisih Kadar Air asli dengan Batas Plastis terhadap Indeks Plastisitasnya. Dapat dilihat pada Pers 2.13 berikut :

$$LI = \frac{W_N - PL}{LL - PL} = \frac{W_N - PL}{PI} \quad (2.13)$$

Dimana : LI : Liquidity Index (%)

WN : Kadar air asli (%)

2.1.4 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Pengklasifikasian tanah ini bertujuan untuk mempermudah para perencana dalam memperkirakan sifat fisis tanah dengan mengelompokkan tanah dengan kelas yang sama yang sifat fisisnya diketahui dan menyediakan sebuah metode yang akurat mengenai deskripsi tanah bagi para ahli. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasar satu kondisi-kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan kondisi-kondisi fisis tertentu lainnya.

Oleh karena itu, sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan dan pengklasifikasian tersebut dapat dibagi menjadi dua sistem klasifikasi yaitu :

1. Klasifikasi tanah sistem AASHTO
2. Klasifikasi tanah sistem USCS

2.1.4.1 Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Kemudian sistem ini mengalami beberapa perbaikan, sampai saat ini versi yang berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3 adalah tanah berbutir yang 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no. 200. Sedangkan tanah A-4 sampai A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no. 200.

Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya dan pada awalnya membutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Analisis ukuran butiran.
2. Batas cair dan batas plastis dan IP yang dihitung.
3. Batas susut.
4. Ekuivalen kelembaban sentrifugal, sebuah percobaan untuk mengukur kapasitas tanah dalam menahan air.
5. Ekuivalen kelembaban lapangan, kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.

Tabel 2.4: Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO (Das, 1991)

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no. 200)				
	A-1		A-3	A-2		A-2-6	A-2-7	A-4	A-4	A-4	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5						A-7-5
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	?	-	?	?	?	?	-	-	-	-
0,45 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min	?	?	?	?	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos Saringan no. 40											
Batas cair (LL)	?	?	-	40 maks	41 maks	40 maks	41 maks	40 min	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)		6 maks	np	10 maks	10 maks	11 min	11 maks	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (GI)		0	0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu, kerikil dan pasir		pasir halus	kerikil berlanau atau			tanah berlanau			tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik						sedang sampai buruk				

2.1.4.2 Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Pada sistem *unified*, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan no 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan no 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5: Klasifikasi Tanah Dalam Sejumlah Kelompok dan Subkelompok
(Hardiyatmo, 2002)

Simbol	Nama Klasifikasi Tanah
G	Krikil (Gravel)
S	Pasir (Sand)
C	Lempung (Clay)
M	Lanau (Silt)
O	Lanau atau lempung organik (Organic silt or clay)
Pt	Tanah gambut dan tanah organik tinggi (Peat and highly organic soil)
W	Gradasi baik (Well- graded)
P	Gradasi buruk (Poorly-graded)
H	Plastisitas tinggi (High-plasticity)
L	Plastisitas rendah (Low-plasticity)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem Unified adalah sebagai berikut :

1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan menyaringnya dengan saringan nomor 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - (a) Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran
 - (b) Tentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - (c) Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila krikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila krikil) atau SP (bila pasir).
 - (d) Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no 200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).

3. Jika persentase butiran yang lolos saringan no 200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
4. Untuk tanah berbutir halus :
 - (a) Kerjakan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 - (b) Untuk H (plastisitas Tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
 - (c) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai anorganik (ML) berdasarkan warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisitasnya dengan mengeringkannya di dalam oven.

Tabel 2.6: Klasifikasi tanah sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) (Das, 1991)

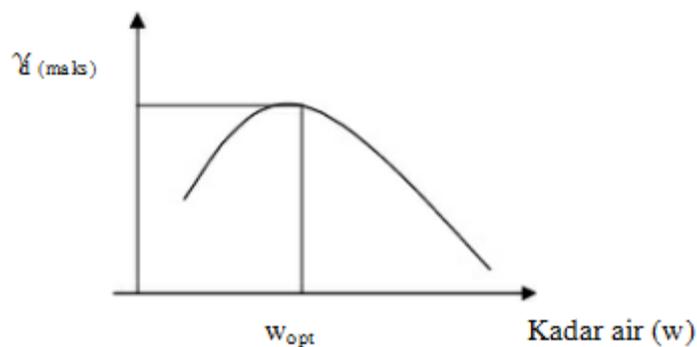
Klasifikasi umum		Simbol klasifikasi	Nama jenis	Kriteria klasifikasi		
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan pada ayakan 74 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada ayakan 4,76 mm	Kerikil bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1-3	
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus		
		Kerikil berbutir halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4 Batas Atterberg terletak di atas garis A atau Index Plastisitas > dari 7	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung		
	50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4,76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 6 $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1-3	
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus		
		Pasir berbutir halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4 Batas Atterberg terletak di atas garis A atau Index Plastisitas > dari 7	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung		
						Tidak sesuai dengan kriteria GW. Tidak sesuai dengan kriteria SW
						Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan klasifikasi
Tanah berbutir halus lebih dari 50% lolos ayakan 74 μ	Lanau dan lempung LL ≤ 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol</p>		
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil Lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah			
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik			
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae), lanau elastis			
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
					Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM lihat D 2488-66T.	

2.1.5 Sifat-Sifat Mekanis Tanah

2.1.5.1 Pemadatan Tanah (Compaction)

Pemadatan (*compaction*) merupakan proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara: tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini. Pada dasarnya pemadatan merupakan usaha mempertinggi kepadatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Energi pemadatan di lapangan dapat diperoleh dari mesin gilas, alat-alat pemadatan getaran dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan. Di dalam laboratorium digunakan alat-alat pemadatan tanah untuk percobaan. Derajat kepadatan yang dapat dicapai tergantung tiga faktor yang saling berhubungan, yaitu kadar air selama pemadatan, volume dan jenis tanah dan jenis beban pematat yang digunakan (Krebs dan Walker, dalam Budi Satrio 1998).

Ada 2 macam percobaan di laboratorium yang biasa dipakai untuk menentukan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content = O.M.C*) dan berat isi kering maksimum (*Maximum Dry Density = γ_d*). Percobaan-percobaan tersebut ialah percobaan pemadatan standar (*Standart Compaction Test*) dan percobaan pemadatan modifikasi (*Modified Compaction Test*). Pada tanah yang mengalami pengujian pemadatan akan terbentuk grafik hubungan berat volume kering dengan kadar air. Kemudian dari grafik hubungan antara kadar air dan berat volume kering ditentukan kepadatan maksimum dan kadar air optimum.



Gambar 2.4: Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah (Hardiyatmo, 2002)

2.1.5.2 Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). CBR untuk pertama kalinya diperkenalkan oleh *California Division of Highways* pada tahun 1928. Sedangkan metode CBR ini dipopulerkan oleh O. J. Porter. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1”/0,2” dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1”/0,2”.(Sukirman,1995). Jadi nilai CBR didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam prosentase. Tujuan dari percobaan CBR adalah untuk dukung tanah dalam kepadatan maksimum. 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.

CBR lapangan (*CBR in place*) digunakan untuk mendapatkan nilai CBR asli di lapangan, sesuai dengan tanah dasar saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, selain itu jenis CBR ini digunakan untuk mengontrol kepadatan yang diperoleh apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan. CBR lapangan direndam (*undisturbed soaked CBR*) digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum.

Adapun Jenis-Jenis CBR sebagai berikut:

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

CBR lapangan digunakan untuk memperoleh nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan ini dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan), atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.

1.1. CBR lapangan terendam (*field soaked CBR*)

CBR lapangan terendam dimanfaatkan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (swelling) yang maksimum.

Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, biasanya terletak pada daerah yang sering terendam air saat musim penghujan dan kering ketika musim kemarau. Pemeriksaan harus dilakukan pada musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mould*) yang ditekan masuk hingga tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

2. CBR laboratorium

Tanah dasar (*Subgrade*) pada konstruksi dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang telah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah untuk memikul beban setelah tanah dipadatkan. CBR ini disebut CBR laboratorium, karena disiapkan di laboratorium.

CBR laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR laboratorium terendam (*soaked*) dan CBR laboratorium tidak terendam (*unsoaked*):

- a. CBR laboratorium terendam (*soaked*) dilakukan perendaman selama 4 hari, perendaman ini bertujuan untuk membuat tanah menjadi jenuh air.
- b. CBR laboratorium tidak terendam (*unsoaked*) dilakukan langsung setelah tanah dipadatkan untuk pengujian.

2.1.6 Teori Keruntuhan Mohr-Coulomb

Teori keruntuhan berfungsi untuk menguji hubungan antara tegangan normal dengan tegangan geser tanah, dimana keruntuhan (*failure*) adalah ketidakmampuan elemen tanah untuk menahan beban akibat pembebanan. Keruntuhan juga dapat didefinisikan sebagai keadaan dimana tanah tidak dapat menahan regangan yang besar dan atau penurunan keadaan regangan yang sangat cepat.

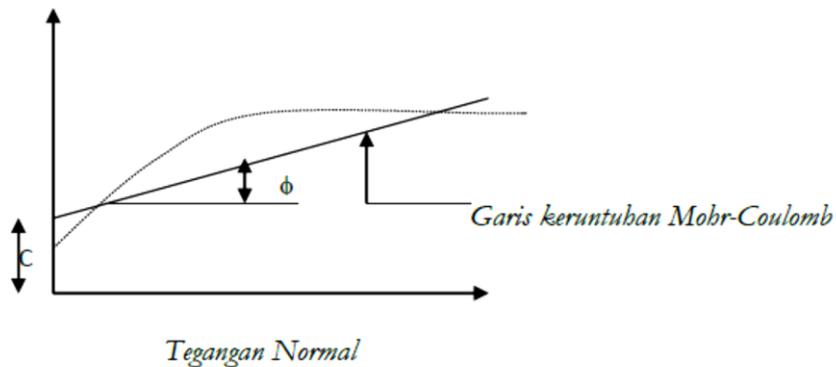
Pada sekitar tahun 1776, *Coulomb* memperkenalkan hubungan linear yang terjadi antara tegangan normal dan tegangan geser.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad 2.16$$

Dimana :

C : Kohesi (kg/cm^2)

ϕ : Sudut geser internal ($^\circ$)



Gambar 2.5: Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser.

(Das, 1995)

2.1.7 Sensitifitas Tanah Lempung

Tanah lempung terbentuk dari banyak jenis mineral. Jika mineral pembentuk berbeda, berbeda pula sifatnya. Perbedaan ini meliputi kelakuannya terhadap penambahan atau pengurangan kadar air, dan pula terhadap pengaruh gangguan susunan tanah. Beberapa lempung sangat sensitif terhadap gangguan, sehingga akan mengalami pengurangan kuat geser akibat susunan aslinya terganggu. Sensitivitas didefinisikan sebagai nilai banding kuat geser undrained dalam kondisi tak terganggu terhadap kuat geser undrained tanah yang sudah berubah dari bentuk aslinya, pada kadar air yang sama. Karena beberapa jenis lempung mempunyai sifat sensitif terhadap gangguan yang berbeda-beda, maka perlu diadakan pengelompokan yang berhubungan dengan sifat sensitifnya. Lempung dengan sensitivitas di antara 4 dan 8 disebut lempung sensitif dan bila sensitivitas lempung diantara 8 sampai 16 disebut ekstra sensitif. Lempung dengan sensitivitas lebih besar termasuk jenis *quick clay*.

