

TUGAS AKHIR

**PENGARUH CAMPURAN SEMEN PORTLAND 1 DAN ABU VULKANIK
SEBAGAI BAHAN STABILISASI PADA TANAH LEMPUNG
DENGAN UJI UCT**

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

Disusun Oleh :

RIZKY HARDIANSYAH HARAHAH

1407210269



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 : Rizky Hardiansyah Harahap
NPM : 1407210269
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Campuran Semen Portland 1 Dan Abu Vulkanik
Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Dengan
Uji UCT
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, November 2021

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 : Rizky Hardiansyah Harahap
NPM : 1407210269
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Campuran Semen Portland 1 Dan Abu Vulkanik
Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Dengan
Uji UCT
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, November 2021

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



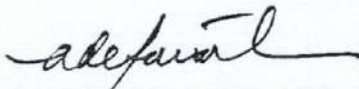
Dr. Fahrizal Zulkarnain

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 : Rizky Hardiansyah Harahap
Tempat/tanggal lahir : Rantau Prapat, 07 Desember 1995
NPM : 1407210269
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pengaruh Campuran Semen Portland 1 Dan Abu Vulkanik Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Dengan Uji UCT”

Bukan merupakan plagiarism, 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 Stusi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, November 2021

Saya yang menyatakan,



Rizky Hardiansyah Harahap

ABSTRAK

Tanah lempung yang mempunyai daya dukung dan kuat geser yang rendah perlu distabilisasi agar memenuhi syarat teknis untuk dijadikan sebagai tanah dasar. Salah satu stabilisasi tanah yang biasa dilakukan yaitu dengan menambahkan bahan kimia pada tanah. Bahan kimia yang biasa digunakan berupa semen, *fly ash*, kapur dan lainnya. Dalam penelitian ini digunakan penambahan semen dan *Abu Vulkanik*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai Index Propertis akibat penambahan 2% PC dan variasi 2%-24% kadar *Abu Vulkanik* pada tanah lempung, kemudian untuk mengetahui nilai Kuat Tekan maksimum dengan pengujian *Unconfined Compression Test*.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa sampel tanah asli memiliki Kadar Air 15,91%, Berat Spesifik 2,65, Batas Cair 50,49% dan Indeks Plastisitas 22,14%. Kemudian nilai Kuat Tekan 1,34kg/cm² dan Berdasarkan klasifikasi USCS, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis (CL) sedangkan berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis A-7-6 (17).

Setelah tanah distabilisasi dengan berbagai variasi diperoleh kesimpulan bahwa stabilisasi paling optimum terjadi pada variasi campuran 2% PC + 24% AGV yaitu dengan nilai Kuat Tekan Bebas sebesar 1,92 kg/cm². Tanah yang telah dicampur material stabilisator yang paling efektif yaitu 2% semen dan 24% AGV termasuk dalam jenis Clay-Low Plasticity (CL) berdasarkan klasifikasiUSCS dan tergolong A-6 (9) berdasarkan klasifikasi AASHTO.

Kata Kunci: lempung, semen, flyash, stabilisasi tanah, kuat tekan bebas..

ABSTRACT

Clay soil that has low bearing capacity and shear strength needs to be stabilized in order to meet the technical requirements to be used as subgrade. One of the soil stabilization that is usually done is by adding chemicals to the soil. Chemicals commonly used are cement, fly ash, lime and others. In this study, the addition of cement and volcanic ash was used.

The purpose of this study was to determine the Property Index value due to the addition of 2% PC and a variation of 2% -24% Volcanic Ash content in clay soil, then to determine the value of Maximum Compressive Strength by testing the Unconfined Compression Test.

From the results of the study, it was found that the original soil sample had a moisture content of 15.91%, a specific weight of 2.65, a liquid limit of 50.49% and a plasticity index of 22.14%. Then the compressive strength value is 1.34kg/cm² and .Based on the USCS classification, the soil sample is included in the type (CL) while based on the AASHTO classification, the soil sample is included in the type A-7-6 (17).

After stabilizing the soil with various variations, it can be concluded that the most optimal stabilization occurred in a mixture of 2% PC + 24% AGV with a Free Compressive Strength value of 1.92 kg/cm². The soil that has been mixed with the most effective stabilizer, 2% cement and 24% AGV, is classified as Clay-Low Plasticity (CL) based on the USCS classification and classified as A-6 (9) based on the AASHTO classification.

Keywords: clay, cement, flyash, soil stabilization, free compressive strength,

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“PENGARUH CAMPURAN SEMEN PORTLAN 1 DAN ABU VULKANIK SEBAGAI BAHAN STABILISASI PADA TANAH LEMPUNG DENGAN UJI UCT)”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Dosen Pembimbing I, Sekaligus Ketua Program Fakultas Teknik Sipil dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Sri Prafanti ST.MT, selaku Dosen Pimbimbing II.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M,T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, ST., M.Sc. selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik sipilan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Orang tuapenulis: , yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu

penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 23 Oktober 2021

Rizky Hardiansyah Harahap

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Notasi.....	xiv
Daftar Lampiran.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Pembatasan Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Umum.....	6
2.1.1 Tanah	7
2.1.2 Sifat-sifat fisik tanah	9
2.1.2.1 Angka Pori (<i>Void Ratio</i>).....	9
2.1.2.2 Porositas (<i>Porosity</i>).....	9
2.1.2.3 Kadar Air (<i>Water Content</i>).....	10

2.1.2.4 Berat volume basah (<i>Unit weight</i>).....	10
2.1.2.5 Berat volume kering (<i>Dry unit weight</i>)	10
2.1.2.6 Berat volume butiran padat.....	11
2.1.2.7 Berat spesifik (<i>Specific gravity</i>)	11
2.1.2.8 Derajat kejenuhan.....	12
2.1.3 Batas-batas Atterberg.....	13
2.1.4 Sistem klasifikasi tanah	17
2.1.4.1 Klasifikasi sistem AASHTO	17
2.1.4.2 Klasifikasi system kesatuan tanah.....	19
2.1.5 Sifat-sifat mekanis tanah.....	21
2.1.5.1 Pemadatan tanah (<i>Compaction</i>).....	21
2.1.5.2 Pengujian Uji Tekan Bebas (<i>Unconfined compression test</i>).....	22
2.1.6 <i>Teori Keruntuhan Mohr-Coulumb</i>	25
2.1.7 <i>Sensitifitas Tanah Lempung</i>	26
2.2 Bahan-Bahan Penelitian.....	27
2.2.1 Tanah lempung	27
2.2.1.1 Defenisi lempung.....	27
2.2.1.2 Lempung dan mineral penyusunnya.....	31
2.2.1.3 Sifat umum lempung	39
2.2.2 Semen.....	33
2.2.2.1 Pengertian	33
2.2.3 <i>Semen Portland</i>	48
2.2.3.1 <i>Pengertian</i>	34

2.2.3.2	<i>Hidrasi</i>	34
2.2.3.3	<i>Jenis-jenis semen Portland</i>	35
2.2.4	Abu Gunung Vulkanik.....	37
2.2.4.1	Analisa unsur AGV	37
2.2.4.2	Sifat fisik dan karakteristik kimia AGV.....	38
2.2.4.3	Klasifikasi AGV.....	50
2.2.4.4	Pengaruh Abu Gunung Vulkanik terhadap tanah Lempung.....	51
2.3	Stabilitas Tanah.....	39
2.3.1.1	Stabilisasi Tanah Dengan Semen	40
2.3.1.2	Proses Kimia Pada Stabilisasi Tanah dengan Semen.....	40
2.3.1.3	Stabilisasi Tanah dengan Abu Gunung Vulkanik	41
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1	Program Penelitian.....	44
3.2	Pekerjaan Persiapan	44
3.3	Prose Sampling	45
3.3.1	Benda uji untuk pengujian kadar air.....	46
3.3.2	Benda uji untuk pengujian berat spesifik dan Analisa saringan.....	46
3.3.3	Benda uji untuk pengujian batas-batas Atterberg.....	46
3.3.4	Benda uji untuk pengujian kepadatan	46
3.3.5	Benda uji untuk pengujian <i>Unconfined compression test</i>	46
3.4	Pelaksanaan Pengujian.....	47
3.4.1	Uji sifat fisik tanah	47
3.4.2	Uji sifat mekanis tanah	47

3.4.2.1	Uji proctor standar (<i>Standart compaction test</i>).....	47
3.4.2.2	Uji UCT (<i>Unconfined compression test</i>).....	47
3.4.3	Uji sifat fisik <i>Abu Gunung Vulkanik</i>	47
3.5	Analisis Data Laboratorium.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Pendahuluan.....	49
4.2	Pengujian sifat fisik Tanah	49
4.2.1	Pengujian sifat fisik tanah asli.....	49
4.2.2	Pengujian sifat fisik tanah dengan bahan stabilisator.....	52
4.2.2.1	Batas cair (<i>Liquid limit</i>)	54
4.2.2.2	Batas plastis (<i>Plastic limit</i>).....	54
4.2.2.3	Indeks plastisitas (<i>Plasticity index</i>).....	54
4.3	Pengujian Sifat Mekanis Tanah	55
4.3.1	Pengujian pemadatan tanah asli (<i>Compaction</i>)	55
4.3.2	Pengujian pemadatan tanah dengan bahan stabilisator.....	56
4.3.2.1	Berat isi kering maksimum (γ_{dmaks})	57
4.3.2.2	Kadar air optimum campuran	57
4.3.3	Pengujian kuat tekanbebas (<i>Unconfined compression test</i>).....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	83
Daftar Pustaka		xvii