Beberapa jenis lempung mempunyai sifat sensitif terhadap gangguan yang berbeda-beda, oleh karena itu perlu adanya pengelompokan yang berhubungan dengan nilai sensitifitas. Klasifikasi secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.8

Tabel 2.7: Klasifikasi tanah lempung dengan nilai sensitifitasnya

Jenis Tanah	Sensitifitas
Lempung tak Sensitive	1
Lempung Sensitifitas Rendah	1-2
Lempung Sensitifitas Menengah	2-4
Lempung Sensitif	4-8
Lempung Ekstra Sensitif	>8
Lempung Cepat (Quick Clays)	>16

2.2 Bahan-Bahan Penelitian

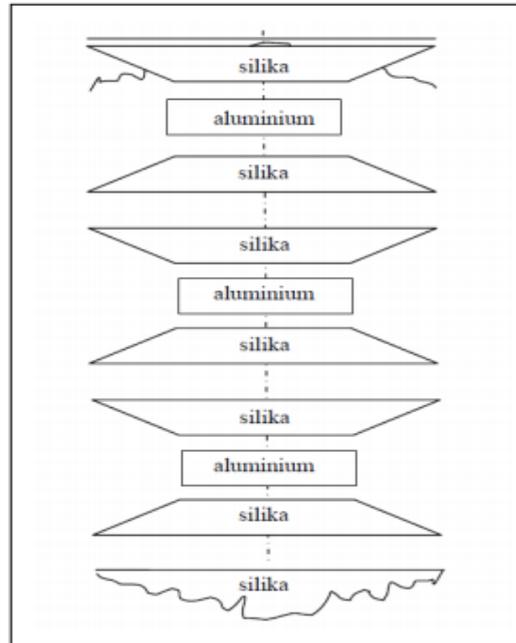
2.2.1 Tanah Lempung

2.2.1.1 Defenisi Tanah Lempung

- a. Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat sangat keras dalam keadaan kering dan plastis dalam selang kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi, lempung bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak; (Das, 1985)
- b. Tanah lempung merupakan deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%; (Bowles, 1984)
- c. Tanah lempung adalah tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah; (Grim, 1962)
- d. Tanah lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil ($< 0,002$ mm) dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah; (Wesley, 1977)
- e. Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus $> 0,002$ mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan poses konsolidasi lambat; (Hardiyatmo, 1992).
- f. Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung didalamnya, karena tidak adanya perbedaan yang dominan dimana kesemuanya hanya dipengaruhi oleh unsur natrium saja yang paling mendominasi. Semakin tinggi plastisitas, grafik yang dihasilkan pada masing-masing unsur kimia belum tentu sama. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur warna tanah dipengaruhi oleh nilai *Liquid Limit* (LL) yang berbeda; (Marindo, 2005).

a. Montmorillonite

Montmorillonite, disebut juga smectite, adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (gibbsite). Susunan mineral montmorillonite ditunjukkan pada gambar:

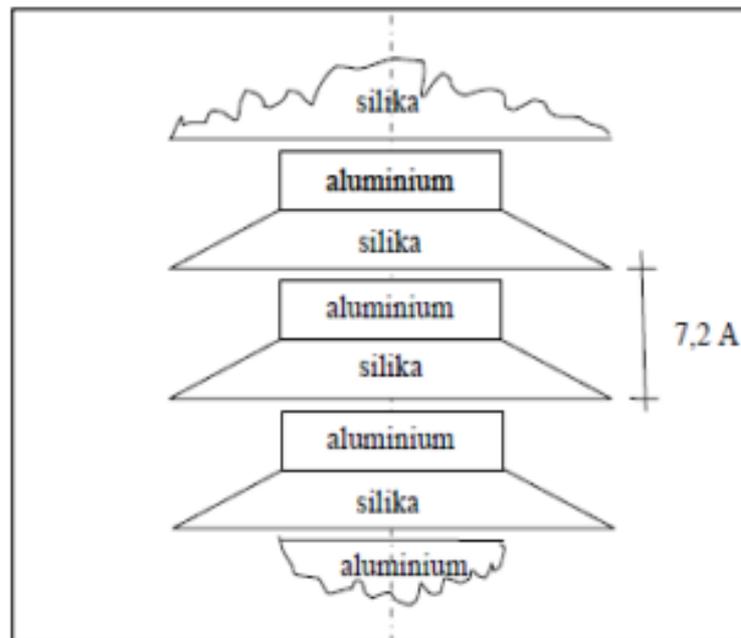


Gambar 2.7: Susunan mineral montmorillonite (*Grim, 1959*)

Lembaran oktahedra terletak di antara dua lembar silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magnesium. Karena adanya gaya ikatan Van der Waals yang lemah di antara ujung lembaran silika dan terdapat kekuatan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, air dan ion-ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya, jadi kristal montmorillonite sangat kecil tapi waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung montmorillonite sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

b. Kaolinite

Kaolinite merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri dari susunan satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal 7,2 Å (1 angstrom (Å) = 10^{-10} m) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10, kedua lembaran terikat bersama-sama sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen.



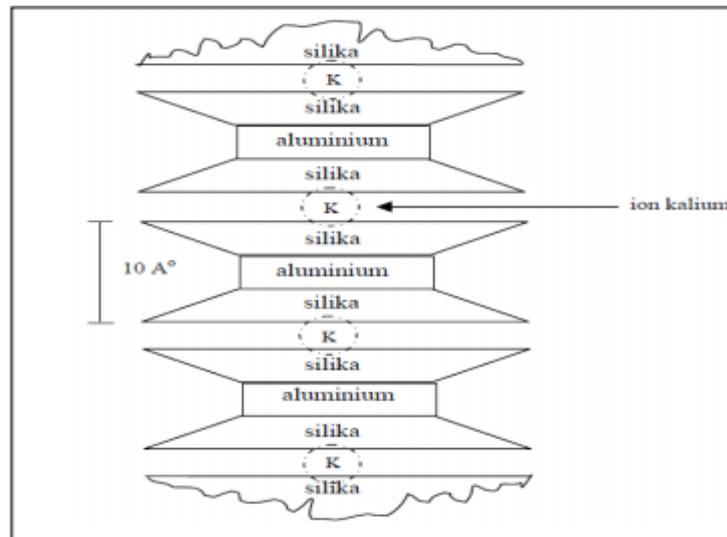
Gambar 2.8: Susunan mineral Kaolinite (*Grim, 1959*)

Pada keadaan tertentu, partikel kaolinite mungkin lebih dari 100 tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk di antara lempengan (air dapat menimbulkan kembang susut pada sel satuannya).

c. Illite

Illite adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok illite. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat di antara dua lembaran silika tetrahedra. Dalam lembaran oktahedra, terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.11. Lembaran-lembaran terikat bersama-sama

oleh ikatan lemah ionion kalium (K^+).Susunan illite tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembarannya.



Gambar 2.9: Susunan Mineral Illite (*Grim,1959*)

2.2.1.3 Sifat Tanah Lempung

Tanah lempung mempunyai sifat-sifat khas yaitu, dalam keadaan kering akan bersifat keras, apabila dalam keadaan basah akan bersifat lunak plastis dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu. Adapun sifat-sifat umum dari mineral lempung, yaitu:

a. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung adalah perbandingan antara *Indeks Plastisitas* (IP) dengan prosentase butiran lempung, dan dapat disederhanakan dalam persamaan:

$$A = \frac{PI}{\text{Fraksi Tanah Lempung}}$$

Dimana untuk nilai $A > 1,25$ tanah digolongkan aktif dan bersifat ekspansif. Pada nilai $1,25 < A < 0,75$ tanah digolongkan normal sedangkan tanah dengan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif. Nilai- nilai khas dari aktivitas dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.8: Aktivitas Tanah Lempung (Bowles, 1984)

Minerologi Tanah Lempung	Nilai Aktivitas
Kaolinite	0,4 - 0,5
Illite	0,5 - 1,0
Montmorillonite	1,0 - 7,0

b. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60°C-100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

c. Pengaruh Air

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. 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. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCL₄) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

d. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (amorphus) maka daya negatif, ion-ion H^+ di dalam air, gaya Van der Waals, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flock (*flock*) yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala thixotropic, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

e. Sifat Pengembangan Volume Tanah (Swelling)

Tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah, kadar air, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, dan sementasi dan adanya bahan organik.

2.2.2 Abu sekam padi

Negara Indonesia sendiri mempunyai sekitar 60.000 mesin penggiling padi yang tersebar di seluruh daerah yang menghasilkan limbah berupa sekam padi 15 juta ton per tahun. Dalam jumlah besar, beberapa mesin penggiling padi dapat menghasilkan limbah 10-20 ton sekam padi per hari. Sekam padi yang sering dikatakan sebagai limbah pengolahan padi ini sering diartikan sebagai bahan buangan/bahan sisa dari proses pengolahan hasil pertanian. Proses penghancuran limbah ini pun secara alami berlangsung lambat, sehingga limbah tidak saja mengganggu lingkungan sekitarnya tetapi juga mengganggu kesehatan manusia.

Pada saat penggilingan padi selalu kita lihat tumpukan bahkan gunung sekam yang semakin lama semakin tinggi. Namun pemanfaatan sekam padi tersebut masih sangat sedikit, sehingga sekam tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu lingkungan. Alternatif pengolahan sekam sangatlah terbatas karena massa jenisnya yang rendah, dekomposisi secara alami sangat lambat, dapat menimbulkan penyakit pada tanaman padi maupun tanaman lain, kandungan mineral yang tinggi. Hal yang paling sering dilakukan petani terhadap sekam padi adalah dengan digunakan kembali sebagai pupuk alami oleh para petani-petani.

Namun berdasarkan kerapatan jenis (bulk densil) 1125 kg/m^3 , dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 k. kalori, serta memiliki bulk density $0,100 \text{ g/ml}$, nilai kalori antara 3300 -3600 kkalori/kg sekam dengan konduktivitas panas $0,271 \text{ BTU}$ (Houston, 1972) pada sekam padi ini. Sekam padi dapat digunakan untuk biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai hal seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar ataupun sebagai adsorpsi pada logam-logam berat. Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras. Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur, dapat mencegah reaksi ketengikan karena dapat melindungi lapisan tipis yang kaya minyak terhadap kerusakan mekanis selama pemanenan, penggilingan dan pengangkutan. (Haryadi. 2006).

2.2.3 Abu cangkang Sawit

Abu cangkang sawit merupakan hasil limbah padat pabrik pengolah kelapa sawit yang kurang dimanfaatkan hingga saat ini. Seiring dengan perkembangan industri sawit yang terus meningkat, berdampak pada limbah padat yang dihasilkan. Limbah ini adalah sisa produksi sawit kasar tandan kosong, sabut dan cangkang (batok) sawit. Limbah padat berupa cangkang digunakan sebagai bahan bakar ketel (boiler) untuk menghasilkan energi mekanik dan panas. Masalah yang kemudian timbul adalah dan sisa pembakaran pada ketel (boiler) berupa abu cangkang dengan jumlah yang terus meningkat sepanjang tahun yang sampai sekarang masih kurang dimanfaatkan (Endriani, 2012).

2.2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan (treatment) khusus terhadap lapisan tanah tersebut.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk memenuhi satu dari empat sasaran berikut ini :

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah
3. Untuk memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan swelling potensial tanah
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*)

Dari keempat sasaran dari suatu tindakan stabilisasi yang diuraikan di atas, sangat jarang dicapai secara bersamaan (sekaligus). Akan tetapi harus selalu diupayakan agar dapat tercapai perbaikan parameter yang diinginkan dengan tanpa mengakibatkan pengrusakan parameter yang lainnya.

Adapun metode-metode stabilisasi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Stabilisasi Mekanis

Dalam metode ini, stabilisasi dapat dicapai melalui proses fisik dengan mengubah sifat fisik tanah di lapangan. Salah satu proses fisik yang dapat dilakukan yaitu pemadatan tanah (Makusa, 2012).

Tanah hasil stabilisasi secara mekanis akan mengalami peningkatan kekuatan dan ketahanan terhadap beban yang bekerja di atasnya. Hal ini disebabkan karena adanya kaitan dan geseran antara butiran tanah kasar dengan butiran tanah halus. Kestabilan tanah hasil stabilisasi mekanis akan tercapai setelah dilakukan pemadatan.

2. Stabilisasi Kimiawi

Dalam stabilisasi kimiawi terjadi reaksi antara bahan stabilisasi dengan tanah. Stabilisasi dilakukan dengan cara penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat kurang menguntungkan dari tanah. Bahan stabilisasi yang dapat digunakan di antaranya semen portland, kapur, aspal, dan lain-lain. Metode ini biasanya digunakan pada tanah berbutir halus. Pemilihan jenis bahan tambah untuk stabilisasi dilakukan berdasarkan distribusi ukuran butir tanah. Tabel 2.10 menunjukkan pemakaian beberapa jenis bahan tambah yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk berbagai jenis tanah.

Tabel 2.9: Pemilihan bahan tambah untuk stabilisasi tanah (Hardiyatmo, 2010)

Tipe tanah		Lempung halus	Lempung kasar	Lanau halus	Lanau kasar	Pasir halus	Pasir kasar	
Ukuran butiran tanah (mm)		<0,0006	0,0006 - 0,002	0,002 - 0,01	0,01 - 0,06	0,06 - 0,40	0,4 - 2,0	
Stabilisasi volume tanah		Sangat buruk	Sedang	Sedang	Baik	Sangat baik	Sangat baik	
Tipe stabilisasi	Kapur	Efisiensi maksimum						
	Semen	Efektif, tapi pengendalian mutu sulit						
	Polimerik - organik					Efisiensi maksimum		
	Mekanis		Efektif, tapi pengendalian mutu sulit			Efisiensi maksimum		
	Termal	Efisiensi maksimum						
		Efisiensi maksimum		Efektif, tapi pengendalian mutu sulit				

2.2.4.1 Stabilisasi Tanah Dengan Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan suatu material yang merupakan limbah dari hasil pengolahan padi menjadi beras pada pabrik penggilingan padi. Abu sekam padi tersebut merupakan limbah yang tidak mengalami pengolahan kembali. Komposisi abu sekam padi terdiri atas Silika sebagai SiO_2 , Aluminium sebagai Al_2O_3 , dan Magnesium sebagai MgO . Abu sekam padi tersebut akan dimanfaatkan untuk stabilisasi tanah dengan tujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah asli.

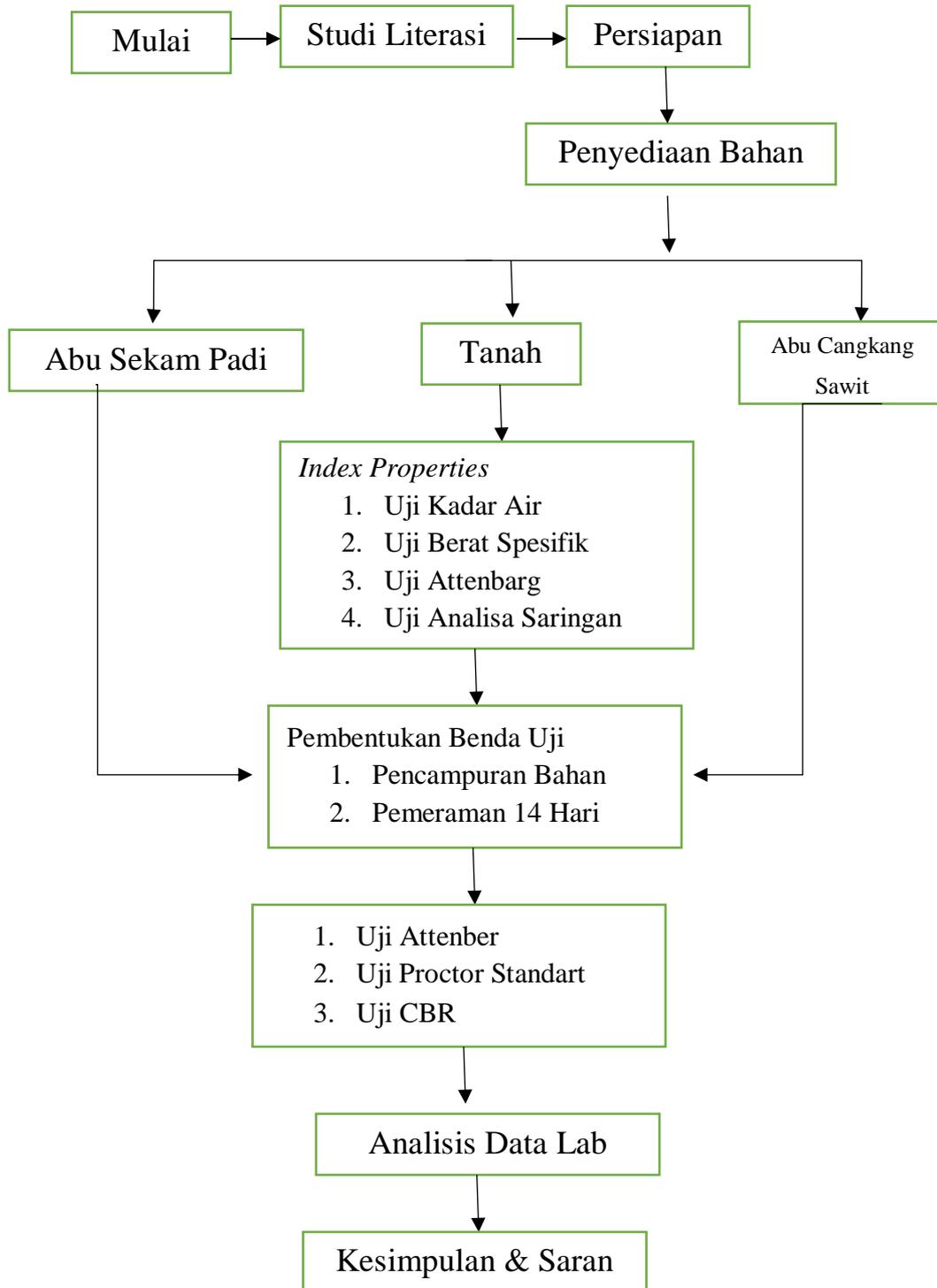
2.2.4.2 Stabilisasi Tanah Dengan Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit yang disebut juga dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dihasilkan dari limbah padat kelapa sawit pada suhu sekitar $800 - 1.000^\circ\text{C}$ pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat, 2009). Industri kelapa sawit menghasilkan limbah padat seperti serat, cangkang dan tandan kosong. Proses ekstraksi 100 ton tandan buah segar akan menghasilkan 20 ton cangkang, 7 ton serat, dan 25 ton tandan kosong (Tay, 1995). POFA dapat digunakan sebagai pozzolan, yaitu bahan halus yang mengandung silika dan alumina yang dapat bereaksi dan membentuk bahan semen (ASTM, 2001). POFA mengandung silikon dioksida yang tinggi dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen.

Propertis tanah kohesif diubah dengan penambahan abu sawit sehingga pemadatan akan menghasilkan derajat kompaksi yang tinggi disamping terjadi pula ikatan antara bahan pengikat dan partikel tanah kohesif (Nugroho dkk, 2013). Penggunaan abu sawit sebagai bahan stabilisasi tanah dapat menambah nilai kuat tekan tanah, meningkatkan kuat geser tanah dan menurunkan nilai indeks plastis sebesar 14,2 persen dengan menambahkan abu sawit hingga 20 persen pada tanah (Edison, 2003). Abu cangkang sawit merupakan bahan pozzolanic, yaitu material utama pembentuk semen, yang mengandung senyawa silika oksida (SiO_2) aktif.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian



3.2 Program Penelitian

Metodologi penelitian yang penulis lakukan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penelitian yang dilakukan yaitu pada sampel tanah yang tidak diberikan bahan stabilisasi (tanah asli) dan pada tanah yang diberikan bahan stabilisasi kimiawi berupa penambahan Abu Sekam Padi (ASP) dan Abu cangkang Sawit (ACS) dengan berbagai variasi campuran.

3.3 Pekerjaan Persiapan

Adapun pekerjaan persiapan yang dilakukan oleh peneliti dalam penelitian ini yakni :

- Mengumpulkan bahan literatur yang berkaitan dengan tanah lempung yang distabilisasi dengan abu sekam padi dan abu cangkang sawit, serta literatur mengenai pengujian CBR Laboratorium.
- Penyediaan alat dan bahan penelitian
 - ✓ Persiapan Alat Penelitian

Menentukan alat-alat yang akan digunakan selama penelitian, mulai dari penelitian tahap awal hingga penelitian tahap akhir. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat untuk Uji Kadar Air, Uji Berat Spesifik, Uji Batas-batas Konsistensi, Uji Pemadatan, Uji CBR Laboratorium dan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material* (ASTM), Uji CBR dan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material* (ASTM).

- ✓ Persiapan Bahan
- ❖ Tanah Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Perbaungan, Deli Serdang, Sumatera Utara. Pada penelitian ini digunakan sampel disturbed. Untuk pengambilan tanah dengan cara penggalian menggunakan cangkul kemudian dimasukkan ke dalam karung. Tanah yang diambil kemudian dikeringkan hingga kering udara dan ditumbuk dengan alat pemecah mekanis.

- ❖ Abu Sekam Padi yang digunakan adalah Abu sekam padi yang diambil dari kilang padi. Selanjutnya disaring menggunakan saringan no.200.
- ❖ Abu cangkang sawit yang dipakai adalah abu dari perkebunan PT. SAN yang diambil dari Belawan, Sumatera Utara

3.4 Proses Sampling

Adapun pengambilan (*proses*) sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) yang diperoleh dari lapangan adalah dengan menggunakan hand bore dan untuk sampel tanah terganggu diambil dari tanah yang berada ± 30 cm dari muka tanah. Hal ini dimaksudkan agar humus dan akar-akar tanaman yang ada dapat terangkat dan tidak terikut dalam tanah yang akan dipakai. Adapun prosedur sampling yang dilakukan adalah:

- Menentukan lokasi tanah yang akan dilakukan sampel, yaitu di Perbaungan, Deli Serdang, Sumatera Utara. Melakukan pembersihan humus dan akar-akar tanaman yakni ± 30 cm dari muka tanah.
- Melakukan pengambilan sampel tanah yang akan digunakan. Untuk pengujian tanah asli diambil dari contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dan untuk pengujian tanah campuran diambil dari tanah *disturbed* dicampur dengan abu sekam padi dan abu cangkang sawit.

3.5 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian yaitu pengujian untuk tanah dan pengujian untuk abu cangkang sawit dan abu sekam padi adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

3.5.1 Tanah

3.5.1.1 Tanah Asli

Adapun pengujian untuk tanah asli meliputi:

- Uji Kadar Air
- Uji Berat Spesifik
- Uji Batas-batas Atterberg
- Uji Analisa Saringan
- Uji Pemadatan

3.4.1.2 Tanah yang Telah Distabilisasi

Adapun pengujian untuk tanah yang telah dicampur dengan abu sekam padi dan abu cangkang sawit meliputi :

- Uji Batas-batas Atterberg
- Uji Pemadatan
- Uji Nilai CBR

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

Pada bab ini akan dijelaskan hasil yang di dapatkan melalui pengujian stabilisasi tanah dengan stabilisator abu sekam padi dan abu cangkang sawit yang ditinjau dari nilai CBR. Dengan masing-masing variasi persentase campuran untuk abu cangkang sawit yaitu 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13% dan untuk abu sekam padi variasi sebesar 2% , dengan pemeraman (*curing time*) selama 14 hari. Pengujian tanah asli dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan pengujian CBR dilakukan di Laboratorium Mekanika Teknik, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara dengan sampel tanah dari jalan Suka Jadi Serdang Bedagai, Sumatera Utara.

4.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah

4.2.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

Adapun pengujian yang dilakukan pada tanah asli antara lain :

- ✓ Uji Kadar Air
- ✓ Uji Berat Spesifik
- ✓ Uji Batas-Batas Atterberg
- ✓ Uji Analisa Saringan

Hasil untuk pengujian tanah asli dilihatkan pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1: Hasil Pengujian Tanah Asli

NO.	Pengujian	Hasil
1	Kadar Air (<i>Water Content</i>)	15,91%
2	Berat Jenis (<i>Spesific Gravity</i>)	2,65%
3	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	50,49 %

Tabel 4.1: *Lanjutan*

4	Batas Plastis (<i>Plastis Limit</i>)	28,45 %
5	Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	22,14%
6	Persen Lolos Ayakan no. 200	36,29 %

Nilai Indeks Plastisitas diperoleh dari rumus :

$$IP = LL - PL$$

Dimana :

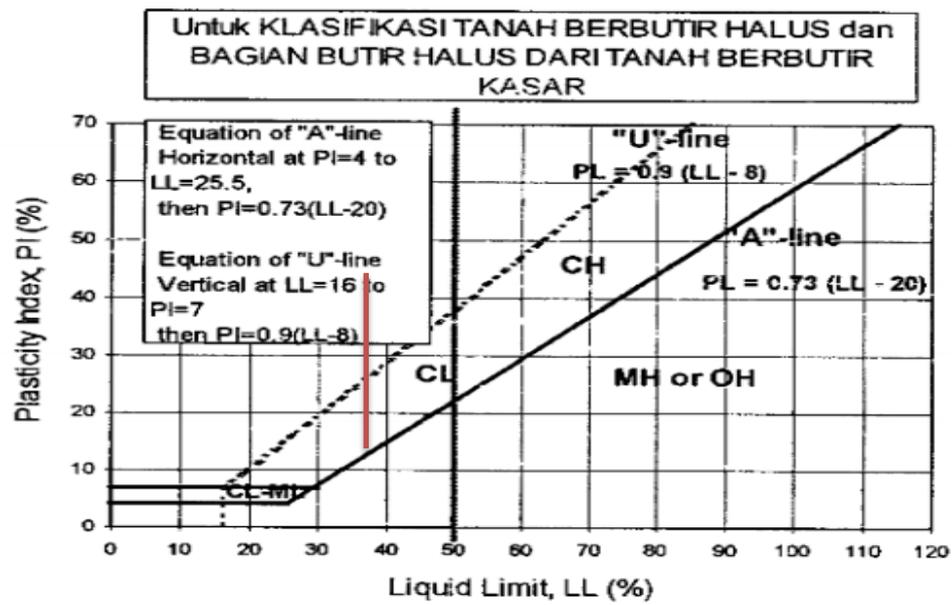
IP : Indeks Plastisitas (%)

LL : Batas Cair (Liquid Limit) (%)

PL : Batas Plastis (Plastis Limit) (%)