Lampiran-lampiran xix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elemen Tanah Dalam Keadaan Asli dan Tiga Fase	
	Elemen Tanah	9
Gambar 2.2	Batas-Batas Atterberg	15
Gambar 2.3	Casagrande dan Grooving Tool (Das,2002)	16
Gambar 2.4	Hubungan Antara W_P , W_L dan W_N Dalam Menghitung LI Atau I_L (Bowles,1991)	19
Gambar 2.5	Ayakan Untuk Pengujian Sieve Analysis (Das,1998)	20
Gambar 2.6	Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah	28
Gambar 2.8	Skema Uji Tekan Bebas	31
Gambar 2.9	Keruntuhan Geser Kondisi Air Termampatkan q_u di Atas Sebagai Kekuatan Tanah Kondisi Tak Tersekap	32
Gambar 2.10	Struktur Atom Mineral Lempung (a) silicatetrahedra; (b) silicasheet; (c) aluminium oktahedra; (d) lembaran Oktahedra (gibbsite); (e) lembaran silika–gibbsite	35
Gambar 2.11	(a) Diagram skematik struktur kaolinite (b) Struktur atom kaolinite	36
Gambar 2.12	(a) Diagram skematik struktur montmorillonite (b) Struktur atom montmorillonite	37
Gambar 2.13	Diagram Skematik Struktur Illite	39
Gambar 2.14	Sifat Dipolar Molekul Air	42

Gambar 2.15	Tarik Menarik Molekul Dipolar Pada Lapisan Ganda	42
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	55
Gambar 4.1	Grafik Analisa Saringan	64
Gambar 4.2	Plot grafik klasifikasi USCS	66
Gambar 4.3	Grafik analisa saringan tanah asli	66
Gambar 4.4	Grafik Batas Cair (<i>LiquidLimit</i>), <i>AtterbergLimit</i>	67
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara nilai Batas Cair (LL) dengan Variasi campuran PC dan AGV dengan waktu pemeraman Selama 14 hari	68
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara nilai batas plastis (PL) dengan Variasi campuran PC dan AGV dengan waktu Pemeraman selama 14 hari	69
Gambar 4.7	Grafik hubungan antara nilai IP dengan variasi Campuran PC dan AGV dengan waktu pemeraman Selama 14 hari	70
Gambar 4.8	Kurva kepadatan tanah asli	71
Gambar 4.9	Grafik hubungan antara berat isi kering maksimum (<i>γ_dmaks</i>) tanah dan variasi campuran dengan waktu Pemeraman selama 14 hari	73
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara kadar air optimum tanah (<i>w_{opt}</i>) dan variasi campuran dengan waktu pemeraman Selama 14 hari	73

Gambar 4.11 Grafik hubungan antara nilai kuat tekan tanah (q_u) dengan Regangan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat Jenis Tanah	13
Tabel 2.2	Derajat Kejenuhan dan Kondisi Tanah	13
Tabel 2.3	Indeks Plastisitas Tanah	18
Tabel 2.4	Klasifikasi Sistem Kesatuan Tanah	23
Tabel 2.5	Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO	26
Tabel 2.6	Hubungan Konsistensi Dengan Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung	32
Tabel 2.7	Aktivitas Tanah Lempung	40
Tabel 2.8	Kandungan Kimia <i>Abu Gunung Vulkanik</i>	49
Tabel 4.1	Data Uji Sifat <i>Abu Gunung Vulkanik</i>	63
Tabel 4.2	Data Uji Sifat Fisik Tanah Asli	65
Tabel 4.3	Data Hasil Uji <i>Atterberg Limit</i>	68
Tabel 4.4	Data Uji Pematatan Tanah Asli	71
Tabel 4.5	Data Uji Pematatan Tanah	72
Tabel 4.6	Data hasil uji Kuat Tekan Bebas 2% PC dengan berbagai Variasi penambahan Abu Vulkanik	74
Tabel 4.7	Perbandingan antara kuat tekan tanah asli dan tanah <i>remoulded</i>	75

DAFTAR NOTASI

V	Volume tanah (cm^3)
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)
W	Berat tanah (gr)
W_s	Berat butiran padat (gr)
W_w	Berat air(gr)
ω	Kadar air(%)
n	Porositas
e	Angka pori
γ_b	Berat volume basah (gr/cm^3)
γ_d	Berat volume kering (gr/cm^3)
γ_s	Berat volume butiran padat(gr/cm^3)
G_s	Berat jenis tanah
S	Derajat kejenuhan(%)
SL	Batas susut
m_1	Berat tanah basah dalam cawan percobaan(gr)
m_2	Berat tanah kerin goven (gr)
v_1	Volume tanah basah dalam cawan

v_2	Volume tanah kering oven
γ_w	Berat jenis air
IP	Indeks plastisitas (%)
LL	Batas cair (%)
PL	Batas plastis (%)
r_f	Kuat geser (kg/cm^2)
σ_1	Tegangan utama (kg/cm^2)
q_u	Kuat tekan bebas tanah
c_u	Kohesi
\emptyset	Sudut geser tanah ($^\circ$)
r_f	Tegangan runtuh
S_t	Sensitivitas
ε	Regangan axial (%)
ΔL	Perubahan Panjang (cm)
L_o	Panjang mula-mula (cm)
A	Luas rata-rata pada setia psaat (cm^2)
A_o	Luasmula-mula (cm^2)
σ	Tegangan (kg/cm^2)
P	Beban (kg)
k	Faktor kali brasi provingring
N	Pembacaan provingring (div)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Tanah memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap perencanaan suatu konstruksi, maka tanah menjadi komponen yang perlu diperhatikan dalam perencanaan konstruksi dengan sifat-sifat yang ada di dalamnya seperti plastisitas serta kekuatan geser dari tanah tersebut .

Suatu konstruksi akan berdiri dengan tegak bila tanah dasar dibawahnya cukup kuat untuk mendukungnya. Oleh karena itu, dibutuhkan tanah yang benar-benar stabil agar tanah tersebut mampu mendukung bangunan yang ada di atasnya.

Salah satu jenis tanah yang dianggap buruk sebagai tanah dasar pada konstruksi adalah tanah lempung. Tanah lempung umumnya merupakan tanah lunak (*Soft Soil*) yang mempunyai sifat mudah berubah kondisinya bila kena air. Pada waktu kadar air sangat besar dapat berupa bubur tanah, pada kondisi kadar air sedang dapat berada pada lunak, pada keadaan kadar air sedikit tanah dapat menjadi keras. Dan kondisi seperti tadi diikuti oleh perubahan volume sangat besar, besar ke kecil. Sehingga tanah lempung disebut juga tanah yang memiliki kembang – susut yang potensial. Sifat tanah lempung adalah kekuatan gesernya rendah, penurunannya besar, permeabilitasnya tinggi, deformasinya relatif besar dan daya dukungnya rendah (Suyono, S.1983).

Sifat yang khas dari tanah lempung tersebutlah yang dapat membahayakan suatu konstruksi. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah

menstabilisasikan tanah dengan meningkatkan daya dukung tanah asli. Maka dari itu perlu dilakukan stabilisasi pada tanah lempung ini.

Menurut Hardiyatmo (2002), jika kandungan bahan organik dalam tanah lempung melampaui batas maksimum yang disyaratkan ($>2\%$), maka bahan organik tersebut akan mereduksi kekuatan dari campuran tanah lempung yang distabilisasi dengan bahan tambah.

Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula, stabilisasi tanah adalah suatu usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat- sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Stabilisasi tanah mungkin dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Meningkatkan kepadatan tanah.
2. Menambahkan bahan-bahan inert untuk meningkatkan kohesi dan atau kekuatan geser dari tanah.
3. Menambahkan bahan-bahan yang mampu mengakibatkan perubahan secara kimiawi ataupun fisik dari tanah.
4. Memperendah permukaan air tanah.
5. Memindahkan dan/atau mengganti tanah yang bersifat buruk tersebut (Bowles, 1991).

Penelitian mengenai stabilisasi pada tanah lempung telah banyak dilakukan sebelumnya sebagai upaya untuk melakukan perbaikan pada tanah. Campuran bahan yang digunakan pun bermacam-macam antara lain: kapur, semen, fly ash, bubuk batu merah, abu ampas tebu, abu sekam padi, dan bahan lainnya. Hasilnya menunjukkan perbaikan pada kondisi tanah lempung baik sifat fisis maupun sifat mekanisnya.

Secara umum tanah lempung lunak adalah suatu jenis tanah kohesif yang mempunyai sifat yang sangat kurang menguntungkan dalam konstruksi teknik sipil yaitu kuat geser rendah dan kompresibilitasnya yang besar.

Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah mempunyai tujuan utama yaitu memperbaiki sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik,

seperti kapasitas dukung dan potensi pengembangan. Bahan tambah yang umumnya digunakan berupa bahan tambah buatan pabrik seperti semen, kapur, dan aspal, atau bahan tambah yang berasal dari limbah seperti abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi. Penelitian ini mencoba stabilisasi menggunakan abu vulkanik Gunung Sinabung. Selain itu, bahan tambah yang digunakan berupa semen Portland tipe I yang diperoleh dari toko bahan bangunan di kota Medan.

Semen yang sering dipakai untuk bahan stabilisasi adalah *Portland Cement* (PC) yaitu campuran bahan-bahan yang sebagian besar berisi kapur (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃). Sifat semen bila dicampur dengan air akan menjadi ikatan dan mengeras karena proses reaksi kimia sehingga membentuk suatu massa yang kuat dan keras yang sering disebut *hydraulic cement*. Sehingga *Portland Cement* (PC) dapat dijadikan pengikat hidraulis, dalam ini punya waktu ikat awal 1–3 jam (Hartono, 2012).

Penelitian menyatakan bahwa abu vulkanik mengandung silika, aluminium, besi, kalsium, magnesium, dan natrium. Silika (SiO₂) merupakan unsur penyusun utama dalam pembentukan semen, dengan demikian dapat dikatakan bahwa abu vulkanik memiliki sifat pozolanik. Sifat pozolanik memiliki perilaku mengikat mineral lain yang ada di lempung sehingga menjadi semakin keras dalam jangka waktu tertentu (Mu'minah, 2014). Sedangkan kalsium dapat menetralkan kandungan bahan organik yang berlebih pada tanah. Jadi limbah material abu vulkanik Gunung Sinabung tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pengganti material semen.

Dari beberapa penelitian maka penulis ingin melakukan perbandingan stabilisasi tanah lempung menggunakan semen dan *Abu Vulkanik* dengan penelitian sebelumnya semen dan abu gunung vulkanik dengan membandingkan beberapa aspek yang terkandung dan bertujuan untuk membeberkan persamaan dan perbedaan aspek-aspek tersebut.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Bagaimana hasil stabilisasi tanah lempung yang menggunakan bahan pencampur semen dengan abu vulkanik?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui sifat fisik (*index properties*) dari tanah asli.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan semen dan abu vulkanik terhadap stabilitas tanah.
3. Untuk mencari kadar persentase yang efektif dengan penambahan semen dan abu vulkanik terhadap daya dukung tanah.

1.4 PEMBATASAN PENELITIAN

Batasan masalah yang dilakukan penulis dalam tugas akhir ini adalah melakukan pengujian sifat fisik tanah dengan uji proctor standart dan uji kuat tekan bebas. Untuk memperoleh nilai maksimum daya dukung tanah dengan penambahan bahan campuran 2% semen dan variasi 2% -24% abu gunung vulkanik dengan waktu curing time 14 hari.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi pemikiran dan kerangka awal penelitian yang akan dilakukan. Bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, serta metodologi penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori dari literatur atau bahan bacaan yang digunakan dalam penelitian ini, baik itu dari jurnal, buku, internet, makalah dan sumber bacaan lainnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjabaran keseluruhan proses yang dilakukan selama penelitian berlangsung sampai selesai. Diantaranya bagaimana proses

pengujian sampel dilakukan di laboratorium dan bagaimana mendapatkan data dari hasil pengujian.

BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

Bab ini berisi tentang pembahasan atau hasil data-data yang dikumpulkan. Hasil data-data yang terkumpul tersebut kemudian di analisa sehingga diperoleh hasil atau tujuan akhir dari penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

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 (R.F.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.

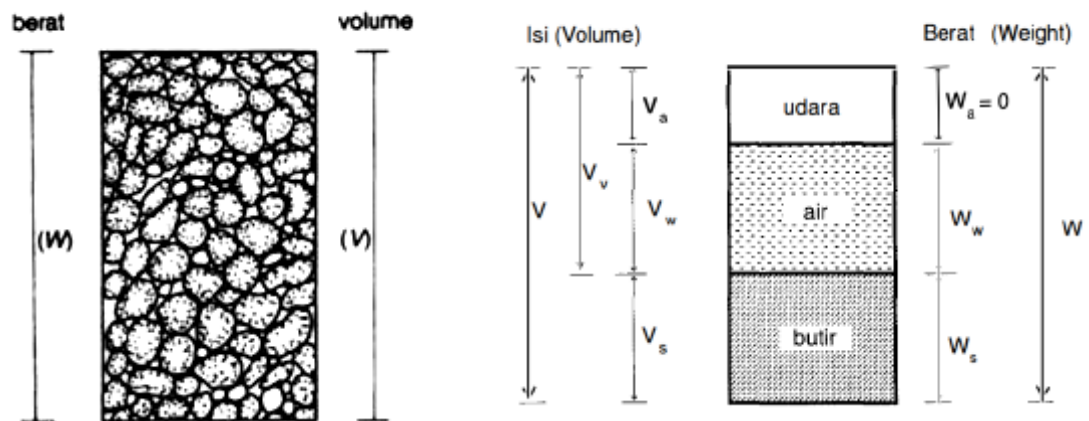
Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara 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
(Sumber : Mekanika Tanah Braja M. 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 persamaan 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) didefenisikan sebagai perbandingan antar volume pori dan volume butiran padat. Persamaan 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 didefenisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume total pada tanah tersebut. Persamaan 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 didefinisikan sebagai perbandingan antar berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Persamaan 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). Persamaan 2.6 digunakan untuk menentukan nilai berat volume basah.

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

Dimana:

γ_b = Berat volume basah (gr/Cm^3)

W = berat butiran tanah (gr)

V = volume total tanah (Cm^3)

Dengan:

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

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. Persamaan 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). Persamaan 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). Persamaan 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

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

(Sumber: Mekanika Tanah Jilid I, Hardiyatmo, 2002)

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. Persamaan 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 (Cm^3)

V_v : volume total rongga pori tanah (Cm^3)

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

Tabel 2.2: Derajat kejenuhan dan kondisi tanah

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

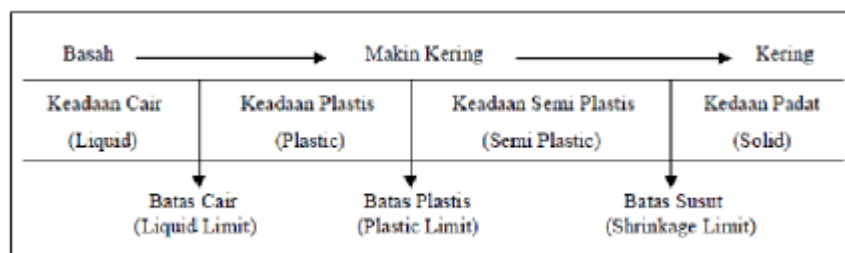
(Sumber: Mekanika Tanah Jilid I, Hardiyatmo, 2002)

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*).