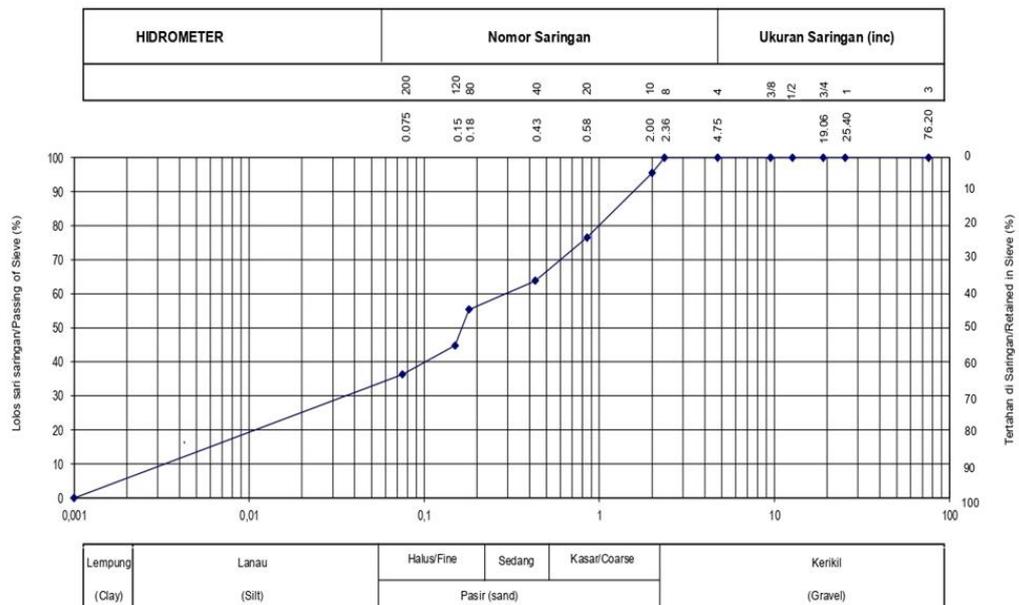
Dari data di atas kita peroleh nilai persen lolos saringan no. 200 sebesar 36,29 % dengan nilai batas cair (*liquid limit*) 50,49 % dan nilai indeks plastisitas sebesar 22,14 % berdasarkan klasifikasi tanah AASHTO, untuk nilai persen lolos ayakan no. 200 minimal 36 %, memiliki batas cair (*liquid limit*) minimal 41 % dan nilai indeks plastisitas minimal 11 % maka sampel tanah tersebut dapat diklasifikasikan dalam jenis tanah A-7-6.

Berdasarkan Klasifikasi tanah menurut USCS, dimana diperoleh nilai batas cair (*liquid limit*) sebesar 50,49 % dengan nilai indeks plastisitas 22,14 % maka data yang diperoleh dilakukan plot pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Dari hasil plot diperoleh sampe tanah termasuk dalam kelompok CL yaitu lempung organik dengan plastisitas rendah sampai sedang.

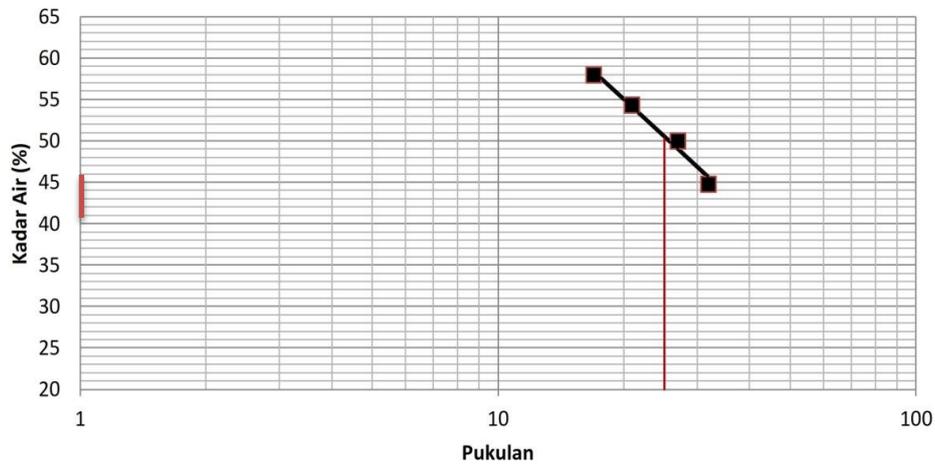


Gambar 4.1: Plot Grafik Klasifikasi Tanah sistem *Unified Soil Classification System (USCS)*

Menurut sistem klasifikasi AASHTO diperoleh data berupa persentase tanah lolos ayakan no. 200 sebesar 36,29 % dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik Hasil Analisa Saringan Tanah Asli



Gambar 4.3: Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*) Atterberg Limit

4.2.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah Dengan Penambahan Stabilisator

Penambahan stabilisator berupa abu sekam padi dan abu cangkang sawit sebanyak, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12% dan 13 % untuk abu cangkang sawit dan 2% untuk abu sekam padi. Tanah yang digunakan pada pengujian Atterberg sebesar 200 g. Hasil pengujian sifat fisik tanah yang telah dicampur dengan bahan abu sekam padi dan abu cangkang sawit ditunjukkan pada Tabel 4.2. Grafik hubungan antara nilai batas cair (LL) dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, hubungan antara nilai batas plastis (PL) dan hubungan antara nilai indeks plastisitas (IP) dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.5.

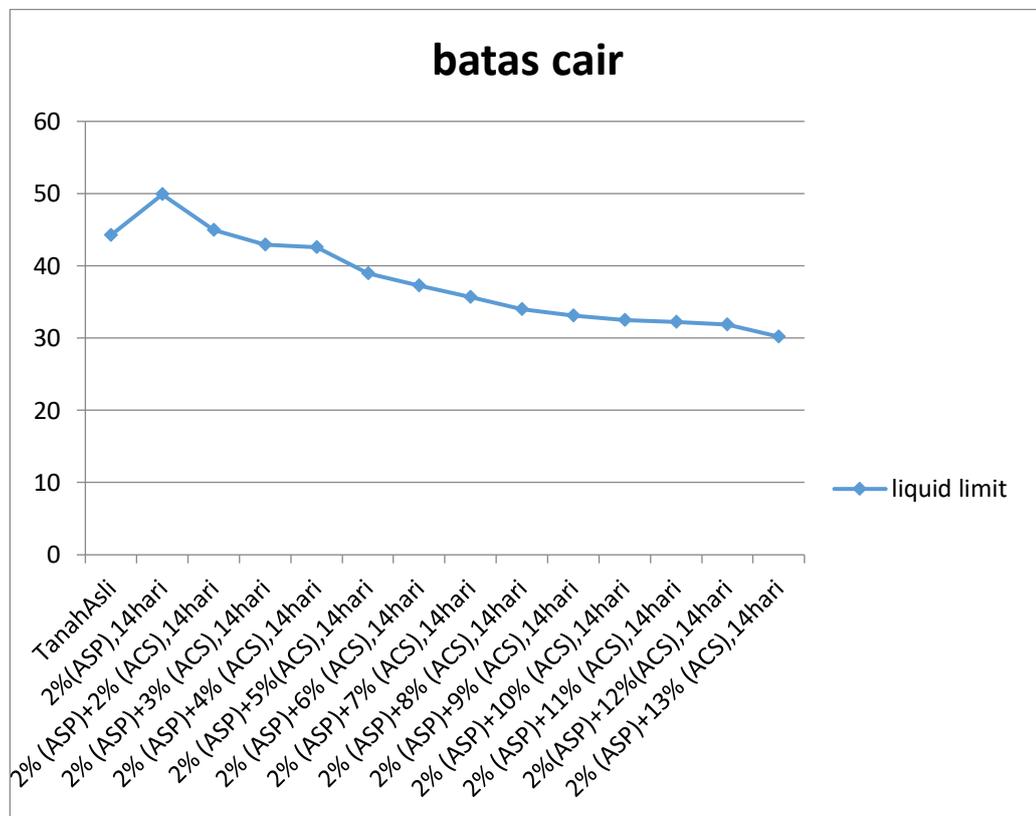
Tabel 4.2 : Data Hasil Uji Atterberg Limit

Sampel	Batas-Batas Atterberg		
	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Tanah Asli	44,23	14,38	29,85
2%(ASP),14hari	49,87	28,35	21,51
2% (ASP)+2% (ACS),14hari	44,95	15,64	29,31
2% (ASP)+3% (ACS),14hari	42,97	18,71	24,25

Tabel 4.2 : *Lanjutan*

2% (ASP)+4% (ACS),14hari	42,59	19,01	23,58
2% (ASP)+5%(ACS),14hari	38,95	16,67	22,28
2% (ASP)+6% (ACS),14hari	37,26	16,49	20,77
2% (ASP)+7% (ACS),14hari	35,68	15,91	19,77
2% (ASP)+8% (ACS),14hari	34,02	15,57	18,45
2% (ASP)+9% (ACS),14hari	33,12	15,45	17,67
2% (ASP)+10% (ACS),14hari	32,53	15,73	16,79
2% (ASP)+11% (ACS),14hari	32,19	16,56	15,63
2%(ASP)+12%(ACS),14hari	31,89	17,18	14,71
2% (ASP)+13% (ACS),14hari	30,20	15,61	14,59

4.2.2.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

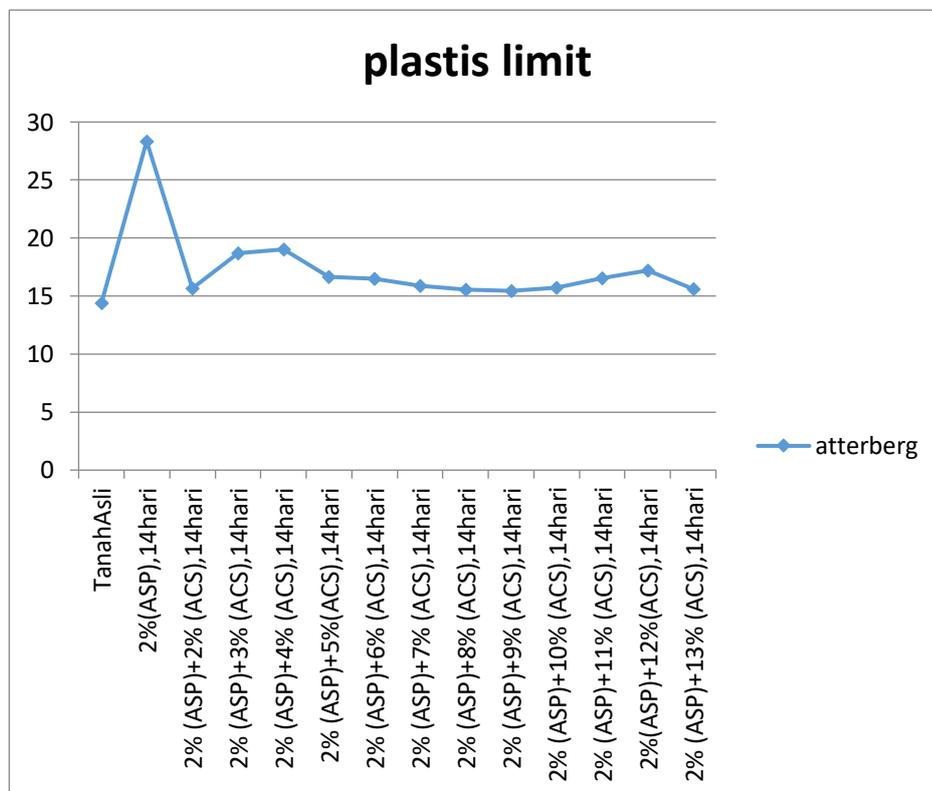


Gambar 4.4: Grafik Hubungan antara Nilai Batas Cair (LL) dengan Variasi Campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit

Hasil yang diperoleh pada pengujian batas cair terhadap tanah asli yaitu sebesar 44,23% dan nilai batas cair terendah dengan penambahan bahan stabilisator berupa abu sekam padi dan abu cangkang sawit yaitu pada variasi campuran 2% ASP + 13% ACS dengan lama pemeraman 14 hari sebesar 30,20 %.

Pada Gambar 4.4 tersebut, ditunjukkan bahwa batas cair akibat penambahan bahan stabilisasi abu sekam padi dan abu cangkang sawit mengalami penurunan. Semakin besar persentase penambahan abu sekam padi dan abu cangkang sawit, maka semakin kecil batas cairnya. Hal tersebut disebabkan rongga tanah yang berisi air sebelum pencampuran bahan stabilisator diisi dengan abu sekam padi dan abu cangkang sawit.