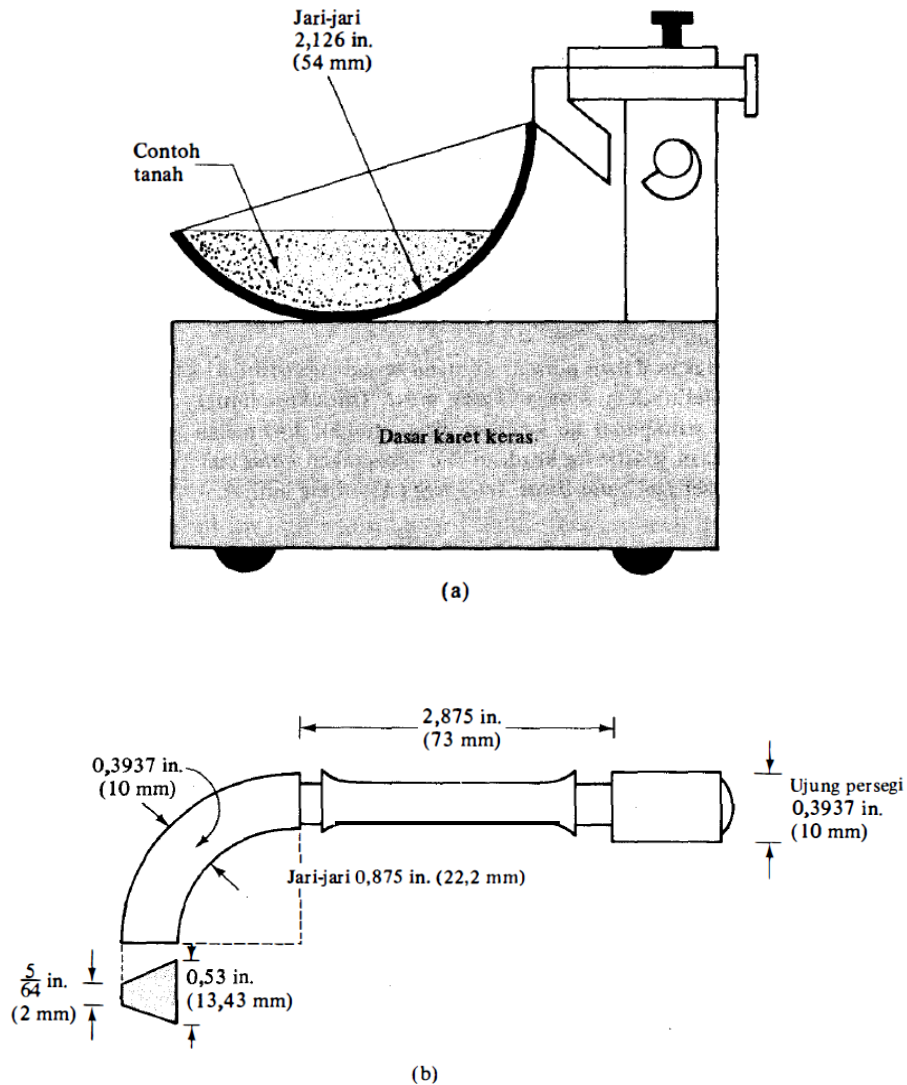


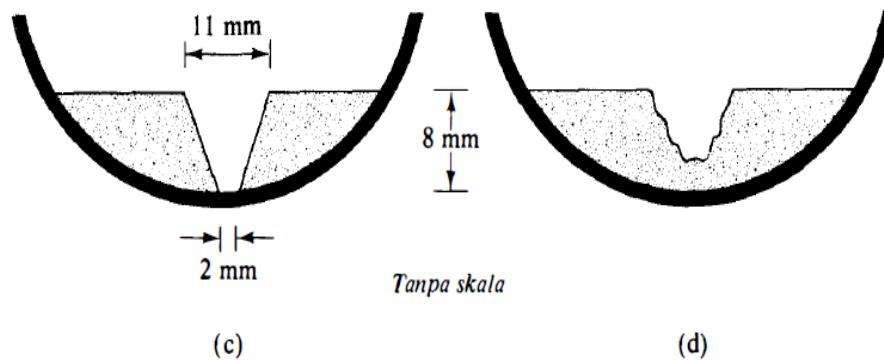
Gambar 2.2 Batas-batas Atterberg
(Sumber: Mekanika Tanah Jilid I, Hardiyatmo, 2002)

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

(Sumber : Mekanika Tanah Braja M. 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 Persamaan 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 Persamaan 2.13 berikut :

$$IP = LL - PL \quad (2.13)$$

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

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Mekanika Tanah Jilid I, Hardiyatmo, 2002)

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 Persamaan 2.14 berikut :

$$LI = \frac{W_N - PL}{LL - PL} = \frac{W_N - PL}{PI} \quad (2.14)$$

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 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-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5						
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

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)

(Sumber: *Mekanika Tanah Jilid I, Hardiyatmo, 2002*)

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).

(e) 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).

3. 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).

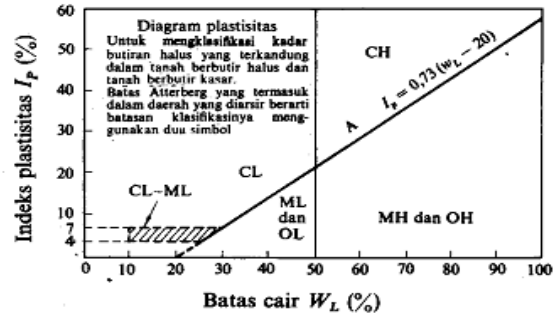
(b) Untuk H (plastisitas Tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.

(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)

Klasifikasi umum		Simbol klasifikasi	Nama jenis	Kriteria klasifikasi		
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan pada ayakan 75 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 butiran halusnya	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di atas garis A dan Index Plastisitas > dari 7	
	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 butiran halusnya	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di atas garis A atau Index Plastisitas > dari 7	
			Lanau dan lempung LL \leq 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu pasdar, pasir halus berlanau atau berlempung	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
				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	$I_p = 0,73(w_L - 20)$			
	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				
Tanah dengan kadar organik tinggi		PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar Organik tinggi lainnya	Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM lihat D 2488-66T.		

Klasifikasi berdasarkan pada persentase butiran halus
 50% atau kurang : GW, GP, SW, SP
 Lebih dari 12% : GM, GC, SM, SC
 5% s/d 12% : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol ganda.



(Sumber: Braja M.Das, 1991)

2.1.5 Sifat-Sifat Mekanis Tanah

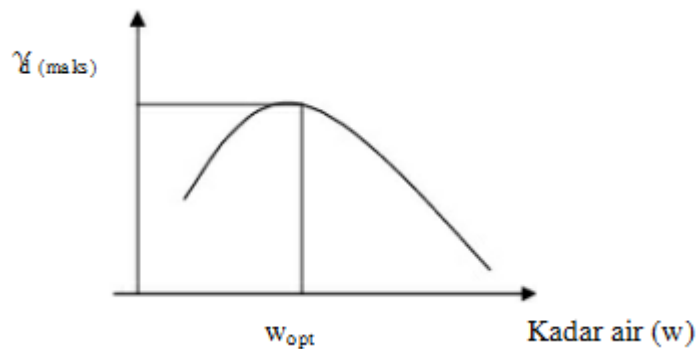
2.1.5.1 Pemadatan Tanah (Compaction)

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



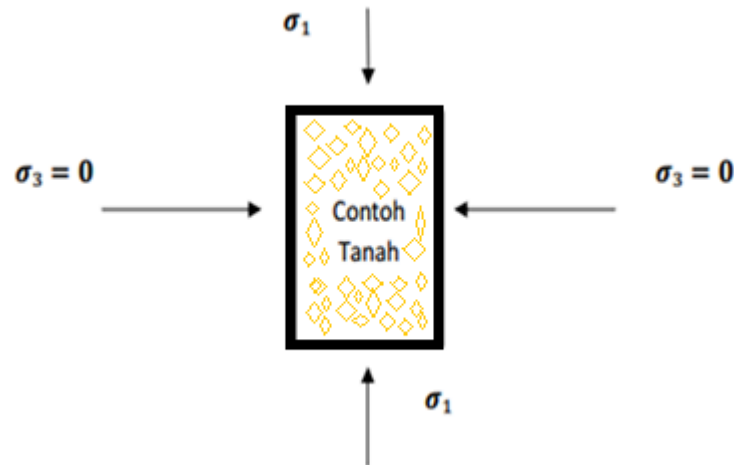
(Sumber: *Mekanika Tanah Jilid I, Hardiyatmo, 2002*)

2.1.5.2 Pengujian Unconfined Compression Test (UCT)

Kekuatan geser tanah merupakan parameter yang sangat perlu ditinjau untuk material tanah. Untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan stabilisasi tanah diperlukan pengetahuan tentang kekuatan geser tanah.

Uji kuat tekan bebas merupakan salah satu parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui kekuatan geser tanah. Yang dimaksud dengan kekuatan tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20 %. Percobaan kuat tekan bebas di laboratorium dilakukan pada sampel tanah dalam keadaan asli maupun

buatan (*remoulded*). Cara pengujian kuat tekan bebas ini memiliki perbedaan dengan uji triaksial, dimana pada uji kuat tekan bebas tidak ada tegangan sel yaitu $\sigma_3=0$. Gambar skematik pengujian *Unconfined Compression Test* dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema uji tekan bebas (Hardiyatmo, 1992)

Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, Karena $\sigma_3 = 0$, maka:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u \quad (2.15)$$

Dimana :

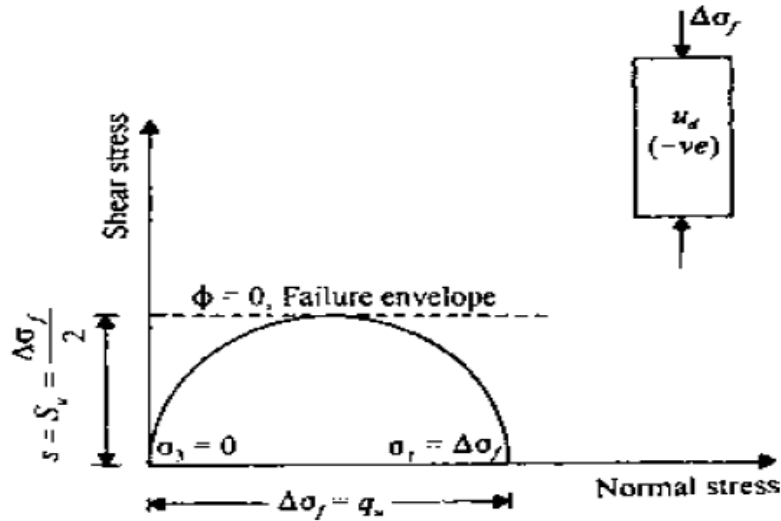
τ_f : kuat geser (kg/cm^2)

σ_1 : tegangan utama (kg/cm^2)

q_u : kuat tekan bebas tanah (kg/cm^2)

c_u : kohesi (kg/cm^2)

Pada Gambar 2.6 menunjukkan lingkaran Mohr untuk pengujian *Unconfined Compression Test* (UCT).



Gambar 2.6: Keruntuhan Geser Kondisi Air Termampatkan q_u Di Atas Sebagai Kekuatan Tanah Kondisi Tak Tersekap

(Sumber: Braja M. Das, 2008)

Hubungan konsistensi dengan kuat tekan bebas tanah lempung diperlihatkan di table 2.6.

Tabel 2.5 Hubungan Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung dengan Konsistensinya

Konsistensi	q_{qu} (kN/m ²)
Lempung keras	>400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	< 25

Sumber:Hardiyatmo,H.C.,2002, Mekanika Tanah

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.

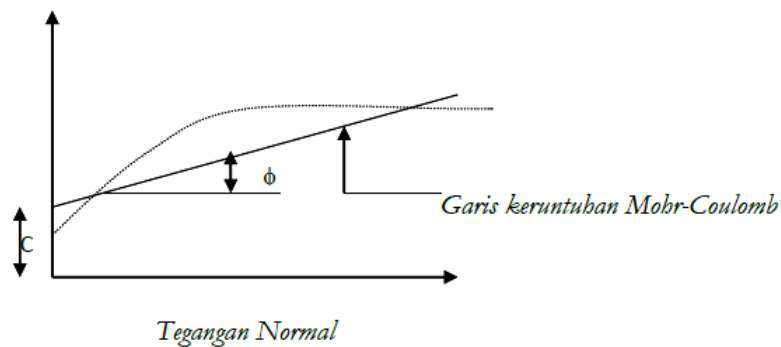
Pada sekitar tahun 1776, *Coulomb* memperkenalkan hubungan linear yang terjadi antara tegangan normal dan tegangan geser.

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

Dimana :

C : Kohesi (kg/cm^2)

ϕ : Sudut geser internal ($^\circ$)



Gambar 2.7: Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

(Sumber: Braja M. 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 2.8: 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

(Sumber : Das, B. M., 2008, *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid*)

2.2 Bahan-Bahan Penelitian

2.2.1 Tanah Lempung

2.2.1.1 Defenisi Tanah Lempung

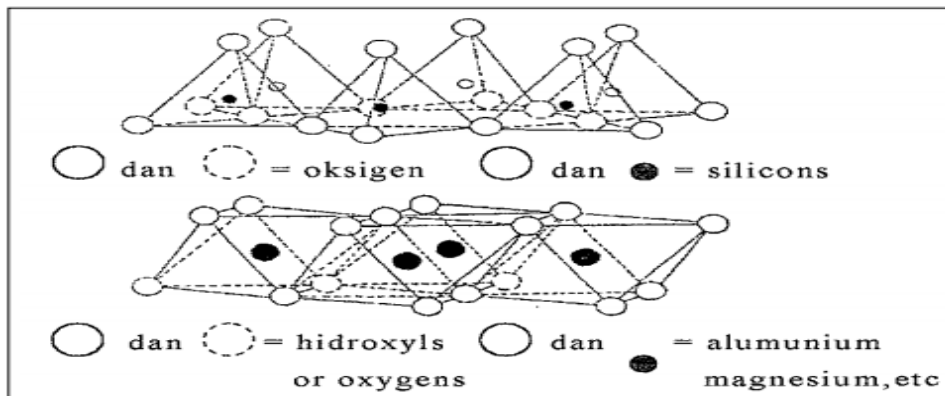
a. Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat sangat keras dalam keadaan kering dan plastis dalam selang kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi, lempung bersifat 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)

2.2.1.2 Jenis Mineral Lempung

Tanah lempung terdiri sekumpulan partikel-partikel mineral lempung yang berbentuk lempeng pipih dan merupakan partikel dari mika, mineral lempung dan mineral lainnya. Partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh faktor utama yang digunakan untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat fisik, sifat kimia dan partikel tanah adalah mineralogi (Mitchell, 1976). Sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh mineral yang terkandung di tanah tersebut. Mineral tersebut terutama terdiri dari alumunium silikat yang terdiri dari silikat tetrahedral dan alumunium oktahedral. Mineral-mineral ini terdiri dari kristal dimana atom-atom yang membentuknya berada dalam suatu pola geometri tertentu. Setiap unit tetrahedral terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silikon, sedangkan unit oktahedral terdiri dari enam atom

oksigen yang mengelilingi satu atom silikon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut:

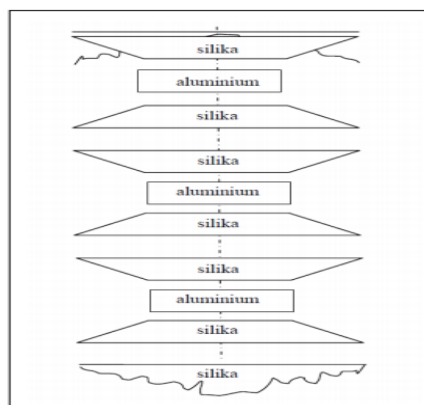


Gambar 2.8: Rangkaian Dasar Oktahedral dan Tetrahedral (*Sumber: Braja M. Das, 2008*)

Mineral-mineral lempung merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral-mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam golongan besar, yaitu kaolinite, smectit (*montmorillonit*), dan illit (*mika hidrat*).

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:

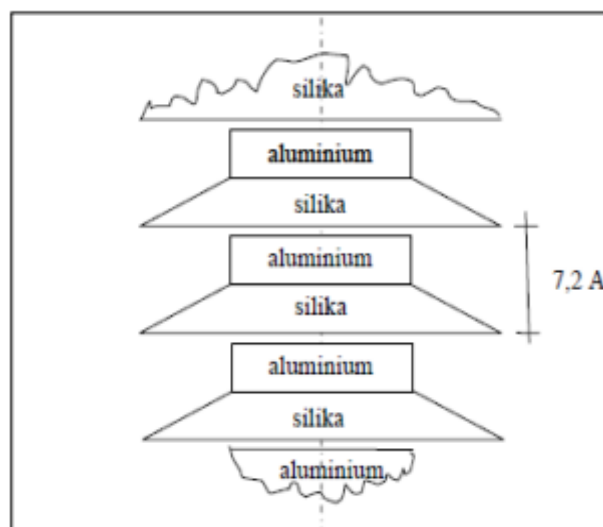


Gambar 2.9: Susunan mineral montmorillonite (*Sumber: Grim, 1959*)

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 $7,2 \text{ \AA}$ (1 angstrom (\AA) = 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.

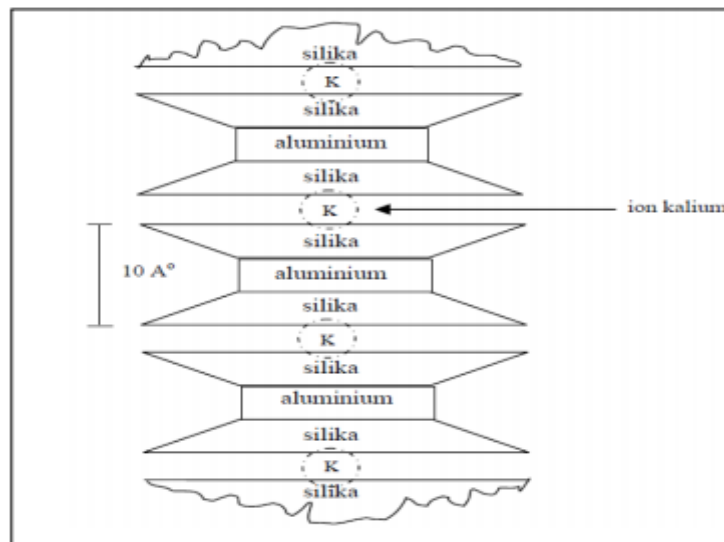


Gambar 2.10: Susunan mineral Kaolinite
(Sumber: Grim, 1959)

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 2.11: Susunan Mineral Illite

(Sumber: 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 2.9: Aktivitas Tanah Lempung

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

(Sumber: *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Bowles, 1984)

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 (CCl_4) 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 Semen

2.2.2.1 Umum

Semen merupakan perekat hidrolis dimana senyawa-senyawa yang terkandung di dalam semen dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan. Semen memiliki susunan yang berbeda-beda, dan semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu:

1. Semen Hidrolik

Semen hidrolik adalah semen yang memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air. Contoh semen hidrolik antara lain semen portland, semen pozzolan, semen alumina, semen terak, semen alam dan lain-lain.

2. Semen Non Hidrolik

Semen non hidrolik adalah semen yang tidak memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non hidrolik adalah kapur.

2.2.3 Semen Portland

2.2.3.1 Umum

Semen portland adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan klinker dengan kandungan utamanya adalah kalsium silikat dan satu atau dua buah bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan.

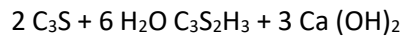
Unsur penting dalam semen portland yaitu:

- a. Trikalsium silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) atau C_3S
- b. Dikalsium silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) atau C_2S
- c. Trikalsium aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) atau C_3A
- d. Tetrakalsium aluminoforit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) atau C_4AF
- e. Kalsium sulfat dihidrat (gypsum) ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

2.2.3.2 Hidrasi Semen

Ketika air ditambahkan ke dalam campuran semen, proses kimiawi yang disebut hidrasi akan berlangsung. Senyawa kimia dalam semen akan bereaksi

dengan air dan membentuk komponen baru. Proses kimia untuk reaksi hidrasi dari unsur C₂S dan C₃S dapat ditulis sebagai berikut:



Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dapat dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi sekitar 20 % dari berat semen (Nugraha, 2007).