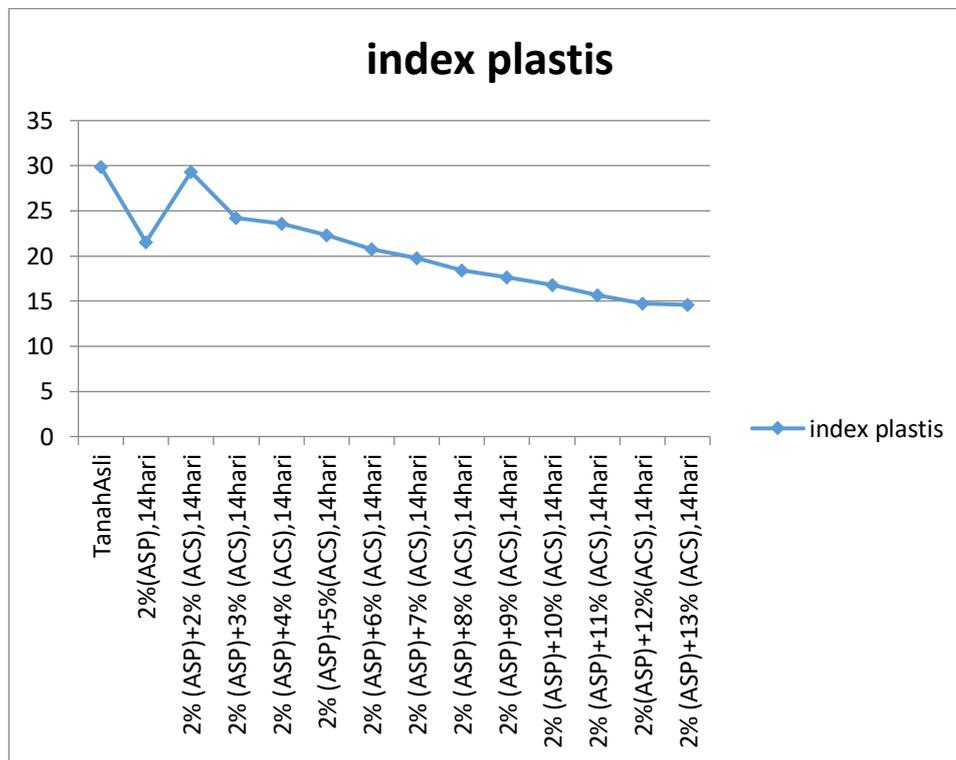
4.2.2.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)



Gambar 4.5: Grafik Hubungan antara Nilai Batas Plastis (PL) dengan Variasi Campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit

Gambar 4.5 menunjukkan terjadinya peningkatan nilai batas plastis akibat penambahan abu sekam padi dan abu cangkang sawit. Untuk tanah asli batas plastis sebesar 14,38 % dan terus meningkat sampai nilai batas plastis tertinggi berada pada variasi 2% ASP + 4% ACS sebesar 19,01%. Maka, semakin banyak persentase penambahan bahan stabilisator berupa abu sekam padi dan abu cangkang sawit maka semakin tinggi nilai batas plastisnya.

4.2.2.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)



Gambar 4.6: Grafik Hubungan antara Nilai Indeks Plastisitas (IP) dengan Variasi Campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit

Gambar 4.6 menunjukkan terjadinya penurunan nilai indeks plastisitas akibat penambahan abu sekam padi dan abu cangkang sawit bahwa

dengan penambahan bahan stabilisasi maka nilai indeks plastisitas akan menurun. Penurunan nilai indeks plastisitas tersebut dapat mengurangi potensi pengembangan dan penyusutan dari tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya proses hidrasi abu sekam padi yang ditambahkan ke tanah. Proses ini memperkuat ikatan antara partikel-partikel tanah, sehingga terbentuk butiran yang lebih keras dan stabil. Terisinya pori-pori tanah memperkecil terjadinya rembesan pada campuran tanah-abu sekam padi tersebut yang berdampak pada berkurangnya potensi kembang susut.

Ditambah dengan bahan stabilisasi berupa abu cangkang sawit. Silika dari cangkang sawit bercampur dengan air membentuk pasta yang mengikat partikel lempung dan menutupi pori-pori tanah. Rongga-rongga pori yang dikelilingi bahan sementasi yang lebih sulit ditembus air akan membuat campuran tanah-abu cangkang sawit lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat plastisitasnya. Dapat dilihat penurunan indeks plastisitas dari tanah asli yang awalnya sebesar 29,85% mengalami penurunan seiring bertambahnya pencampuran abu cangkang sawit hingga nilai indeks plastisitas terendah pada variasi campuran 2% ASP + 13% ACS pada pemeraman 14 hari yaitu sebesar 14,59%.

4.3 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

4.3.1 Pengujian Pematatan Tanah Asli (*Compaction*)

Dalam pengujian ini diperoleh hubungan antara kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Peneliti menggunakan metode pengujian dengan uji pematatan *Proctor Standart*. Dimana alat dan bahan yang digunakan di antaranya:

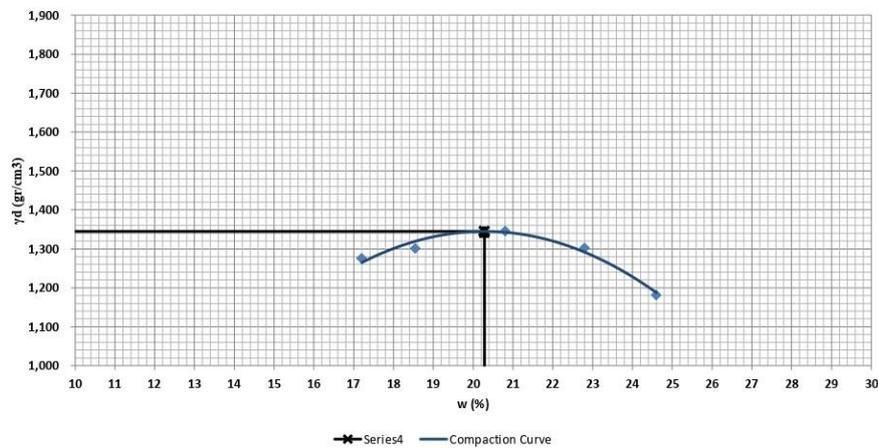
- *Mould* cetakan Ø 10,2 cm, diameter dalam Ø 10,16 cm.
- Berat penumbuk 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30 cm.
- Sampel tanah lolos saringan no 4.

Garis ZAV (*Zero Air Void*) pada kurva pematatan tanah adalah garis yang menunjukkan hubungan antara γ_d dan w tanah yang jenuh air atau tidak terdapat udara lagi.

Hasil uji pemadatan *Proctor Standart* ditampilkan pada Tabel 4.3 dan kurva pemadatan ditampilkan pada Gambar 4.7

Tabel 4.3: Data Uji Pemadatan Tanah Asli

No	HasilPengujian	Nilai
1	Kadar Air Optimum	20,28 %
2	Berat isi kering maksimum	1,345gr/cm ³



Gambar 4.7: Kurva Kepadatan Tanah Asli

4.3.2 Pengujian Pemadatan Tanah (*Compaction*) dengan Bahan Stabilisator

Hasil pengujian sifat mekanis tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisator berupa abu sekam padi dan abu cangkang sawit ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan hubungan antara nilai berat isi kering dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan hubungan kadar air optimum dengan variasi campuran ditunjukkan pada gambar Gambar 4.8.

Tabel 4.4 : Data Hasil Uji Pemadatan Tanah dengan Bahan Stabilisator

Sampel	γ_{dmaks} (gr/cm ³)	$W_{opt}(\%)$
Tanah Asli	1.34	20.28
2% ASP	1.30	20.04
2%(ASP)+2% (ACS),14 hari	1.35	19.93
2% (ASP)+3% (ACS),14 hari	1.39	18.78
2% (ASP)+4% (ACS),14hari	1.43	17.30
2% (ASP)+5% (ACS),14hari	1.49	16.95
2% (ASP)+6%(ACS),14hari	1.50	16.49
2% (ASP)+7% (ACS),14hari	1.52	16.05
2% (ASP)+8% (ACS),14hari	1.49	16.38
2% (ASP)+9% (ACS),14hari	1.43	17.19
2% (ASP)+10% (ACS),14hari	1.39	17.65
2% (ASP)+11% (ACS),14 hari	1.37	18.05
2% (ASP)+12% (ACS),14hari	1.35	18.69
2% (ASP)+13% (ACS),14 hari	1.31	18.81

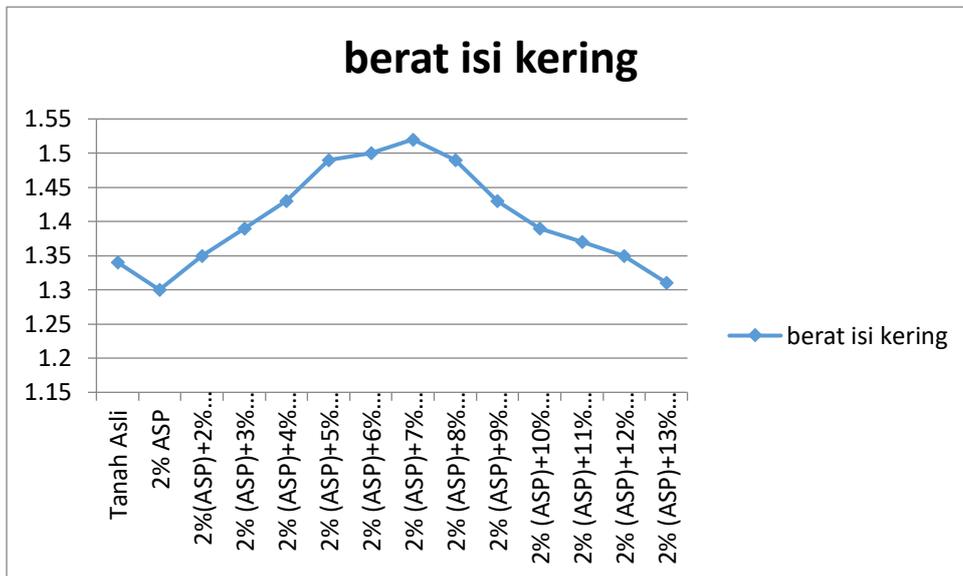
4.3.2.1 Berat Isi Kering Maksimum (γ_d maks)

Pada pengujian pemadatan tanah (*Compaction*) yang telah dilakukan pada tanah asli diperoleh nilai berat isi kering tanah asli sebesar 1,34 gr/cm³. Nilai berat isi kering terbesar pada persentase abu sekam padi sebesar 2% yaitu pada variasi campuran 2% ASP + 7% ACS yaitu sebesar 1,52 gr/cm³. Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai berat isi kering terus meningkat pada semua variasi campuran dengan penambahan abu sekam padi dan abu cangkang sawit.

Terjadinya peningkatan berat isi kering karena bahan stabilisator yang ditambahkan mengisi rongga pori pada tanah. Pada kondisi tanah asli, rongga pori tersebut diisi oleh air dan udara, dengan adanya bahan stabilisator yang mengisi rongga tanah maka menyebabkan persentase air yang dikandung tanah menjadi berkurang. Peningkatan jumlah partikel padat pada tanah berdampak pada peningkatan berat isi keringnya dibandingkan dengan kondisi tanah asli.

Pada penelitian ini, nilai berat isi kering tanah semakin bertambah seiring dengan besarnya persentase campuran bahan stabilisator. Hal ini terjadi karena,

persentase campuran bahan stabilisator masih dalam kondisi penambahan yang efektif. Serta disebabkan karena semakin banyaknya persentase bahan stabilisator dan berat tanah aslinya tetap, mengakibatkan berkurangnya daya ikat dari campuran.



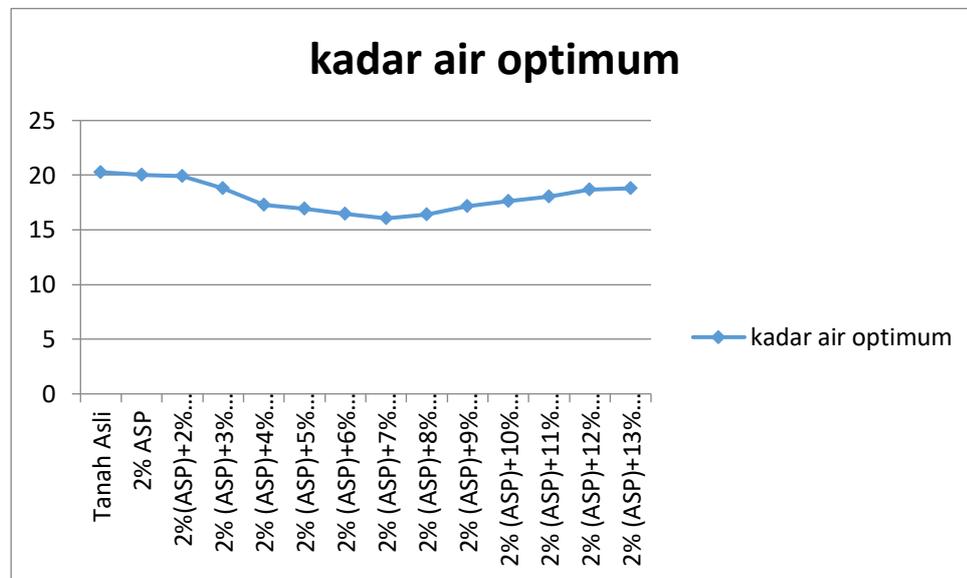
Gambar 4.8 : Grafik Hubungan antara Berat Isi Kering Maksimum (γ_d maks) Tanah dengan Variasi Campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit

4.3.2.2 Kadar Air Optimum (w_{opt})

Hasil yang diperoleh dari penelitian kadar air optimum pada tanah asli yaitu sebesar 20,28% dan selanjutnya akan mengalami penurunan untuk setiap penambahan persentase variasi campuran bahan stabilisator. Penurunan kadar air optimum ini disebabkan karena bahan stabilisator mendesak air keluar dari pori tanah dan rongga pada tanah yang berisi air akan digantikan oleh bahan stabilisasi sehingga air pun tidak bisa masuk kembali kedalam mikropori tanah, akibatnya persentase air yang dikandung tanah menjadi berkurang.