2.2.3.3 Jenis-jenis Semen Portland

Sesuai dengan kebutuhan pemakaian semen yang disebabkan oleh kondisi lokasi maupun kondisi tertentu yang dibutuhkan pada pelaksanaan konstruksi, dalam perkembangannya dikenal berbagai jenis semen portland antara lain:

1. Semen portland biasa

Semen portland jenis ini digunakan dalam pelaksanaan konstruksi secara umum jika tidak diperlukan sifat-sifat khusus, seperti ketahanan terhadap sulfat, panas hidrasi rendah, kekuatan awal yang tinggi dan sebagainya. ASTM mengklasifikasikan semen portland ini sebagai tipe I.

2. Semen portland dengan ketahanan sedang terhadap sulfat

Semen ini digunakan pada konstruksi jika sifat ketahanan terhadap sulfat dengan tingkat sedang, yaitu dimana kandungan sulfat (SO₃) pada air tanah dan tanah masing-masing 0,8% - 0,17% dan 125 ppm, serta PH tidak kurang dari 6. ASTM mengklasifikasikan semen jenis ini sebagai tipe II.

3. Semen portland dengan kekuatan awal tinggi

Semen portland yang digiling lebih halus dan mengandung tricalcium silikat (C₃S) lebih banyak dibanding semen portland biasa. Semen jenis ini memiliki pengembangan kekuatan awal yang tinggi dan kekuatan tekan pada waktu yang lama juga lebih tinggi dibanding semen Portland biasa. ASTM mengklasifikasikan semen ini sebagai tipe III.

4. Semen portland dengan panas hidrasi rendah

Semen jenis ini memiliki kandungan tricalcium silikat (C_3S) dan tricalcium aluminat (C_3A) yang lebih sedikit, tetapi memiliki kandungan C_3S yang lebih banyak dibanding semen Portland biasa dan memiliki sifat-sifat:

- a. Panas hidrasi rendah
- b. Kekuatan awal rendah, tetapi kekuatan tekan pada waktu lama sama dengan semen Portland biasa
- c. Susut akibat proses pengeringan rendah

Memiliki ketahanan terhadap bahan kimia, terutama sulfat ASTM mengklasifikasikan semen jenis ini sebagai tipe IV.

5. Semen portland dengan ketahanan tinggi terhadap sulfat

Semen jenis ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Semen ini diklasifikasikan sebagai tipe V pada ASTM. Semen jenis ini digunakan pada konstruksi apabila dibutuhkan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat, yaitu kandungan sulfat (SO_3) pada air tanah dan tanah masing-masing 0,17% - 1,67% dan 125 ppm – 1250 ppm, seperti pada konstruksi pengolahan limbah atau konstruksi dibawah permukaan air.

6. Semen portland *blended*

Semen portland *blended* dibuat dengan mencampur material selain gypsum kedalam klinker. Umumnya bahan yang dipakai adalah terak dapur tinggi (*balst-furnase slag*), pozzolan, abu terbang (*fly ash*) dan sebagainya. Jenis- jenis semen portland *blended* adalah:

- a. Semen Portland Pozzolan (Portland Pozzolanic Cement)
- b. Semen Portland Abu Terbang (Portland Fly Ash Cement)
- c. Semen Portland Terak Dapur Tinggi (Portland Balst-Furnase Slag Cement)
- d. Semen Super Masonry

Persyaratan komposisi semen portland menurut ASTM Designation C 150-92, seperti terlihat pada table 2.7.

Table 2.8 Persyaratan Standart Komposisi Kimia *Portland Cement* (ASTM,1992)

Kimia Semen	Jenis Portland Cemen				
	I	II	III	IV	V
	dan IA	dan IIA	dan IIIA		
Silicon dioxide (SiO ₂), Min %		20.2			
Aluminium oxide (Fe ₂ O ₃), max %		6.0			
Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃), max %		6.0		6.5	
Magnesium Oxide (MgO), max %	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Sulfur Trioxide (SO ₃), max %					
When (C ₃ A) is	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
When (C ₃ A) is more than	3.5	NA	4.5	NA	NA
Lose in ignition, max %	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Insoluble residue, max %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Tricalcium silicate (C ₃ S), max %				35	
Dicalium silicate (C ₂ S)				40	
Tricalcium aluminate (C ₃ S), max %		8	15	7	5
Tetracalcium aluminoferrite tambah dua kali tricalcium aluminate (C ₄ AF+2(C ₃ A)) atau solid solution (C ₃ AF+C ₃ F), as applicable, max %					25

Sumber: ASTM Standart On Soil Stabilization With Admixture 1992

2.2.4 Abu Gunung Vulkanik

Abu vulkanik merupakan salah satu jenis bahan alami yang terbentuk di dalam perut gunung yang kemudian menjadi material vulkanik jatuhan yang disemburkan ke udara pada saat terjadi letusan. Abu vulkanik tidak larut dalam air, sangat kasar dan agak korosif.

Secara umum komposisi abu vulkanik terdiri atas Silika dan Kuarsa, sehingga abu vulkanik digolongkan kedalam bahan yang bersifat pozolan. Bahan pozolan didefinisikan bahan bukan semen yang mengandung silika dan alumina.

Abu vulkanik menjadi material yang paling bermanfaat untuk manusia. Abu vulkanik mengandung beberapa jenis mineral yang penting untuk pengaruhi

kesuburan tanah seperti magnesium, seng, mangan, zat besi dan selenium. Komponen ini akan menambah kesuburan tanah ketika bercampur dengan senyawa tanah. Beberapa kegunaan abu vulkanik yaitu:

1. Dapat menyuburkan tanah

Abu vulkanik yang keluar dari gunung berapi mengandung berbagai mineral yang sangat penting untuk tanah. mineral yang bercampur dengan tanah akan membentuk tanah yang lebih subur. Dampak ini dapat kita lihat secara langsung yaitu kawasan di sekitar pegunungan selalu subur.

2. Meningkatkan Aktifitas Pertanian

Hampir semua orang yang tinggal dekat gunung berapi memiliki tanah pertanian yang subur. Secara umum abu vulkanik yang didapatkan dari letusan gunung berapi memang meningkatkan kesuburan di kawasan sekitar gunung berapi. Manfaat abu vulkanik gunung berapi yang terbawa dari aliran udara dan air akan diserap oleh tanah. Pertanian di kawasan pegunungan selalu terlihat lebih subur dibandingkan kawasan lain.

3. Berguna untuk menyediakan bahan bangunan

Berbagai jenis batu apung, abu vulkanik keluar dan akan bercampur dengan pasir dan tanah di sekitar pegunungan. Bahan-bahan ini sering diambil untuk menjadi bahan bangunan. Bahkan di beberapa daerah abu vulkanik sering dijadikan bahan campuran untuk membuat semen dan material beton.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap abu vulkanik yang digunakan, diperoleh hasil seperti yang terlihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Komposisi Kimia Abu Vulkanik

No.	Parameter	Hasil	Metode
1.	SiO ₂	84,0797 %	Gravimetri
2.	Fe ₂ O ₃	0,0027 %	Spektrofotometri
3.	Al ₂ O ₃	9,9338 %	Gravimetri
4.	CaO	0,1364 %	Titrimetri

Sumber : Hasil Percobaan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA USU

2.3 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 2.10: Pemilihan bahan tambah untuk stabilisasi tanah

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				Efisiensi maksimum	
	Polimerik - organik					Efisiensi maksimum	
	Mekanis		Efektif, tapi pengendalian mutu sulit		Efisiensi maksimum		
	Termal	Efisiensi maksimum					
		Efisiensi maksimum			Efektif, tapi pengendalian mutu sulit		

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2.3.1.1 Stabilisasi Tanah Dengan Semen

Stabilisasi tanah dengan semen adalah pencampuran antaratanah yang telah dihancurkan, semen dan air, kemudian dipadatkan dan menghasilkan suatu material baru yaitu tanah dan semen dimana karakteristik deformasi, kekuatan, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan, pondasi bangunan dan jalan, aliran sungai dan lain-lain (Kezdi, 1979).

Pada penelitian ini digunakan semen dengan jenis *Portland Cement* tipe-I dan abu gunung vulkanik. Kelebihan penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah adalah:

- a. Meningkatkan kekuatan dan kekakuan (*stiffness*)
- b. Stabilitas volume yang lebih baik
- c. Meningkatkan durabilitas

2.3.1.2 Proses kimia pada stabilisasi tanah dengan semen

Suardi (2005) mengatakan tahapan proses kimia pada stabilisasi tanah menggunakan semen adalah sebagai berikut:

- a. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion;

Jika semen portland ditambahkan pada tanah, ion kalsium Ca^{++} dilepaskan melalui proses hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Butiran lempung dalam kandungan tanah berbentuk halus dan bermuatan negatif. Ion positif seperti ion hidrogen (H^+), ion natrium (Na^+), ion kalsium (K^+), serta air yang berpolarisasi. Sehingga membentuk kalsium silikat dan kalsium aluminat yang mengakibatkan kekuatan tanah meningkat. Reaksi pozzolan; semuanya melekat pada permukaan butiran lempung. Dengan reaksi ini partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

- b. Reaksi pembentukan kalsium silikat dan kalsium aluminat; Secara umum hidrasi adalah sebagai berikut:



Reaksi antara silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) halus yang terkandung dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, sehingga dapat bereaksi dengan semen dan air. Hasil reaksi adalah terbentuknya kalsium silikat hidrat seperti: tobermorit, kalsium aluminat hidrat $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dan gehlenit hidrat $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang tidak larut dalam air. Pembentukan senyawa-senyawa ini berlangsung lambat dan menyebabkan tanah menjadi lebih keras, lebih padat dan lebih stabil. Jadi semen yang umum digunakan untuk stabilisasi tanah dengan bahan semen adalah *ordinary portland cement* atau dikenal sebagai semen tipe I.

2.3.1.3 Stabilisasi Tanah Dengan Abu Gunung Vulkanik

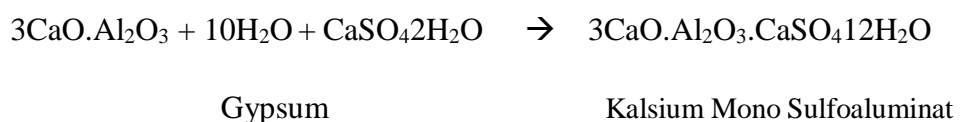
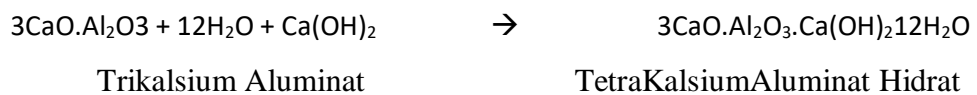
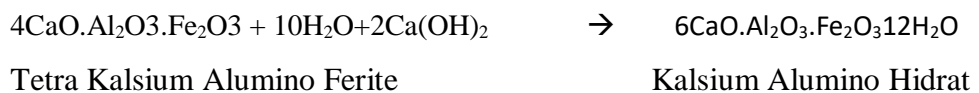
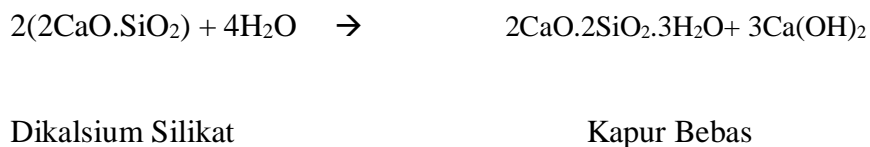
Pada penelitian ini abu vulkanik yang digunakan oleh penulis adalah abu vulkanik yang berasal dari aktivitas vulkanik Gunung Sinabung yang ada di

daerah kabupaten Tanah Karo, Sumatera Utara. Stabilisasi Elektro – Kimiawi Abu Vulkanik adalah pencampuran tanah asli dengan Abu Vulkanik yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat buruk tanah, seperti kembang susut menjadi tanah yang mudah dipadatkan dan stabil secara permanen. Abu Vulkanik adalah Abu yang berasal dari aktivitas vulkanik dari Gunung berapi.

Dari data hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis terlihat unsure silica (SiO_2) merupakan unsure yang dominan (terbanyak). Seperti kita ketahui bahwa silika adalah unsur pembentuk utama pembuatan semen.

Suatu bahan bersifat *pozzolani*, salah satunya apabila mengandung jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimum 70 % (ASTM C.618). Mekanisme proses terjadinya peningkatan kekuatan beton oleh adanya bahan bersifat *pozzolan* adalah sebagai berikut:

Terjadinya proses hidrasi antara Abu Gunung Vulkanik dengan air



Dari persamaan reaksi tersebut diatas, terlihat adanya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bebas. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bebas akan diikat oleh silikat yang terkandung didalam abu vulkanik Gunung Sinabung, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi Pozzoland

Dengan demikian abu vulkanik Gunung Sinabung mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat yang bertambahnya waktu, maka bahan tersebut apabila bereaksi dengan alumina (Al_2O_3) dan CaO yang ada di lempung organik akan menjadi bertambah keras.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PROGRAM PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sampel tanah yang tidak diberikan bahan stabilisasi (tanah asli) dan pada tanah yang diberikan bahan stabilisasi kimiawi berupa penambahan *Portland Cement* (PC) dan Abu Gunung Vulkanik (AGV) dengan berbagai variasi campuran. Metodologi penelitian yang penulis lakukan dalam penelitian ini menggunakan metode Eksperimen di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

3.2 PEKERJAAN PERSIAPAN

Pekerjaan persiapan yang dilakukan oleh peneliti dalam penelitian ini yakni:

- a. Mempelajari bahan literatur yang berkaitan dengan tanah lempung yang distabilisasi dengan semen dan abu vulkanik, serta literatur mengenai pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*).
- b. Penyediaan alat dan bahan penelitian
 - Persiapan Alat
Peneliti menentukan, membersihkan, dan menyusun 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 Kuat Tekan Bebas dan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium Tanah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material* (ASTM).
 - Persiapan Bahan
 - a. Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Jalan Besar Suka Jadi, Serdang Berdagai, Sumatera Utara. Pada penelitian ini digunakan sampel *disturbed* dan *undisturbed*. Untuk pengambilan tanah *disturbed* dengan cara penggalian menggunakan cangkul kemudian dimasukkan ke dalam karung. Sedangkan pada pengambilan sampel tanah *undisturbed* menggunakan pipa paralon. Pipa ditekan sampai kedalaman 50 cm, kemudian diangkat sehingga terisi penuh oleh tanah dan ditutup dengan plastik agar terjaga kadar air aslinya. Tanah *disturbed* yang diambil kemudian dikeringkan hingga kering udara dan ditumbuk dengan alat pemecah mekanis.

b. Semen

Semen yang dipakai adalah jenis Semen *Portland* Tipe I, dengan merk dagang Holcim (*PPC/Portland Pozzolan Cement*).

c. Abu vulkanik

Abu vulkanik yang dipakai adalah abu yang diambil dari Desa Tiganderket, Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Kemudian abu disaring dengan menggunakan saringan no. 200.

d. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.

3.3 PEMBUATAN BENDA UJI

Pembuatan benda uji dibagi menjadi beberapa macam sesuai dengan pengujian masing-masing dengan kadar semen dan abu yang tetap untuk semua pengujian.

3.3.1 Benda Uji untuk Pengujian *Water Content*

Pada pengujian Kadar Air dibuat sampel sebanyak 2 buah. Dimana tanah yang dipakai adalah tanah yang langsung dari lapangan.

3.3.2 Benda Uji untuk Pengujian Berat Spesifik dan Analisa Saringan

Pada pengujian Berat Spesifik tanah, sampel yang dibuat sebanyak 3 buah dan untuk pengujian Analisa Saringan dibuat sampel sebanyak 1 buah.

3.3.3 Benda Uji untuk Pengujian Batas-batas *Atterberg*

Tanah yang dipakai adalah tanah yang telah disaring dengan saringan No.40. Kemudian tanah tersebut ditimbang sebesar 500 gram untuk satu benda uji dan dimasukkan ke dalam plastik. Setelah itu, tanah tersebut dicampur dengan semen dan abu vulkanik. Benda uji yang dibuat untuk pengujian Batas-batas *Atterberg* adalah sebanyak 12 buah.

3.3.4 Benda Uji untuk Pengujian *Compaction*

Untuk pengujian ini tanah disaring dengan saringan No. 4 ditimbang sebesar 2000 gram untuk satu benda uji. Kemudian sama halnya dengan pengujian *Atterberg* tanah dimasukkan ke dalam plastik dan dicampur dengan semen, abu vulkanik dan air. Lalu dilakukan pemeraman selama 14 hari. Untuk setiap variasi campuran dibutuhkan 5 benda uji dikarenakan penambahan air yang berbeda- beda. Sehingga total benda uji pada pengujian ini adalah 75 buah.

3.3.5 Benda Uji untuk Pengujian *Unconfined Compression Test*

Tanah disaring dengan saringan No. 4 ditimbang sebesar 2 kg untuk satu benda uji. Kemudian tanah dimasukkan ke dalam plastik dan dicampur dengan semen, abu vulkanik dan air. Dilakukan pemeraman selama 14 hari sebelum dilakukan pengujian. Pada pengujian ini benda uji yang dibuat sebanyak 15 buah.