Penyebab kenaikan kadar air optimum ini karena bahan stabilisator abu sekam padi mengakibatkan tanah menjadi panas sehingga campuran membutuhkan kadar air yang lebih banyak untuk saling berikatan. Serta

disebabkan karena semakin banyaknya persentase bahan stabilisator dan berat tanah aslinya tetap, mengakibatkan berkurangnya daya ikat dari campuran.



Gambar 4.9: Grafik Hubungan antara Kadar Air Optimum Tanah (W_{opt}) dengan Variasi Campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit

4.3.3 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan torak penetrasi yang ada di alat CBR ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya.

Pengaruh dari pencampuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit sebagai bahan stabilisator pada tanah lempung dapat dilihat dari hasil pengujian CBR dengan kondisi tidak terendam (*unsoaked*), dengan tiap variasi tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi kapur dan abu tandan sawit dengan waktu pemeraman selama 14 hari.

Pengujian CBR yang dilakukan dalam kondisi tidak terendam (*unsoaked*) karena kondisi ini relatif lebih cepat. Pada umumnya nilai CBR tidak terendam (*unsoaked*) lebih tinggi dari CBR terendam (*soaked*), namun *soaked* merupakan kondisi yang sering dialami di lapangan sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR *soaked* yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan. CBR rendaman (*soaked*) digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan maksimum.

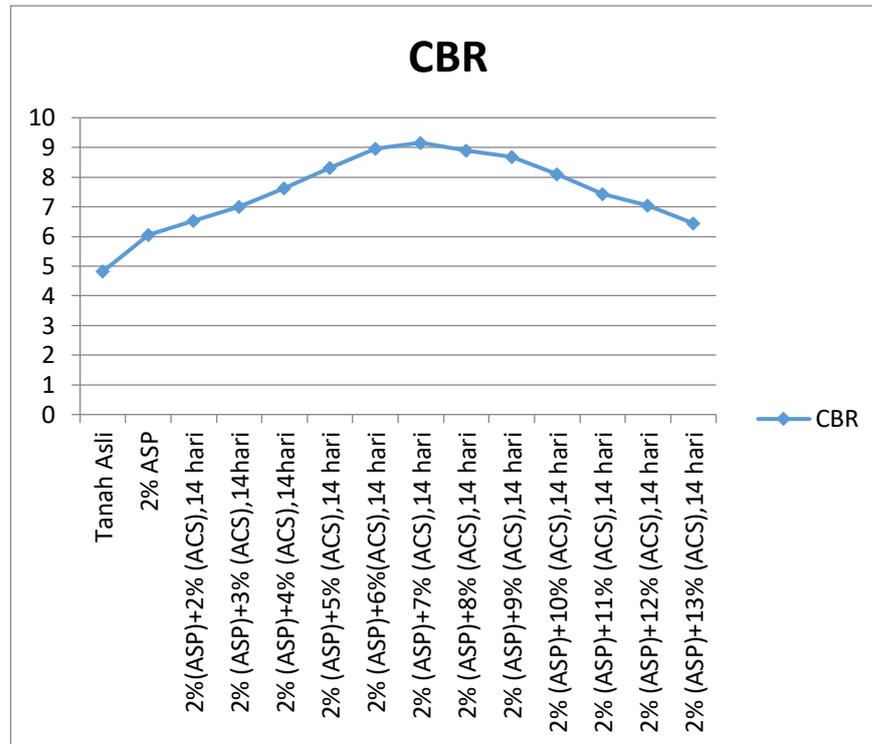
Ikatan antar butir merupakan kemampuan saling mengunci antar butiran, dan adanya rekatan yang merekatkan permukaan butiran tersebut, semakin kuat ikatan antar butir akan menghasilkan nilai CBR semakin tinggi dan begitu pula sebaliknya. Uji CBR yang dilakukan pada penelitian ini dimaksudkan untuk melihat apakah penambahan persentase *additive* akan memberikan pengaruh terhadap nilai CBR.

Tabel 4.5: Tabel Penguji CBR untuk tanah asli dengan Berbagai Variasi Penambahan abu sekam padi dan abu cangkang sawit

Sampel	γ_{dmaks} (gr/cm ³)	W_{opt} (%)	NILAI CBR (%)
Tanah Asli	1,34	20,28	4,82
2% ASP	1,30	20,04	6,05
2% (ASP)+2% (ACS),14 hari	1,35	19,93	6,52
2% (ASP)+3% (ACS),14 hari	1,39	18,78	6,99
2% (ASP)+4% (ACS),14hari	1,43	17,30	7,62
2% (ASP)+5% (ACS),14hari	1,49	16,95	8,32
2% (ASP)+6%(ACS),14 hari	1,50	16,49	8,96
2% (ASP)+7% (ACS),14 hari	1,52	16,05	9,16
2% (ASP)+8% (ACS),14 hari	1,49	16,38	8,89
2% (ASP)+9% (ACS),14 hari	1,43	17,19	8,67
2% (ASP)+10% (ACS),14 hari	1,39	17,65	8,10

Tabel 4.5: Lanjutan

2% (ASP)+11% (ACS),14 hari	1,37	18,05	7,43
2% (ASP)+12% (ACS),14 hari	1,35	18,69	7,05
2% (ASP)+13% (ACS),14 hari	1,31	18,81	6,44



Gambar 4.10: Grafik Hubungan Nilai CBR dengan Variasi Persentase Penambahan Campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit

Pada Gambar 4.10 memperlihatkan pengaruh terhadap variasi penambahan campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit terhadap nilai CBR. Pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10 diatas, didapat nilai CBR terbesar pada variasi campuran 2% ASP + 7% ACS sebesar 9,16%. Nilai CBR terus bertambah seiring penambahan bahan stabilisator sampai penambahan persentase abu sekam padi dan abu cangkang sawit.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Berdasarkan sifat fisiknya, tanah lempung yang berasal dari daerah jalan Suka Jadi Sergai Bedagai, sedikit berkerikil dan mengandung sedikit pasir.
- 2) Berdasarkan klasifikasi USCS, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis CL (Clay-Low plasticity) dan berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis A-7-6.
- 3) Dari hasil uji nilai CBR Laboratorium yang dilakukan pada tanah asli diperoleh nilai CBR sebesar 4,82%. Dari hasil penelitian yang dilakukan nilai CBR yang paling besar yakni pada variasi penambahan 2% ASP + 7% ACS dengan nilai CBR sebesar 9,16%.
- 4) Hasil uji proctor standart pada tanah asli menghasilkan nilai kadar air optimum tanah adalah sebesar 20,73% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,28 gr/cm³, sedangkan dari variasi campuran abu sekam padi dan abu cangkang sawit diperoleh nilai berat isi kering maksimum tertinggi pada variasi campuran 2% ASP + 7% ACS yaitu sebesar 1,52 gr/cm³ dengan kadar air optimum sebesar 16,05%. Dari uji atterberg pada tanah asli diperoleh nilai Liquid Limit sebesar 44,23% dan indeks plastisitas sebesar 29,85%, sedangkan dari komposisi campuran tanah dengan abu sekam padi dan abu cangkang sawit diperoleh nilai terbesar pada variasi komposisi 2% ASP + 3% ACS dengan pemeraman 14 hari, yakni dengan Liquid Limit sebesar 44,95% dan Indeks Plastisitas sebesar 29,31%. Dari uji atterberg juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase kadar abu cangkang sawit, maka sifat plastisitas tanah campuran akan mengalami penurunan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi yang berbeda
2. Perlu dilakukan penelitian dengan masa pemeraman yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- AN, Charles, dkk. 2015. *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (FOFA)*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Bowles, J.E., 1989, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*, Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja, M. 1998. *Mekanika Tanah 1*, Jakarta : Erlangga.
- Hardiyatmo, H C. 2002. *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H C. 2013. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ibrahim. 2013. *Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Penambahan Limbah Sawit Terhadap Nilai California Bearing Ratio*. Pilar : Jurnal Teknik sipil Volume 9 no. 22
- Panjaitan, Surta Ria. 2012. *Pengaruh Waktu Pemeraman Terhadap Nilai Kohesi Tanah Yang Distabilisasi Dengan Abu Cangkang Sawit*. Medan: Insitut Teknologi Medan.
- Refi, Ahmad, dkk. 2015. *Pengaruh Variasi Abu Sawit Terhadap Kembang Susut Tanah Lempung*. Padang: Insitut Teknologi Padang.
- Yudhistira, Hasan. 2014. *Analisa Pengaruh Substitusi Abu Tandan Sawit dan gypsum Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lempung Lunak*. Palembang : Universitas Sriwijaya.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Doly Rosady Lubis
TTL : Padangsidimpuan, 20 Mei 1995
Hobby : Membaca, mendengar musik
Telp/ WA : 082165668813
E-mail : dolyrosady@gmail.com
Alamat : Jln Elang Komplek KPB B-15 Sei Sikambang B,
Medan Sunggal
Jenis Kelamin : Pria
Agama : Islam
Tinggi Badan : 165 cm
Berat Badan : 45 kg

PENDIDIKAN

No	Nama Sekolah/ PT	Jurusan	Tahun Lulus	Ket Tempat
1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Teknik Sipil	2021	Medan
2	SMAN 6 Padangsidimpuan	IPA	2013	Padangsidimpuan
3	SMPN 4 Padangsidimpuan	-	2010	Padangsidimpuan
4	SDN 200117 Padangsidimpuan	-	2007	Padangsidimpuan

Demikian daftar riwayat hidup ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 20 November 2021
Hormat Saya,

Doly Rosady Lubis

LAMPIRAN

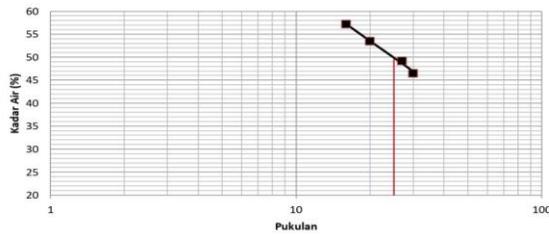




**PEMERIKSAAN KONSISTENSI ATTERBERG
(ATTERBERG LIMIT TEST)**

Campuran : 2% ASP
Sample : TANAH ASLI

Batas Cair (LL)		16	Kali	20	Kali	27	Kali	30	Kali	Batas	Plastis
No krus											
Berat krus + contoh basah	gr	43,50		39,24		39,81		40,11		43,47	46,69
Berat krus + contoh kering	gr	31,12		29,34		29,81		30,97		36,01	38,95
Berat air	gr	12,38		9,90		10,00		9,14		7,46	7,74
Berat krus	gr	9,46		10,81		9,47		11,29		9,64	11,71
Berat contoh kering	gr	21,66		18,53		20,34		19,68		26,37	27,24
Kadar air	%	57,16		53,43		49,16		46,44		28,29	28,41

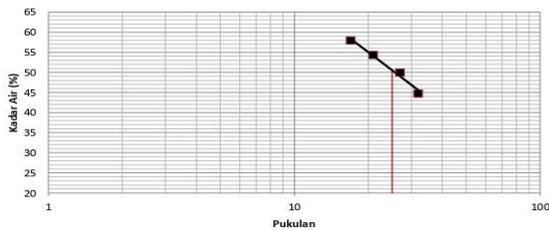


LL	PL	PI	Catatan
49,87	28,35	21,51	contoh dalam keadaan : - Asli - Disaring/tidak

**PEMERIKSAAN KONSISTENSI ATTERBERG
(ATTERBERG LIMIT TEST)**

Sample : TANAH ASLI

Batas Cair (LL)		17	Kali	21	Kali	27	Kali	32	Kali	Batas	Plastis
No krus											
Berat krus + contoh basah	gr	43,50		39,24		39,81		39,81		43,47	46,69
Berat krus + contoh kering	gr	31,02		29,24		29,71		31,00		36,01	38,95
Berat air	gr	12,48		10,00		10,10		8,81		7,46	7,74
Berat krus	gr	9,46		10,81		9,47		11,29		9,64	11,71
Berat contoh kering	gr	21,56		18,43		20,24		19,71		26,37	27,24
Kadar air	%	57,88		54,26		49,90		44,70		28,29	28,41



LL	PL	PI	Catatan
50,49	28,35	22,14	contoh dalam keadaan : - Asli - Disaring/tidak

Campuran : -
 Sampel : TANAH ASLI

Tanggal				
Pukul				
Pembacaan				
Pengembangan, %				

10 x Tumbukan

Waktu (min)	Penurunan (in)	Pembacaan arloji		Beban (LB)	
		atas	bawah	atas	bawah
0	0				
1/4	0,0125	0,5		15,250	
1/2	0,025	1		30,500	
1	0,05	2		61,000	
1.5	0,075	3		91,500	
2	0,1	3,5		106,750	
3	0,15	4		122,000	
4	0,2	5		152,500	
6	0,3	6		183,000	
8	0,4	8		244,000	
10	0,5	11		335,500	

KADAR AIR

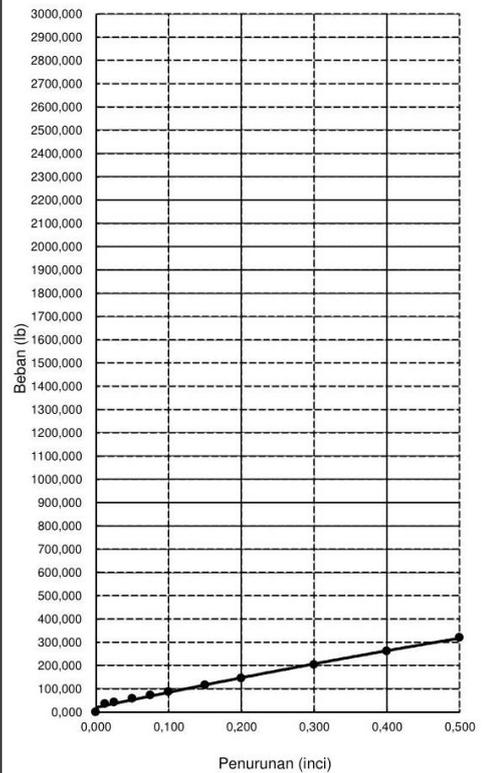
Tanah basah + cawan	43,50
Tanah kering + cawan	37,13
Berat cawan	8,55
Berat air	6,37
Tanah kering	28,58
Kadar air (%)	22,29

CBR Laboratorium	Harga CBR	
	0.1"	0.2"
	2,90 %	3,23 %

Berat Isi Kering

Berat tanah & mould	10694	gr
Berat mould	7570	gr
Berat tanah basah	3124	gr
Isi mould	2123	cm ³
Berat isi basah	1,472	gr/cm ³
Berat isi kering	1,203	gr/cm ³

Grafik Beban vs Penurunan



KALIBRASI : 30,5 lbs

Campuran : -
 Sampel : TANAH ASLI

Tanggal				
Pukul				
Pembacaan				
Pengembangan,%				

30 x Tumbukan

Waktu (min)	Penurunan (in)	Pembacaan arloji		Beban (LB)	
		atas	bawah	atas	bawah
0	0				
1/4	0,0125	1		30,500	
1/2	0,025	2		61,000	
1	0,05	2,5		76,250	
1.5	0,075	3		91,500	
2	0,1	4		122,000	
3	0,15	5		152,500	
4	0,2	7		213,500	
6	0,3	9		274,500	
8	0,4	11		335,500	
10	0,5	14		427,000	

KADAR AIR

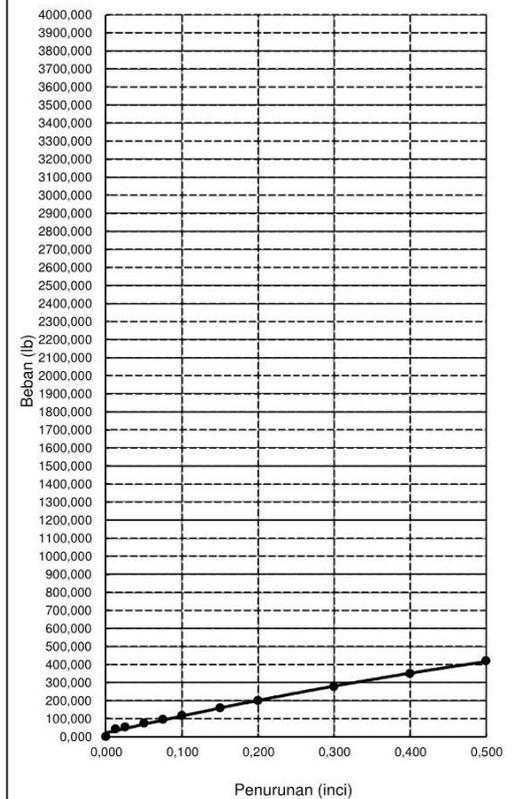
Tanah basah + cawan	42,38
Tanah kering + cawan	36,28
Berat cawan	8,59
Berat air	6,10
Tanah kering	27,69
Kadar air (%)	22,03

CBR Laboratorium	Harga CBR	
	0.1"	0.2"
	3,90 %	4,42 %

Berat Isi Kering

Berat tanah & mould	10766	gr
Berat mould	7489	gr
Berat tanah basah	3277	gr
Isi mould	2123	cm ³
Berat isi basah	1,544	gr/cm ³
Berat isi kering	1,265	gr/cm ³

Grafik Beban vs Penurunan



KALIBRASI : 30,5 lbs

Campuran : -
 Sampel : TANAH ASLI

Pengembangan

Tanggal				
Pukul				
Pembacaan				
Pengembangan, %				

65 x Tumbukan

Waktu (min)	Penurunan (in)	Pembacaan arloji		Beban (LB)	
		atas	bawah	atas	bawah
0	0				
1/4	0,0125	2		61,000	
1/2	0,025	3		91,500	
1	0,05	4		122,000	
1.5	0,075	6		183,000	
2	0,1	7		213,500	
3	0,15	9		274,500	
4	0,2	11		335,500	
6	0,3	14		427,000	
8	0,4	16		488,000	
10	0,5	18		549,000	

KADAR AIR

Tanah basah + cawan	41,98
Tanah kering + cawan	35,98
Berat cawan	8,59
Berat air	6,00
Tanah kering	27,39
Kadar air (%)	21,91

Harga CBR

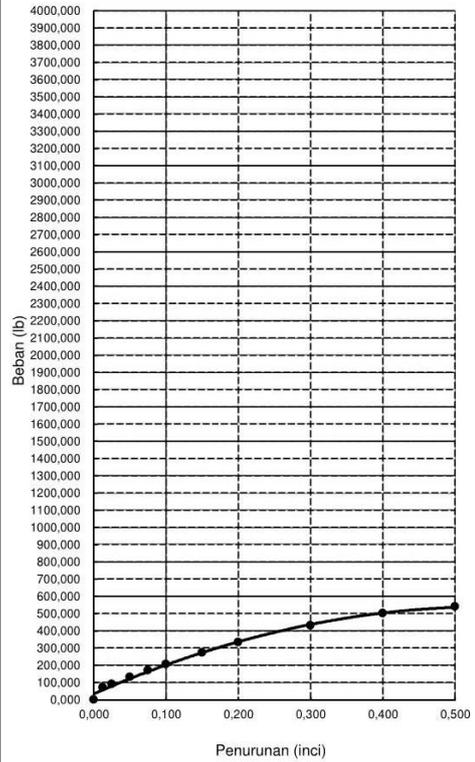
	0.1"	0.2"
CBR Laboratorium	6,85 %	7,40 %

KALIBRASI : 30,5 lbs

Berat Isi Kering

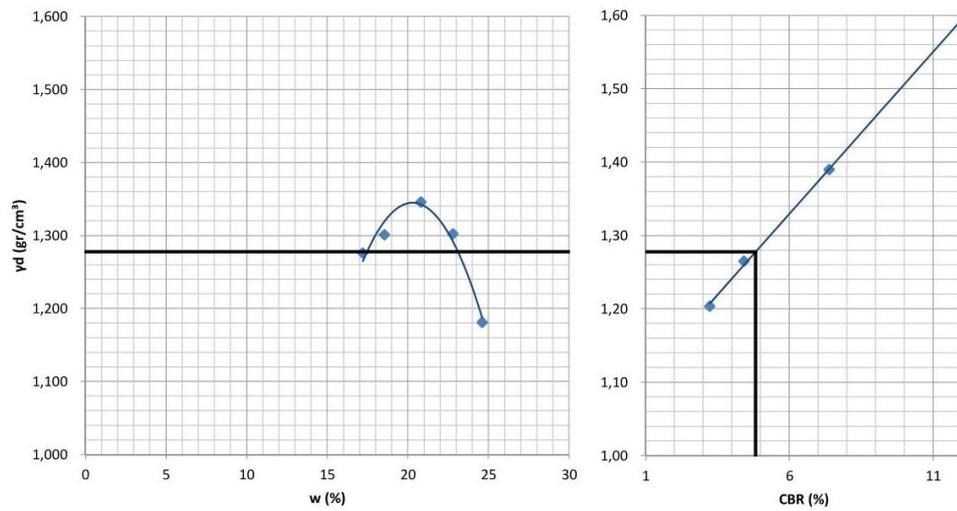
Berat tanah & mould	11417	gr
Berat mould	7821	gr
Berat tanah basah	3596	gr
Isi mould	2123	cm ³
Berat isi basah	1,694	gr/cm ³
Berat isi kering	1,390	gr/cm ³

Grafik Beban vs Penurunan



Campuran : -
Sampel : TANAH ASLI

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA COMPACTION DAN CBR



Cara Pemdatan = MODIFIED
Kadar air optimum = 20,28 %
 γ_d max = 1,345 gr/cm^3
95 % γ_d max = 1,278 gr/cm^3
CBR = 4,82 %

PERCOBAAN PEMADATAN (COMPACTION TEST)

Campuran : 2% Abu Sekam Padi + 7% Abu Cangkang Sawit
Sampel : Tanah Asli

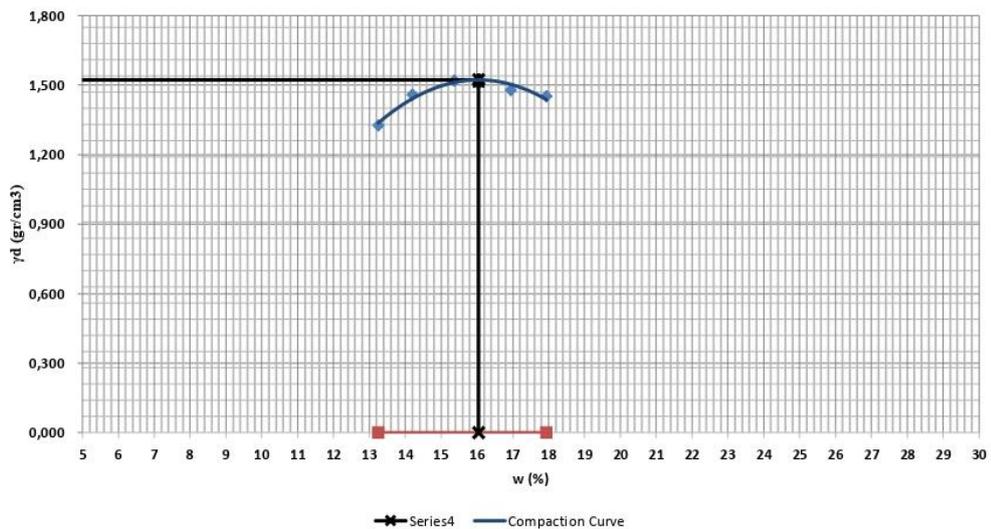
Berat tanah basah (gr)	2000	2000	2000	2000	2000
Kadar air mula-mula (%)	-	-	-	-	-
Penambahan air (%)	2	4	6	8	10
Penambahan air (cc)	40	80	120	160	200

Berat isi

Berat tanah + cetakan (gr)	5884	6039	6119	6097	6082
Berat cetakan (gr)	4476	4476	4476	4476	4476
Berat tanah basah (gr)	1408	1563	1643	1621	1606
Isi cetakan t= 11,60 d= 10,13	938	938	938	938	938
Berat isi basah (γ_{wb})	1,501	1,666	1,752	1,728	1,712
Berat isi kering ($\gamma_d = \gamma_{wb} / (100+w) * 100\%$) (gr/cc)	1,325	1,459	1,518	1,478	1,452

Kadar air

Tanah basah + cawan (gr)	22,87	23,10	22,76	20,42	24,56
Tanah kering + cawan (gr)	21,19	21,56	20,84	18,71	22,42
Berat air (gr)	1,68	1,54	1,92	1,71	2,14
Berat cawan (gr)	8,51	10,72	8,35	8,62	10,49
Berat tanah kering (gr)	12,68	10,84	12,49	10,09	11,93
Kadar air (%)	13,25	14,21	15,37	16,95	17,94



$$ZAV = \frac{(G_s \cdot \gamma_w)}{(1 + G_s \cdot w)} \quad \begin{array}{l} W = 13,25 \% \longrightarrow g = 0,000 \text{ gr/cm}^3 \\ W = 17,94 \% \longrightarrow g = 0,000 \text{ gr/cm}^3 \end{array}$$

Berat Isi Kering Maksimum = 1,523 gr/cm³
Kadar Air Optimum = 16,05 %

**PERCOBAAN CBR LABORATORIUM
(CBR LABORATORY UNSOAKED TEST)**

Campuran : 2% Abu Sekam Padi + 7% Abu Cangkang Sawit
Sampel : Tanah Asli

10 x Tumbukan

Waktu (min)	Penurunan (in)	Pembacaan arloji		Beban (LB)	
		atas	bawah	atas	bawah
0	0				
1/4	0,0125	1		30,500	
1/2	0,025	2		61,000	
1	0,05	4		122,000	
1.5	0,075	5		152,500	
2	0,1	7		213,500	
3	0,15	8		244,000	
4	0,2	10		305,000	
6	0,3	14		427,000	
8	0,4	17		518,500	
10	0,5	22		671,000	

KADAR AIR

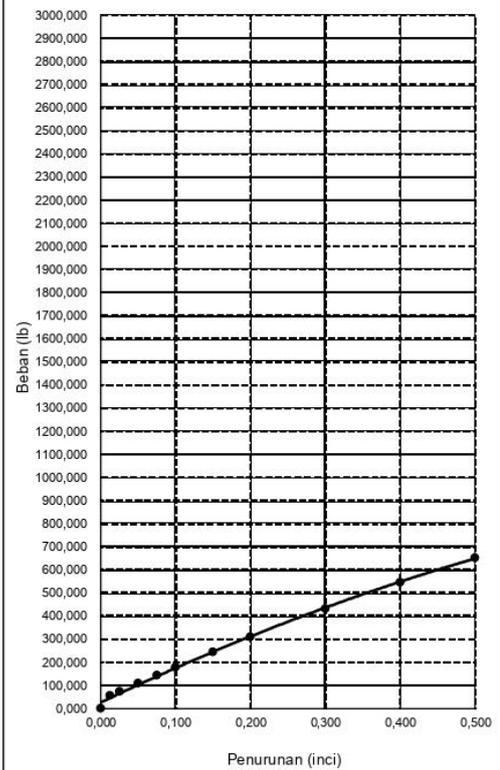
Tanah basah + cawan	40,12
Tanah kering + cawan	35,87
Berat cawan	10,59
Berat air	4,25
Tanah kering	25,28
Kadar air (%)	16,81

CBR Laboratoriur	Harga CBR	
	0,1"	0,2"
	5,93 %	6,87 %

Berat Isi Kering

Berat tanah & mould	10967	gr
Berat mould	7740	gr
Berat tanah basah	3227	gr
Isi mould	2123	cm ³
Berat isi basah	1,520	gr/cm ³
Berat isi kering	1,301	gr/cm ³

Grafik Beban vs Penurunan



KALIBRASI : 30,5 lbs

**PERCOBAAN CBR LABORATORIUM
(CBR LABORATORY UNSOAKED TEST)**

Campuran : 2% Abu Sekam Padi + 7% Abu Cangkang Sawit
Sampel : Tanah Asli

Berat Isi Kering

Berat tanah & mould	11184	gr
Berat mould	7643	gr
Berat tanah basah	3541	gr
Isi mould	2123	cm ³
Berat isi basah	1,668	gr/cm ³
Berat isi kering	1,433	gr/cm ³

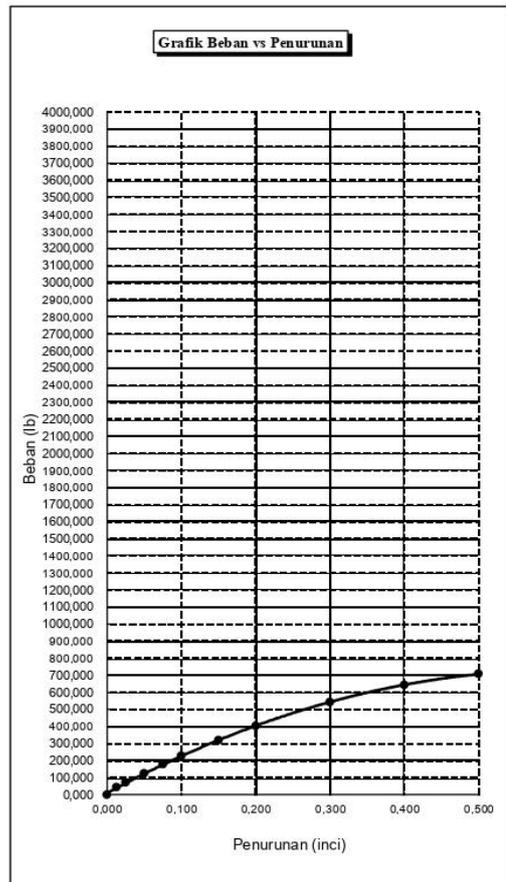
30 x Tumbukan

Waktu (min)	Penurunan (in)	Pembacaan arloji		Beban (LB)	
		atas	bawah	atas	bawah
0	0				
1/4	0,0125	1		30,500	
1/2	0,025	2		61,000	
1	0,05	4		122,000	
1.5	0,075	6		183,000	
2	0,1	8		244,000	
3	0,15	11		335,500	
4	0,2	14		427,000	
6	0,3	17		518,500	
8	0,4	20		610,000	
10	0,5	24		732,000	

KADAR AIR

Tanah basah + cawan	46,87
Tanah kering + cawan	41,51
Berat cawan	8,89
Berat air	5,36
Tanah kering	32,62
Kadar air (%)	16,43

CBR Laboratorium	Harga CBR	
	0.1"	0.2"
	7,59 %	8,96 %



KALIBRASI : 30,5 lbs

**PERCOBAAN CBR LABORATORIUM
(CBR LABORATORY UNSOAKED TEST)**

Campuran : 2% Abu Sekam Padi + 7% Abu Cangkang Sawit
Sampel : Tanah Asli

65 x Tumbukan

Waktu (min)	Penurunan (in)	Pembacaan arloji		Beban (LB)	
		atas	bawah	atas	bawah
0	0				
1/4	0,0125	1		30,500	
1/2	0,025	3		91,500	
1	0,05	4		122,000	
1.5	0,075	8		244,000	
2	0,1	10		305,000	
3	0,15	13		396,500	
4	0,2	15		457,500	
6	0,3	19		579,500	
8	0,4	23		701,500	
10	0,5	26		793,000	

KADAR AIR

Tanah basah + cawan	44,21
Tanah kering + cawan	39,25
Berat cawan	8,49
Berat air	4,96
Tanah kering	30,76
Kadar air (%)	16,12

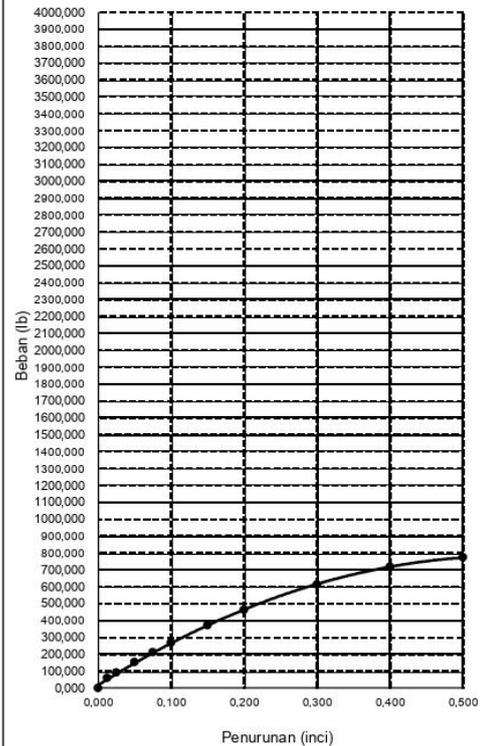
Harga CBR

	0.1"	0.2"
CBR Laboratorium	8,93 %	10,30 %

Berat Isi Kering

Berat tanah & mould	11052	gr
Berat mould	7307	gr
Berat tanah basah	3745	gr
Isi mould	2123	cm ³
Berat isi basah	1,764	gr/cm ³
Berat isi kering	1,519	gr/cm ³

Grafik Beban vs Penurunan

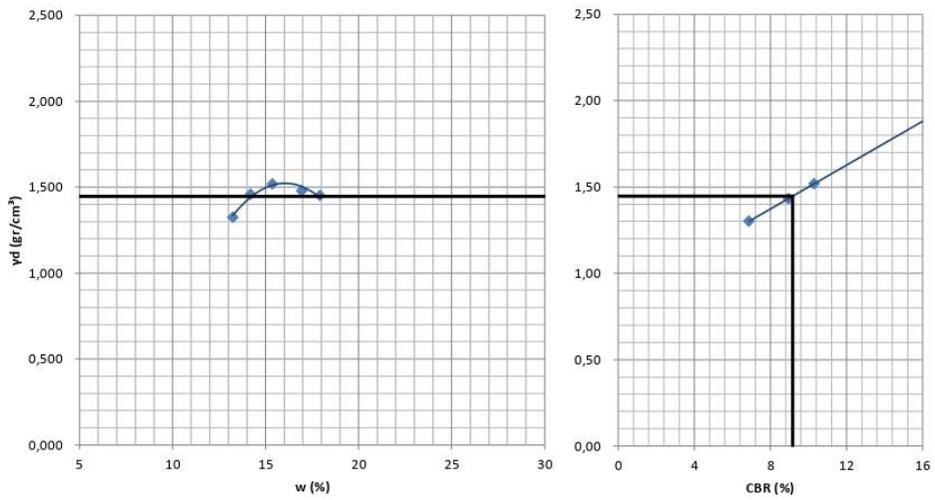


KALIBRASI : 30,5 lbs

**PERCOBAAN CBR LABORATORIUM
(CBR LABORATORY SOAKED TEST)**

Campuran : 2% Abu Sekam Padi + 7% Abu Cangkang Sawit
Sampel : Tanah Asli

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA COMPACTION DAN CBR



Cara Pemdatan = MODIFIED
Kadar air optimum = 16,05 %
 γ_d max = 1,523 gr/cm^3
95 % γ_d max = 1,447 gr/cm^3
CBR = 9,16 %

ANALISA SARINGAN (Sieve Analysis Test)

Sample : TANAH ASLI

A. Fraksi Kasar Berat Tanah Kering = 200,00 gr

Saringan Nomor	Berat diatas (gr)	Jlh Brt diatas (gr)	Persen diatas (%)	Persen melalui (%)	Persen seluruh Contoh melalui (%)
2 inch	0	0,00	0	100,00	100,00
1 1/2 inch	0	0,00	0	100,00	100,00
1 inch	0	0,00	0,00	100,00	100,00
3/4 inch	0	0,00	0,00	100,00	100,00

B. Fraksi Sedang Berat Tanah Kering = 200,00 gr

Saringan Nomor	Berat diatas (gr)	Jlh Brt diatas (gr)	Persen diatas (%)	Persen melalui (%)	Persen seluruh Contoh melalui (%)
3/8 inch	0,00	0	0,00	100,00	100,00
No. 4	0,00	0	0,00	100,00	100,00
No. 8	0,00	0	0,00	100,00	100,00

C. Fraksi Halus Berat Tanah Kering = 200,00 gr

Saringan Nomor	Berat diatas (gr)	Jlh Brt diatas (gr)	Persen diatas (%)	Persen melalui (%)	Persen seluruh Contoh melalui (%)
No. 10	8,98	8,98	4,49	95,51	95,51
No. 20	37,98	46,96	23,48	76,52	76,52
No. 40	25,44	72,40	36,20	63,80	63,80
No. 80	16,87	89,27	44,64	55,37	55,37
No. 100	21,18	110,45	55,23	44,78	44,78
No. 200	16,98	127,43	63,72	36,29	36,29

**BERAT JENIS
(Specific Gravity)**

Sample : TANAH ASLI

No. Percobaan	I	II
No. Piknometer	1	2
a Berat Piknometer (W1)	30,21	31,42
b Berat Piknometer + Tanah (W2)	53,20	53,84
c Berat Tanah (W2-W1)	22,99	22,42
d Berat Piknometer + Tanah + Air (W3)	95,64	96,49
e Berat Piknometer + Air Sebelum Koreksi (W4)	81,36	82,48
f Temperatur (ToC)	27,00	27,00
g Faktor Koreksi	0,9995	0,9995
h Berat Piknometer + Air Setelah Koreksi (W4')	81,32	82,44
i Isi Tanah (W2 - W1 + W4 - W3)	8,67	8,41
Berat Jenis	2,6519	2,6659
Berat Jenis Rata-rata	2,6589	