3.4 PELAKSANAAN PENGUJIAN

Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian yaitu pengujian untuk tanah dan pengujian untuk abu vulkanik, adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

3.4.1 Tanah Asli

Adapun pengujian untuk tanah asli meliputi:

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

3.4.2 Tanah yang Telah Distabilisasi

Adapun pengujian untuk tanah yang telah dicampur dengan semen dan abu vulkanik meliputi:

- Uji Batas-batas Atterberg
- Uji Pemadatan
- Uji Kuat Tekan Bebas

3.4.3 Abu Vulkanik

Untuk pengujian abu vulkanik yaitu terdiri dari:

- Uji Batas-batas Atterberg

3.5 ANALISIS DATA LABORATORIUM

Setelah seluruh data-data diperoleh baik dari pengujian sifat fisik dan sifat mekanis, kemudian dilakukan pengumpulan data. Setelah data dikumpulkan, lalu dilakukan analisa data. Semua hasil yang didapat dari pelaksanaan penelitian akan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik hubungan serta penjelasan-penjelasan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PENDAHULUAN

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai hasil pengujian dan pembahasan penelitian uji kuat tekan bebas tanah lempung dengan campuran semen dan abu gunung vulkanik dengan variasi antara 2% sampai 24%. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Universitas Sumatera Utara dengansampeltanah yang diperoleh dari Jalan Besar Suka Jadi, Serdang Berdagai, Sumatera Utara serta bahan stabilisasi abu gunung vulkanik diperoleh dari Kecamatan Tiganderket, Kabupaten Karo, Sumatera Utara yang merupakan hasil erupsi Gunung Sinabung.

4.2 PENGUJIAN SIFAT FISIKTANAH

4.2.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

Adapun hasil uji sifat fisik tanah asli ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Hasil-hasil pengujian sifat fisik tanah ini meliputi :

- Kadar Air
- Berat Jenis
- Batas-batasAtterberg
- Uji Analisa Butiran

Tabel 4.1 Data Uji Sifat Fisik Tanah

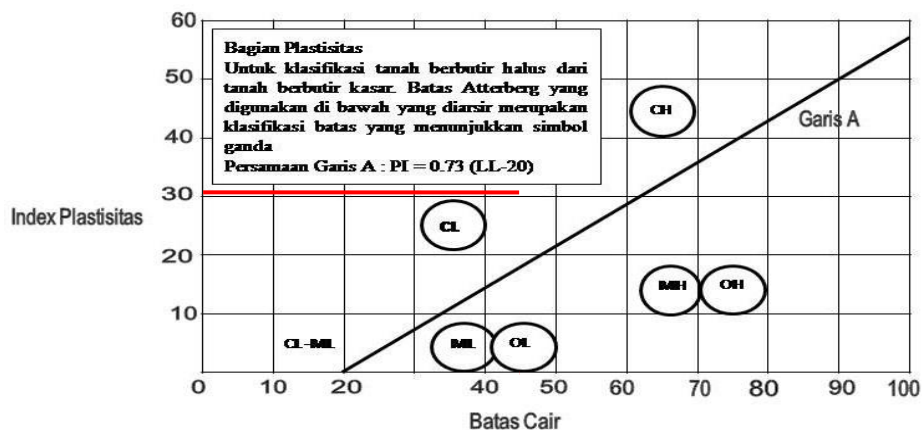
No.	Pengujian	Hasil
1.	Kadar Air (<i>Water Content</i>)	15,91 %
2.	BeratJenis(<i>Specific Gravity</i>)	2,65 %
3.	Batas Cair(<i>Liquid Limit</i>)	50,49 %
4.	Batas Plastis(<i>Plastic Limit</i>)	28,45 %

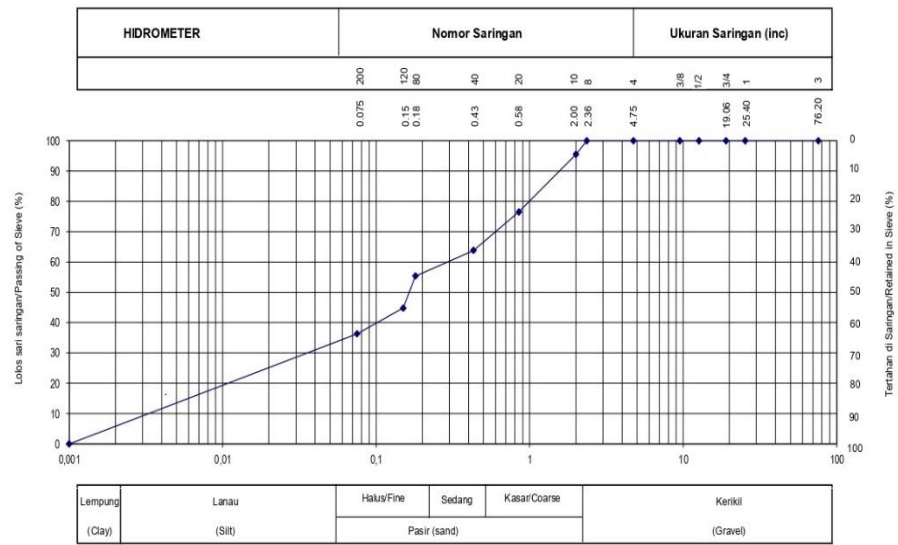
5.	Indeks Plastisitas(<i>Plasticity Index</i>)	22,14 %
6.	Persen Lolos Saringan No 200	36,29 %

Dari data di atas, berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO dimana diperoleh data berupa persentase tanah lolos ayakan no. 200 sebesar 36,29% dan nilai Batas Cair (*Liquid Limit*) sebesar 50,49% maka sampel tanah memenuhi persyaratan minimal lolosayakan no. 200 sebesar 36%, memiliki Batas Cair (*Liquid Limit*) ≥ 41 dan Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) > 11 , sehingga tanah sampel dapat diklasifikasikan dalam jenis tanah A-7-6.

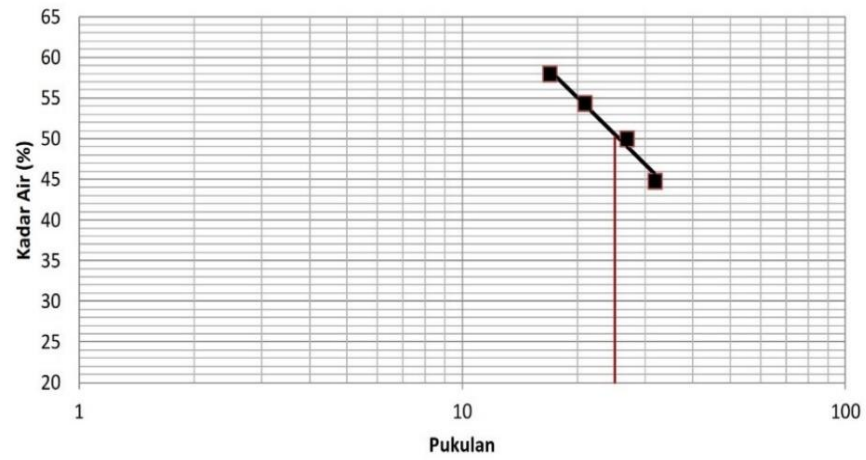
Menurut sistem klasifikasi USCS, dimana diperoleh data berupa nilai Indeks Plastisitas sebesar 30,30% dan nilai Batas Cair (*Liquid Limit*) sebesar 45,49% sehingga dilakukan plot pada grafik penentuan klasifikasi tanah yaitu yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dari hasil plot diperoleh tanah termasuk dalam kelompok CL yaitu lempungan organik dengan plastisitas rendah sampai sedang.

Gambar 4.1 Plot grafik klasifikasi USC





Gambar 4.2 Grafik analisa saringan



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

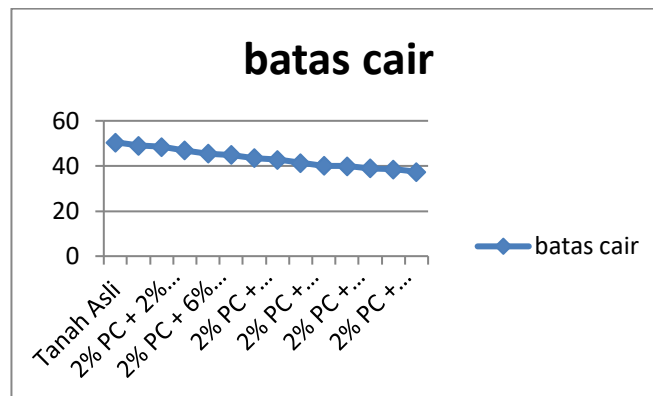
4.2.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah dengan Bahan Stabilisator

Tabel 4.3 Data Hasil Uji *Atterberg Limit*

Sampel	Batas - batas <i>Atterberg</i>		
	LL	PL	PI
Tanah Asli	50.49	28.35	22.14
2% Portland Cement , 14 hari	49.09	24.48	24.61
2% PC + 2% AGV , 14 hari	48.46	20.05	28.41
2% PC + 4% AGV , 14 hari	46.93	20.96	25.97
2% PC + 6% AGV , 14 hari	45.41	22.36	23.04
2% PC + 8% AGV , 14 hari	44.95	24.87	20.08
2% PC + 10% AGV , 14 hari	43.56	25.49	18.07
2% PC + 12% AGV , 14 hari	42.85	27.03	15.82
2% PC + 14% AGV , 14 hari	41.33	26.12	15.21
2% PC + 16% AGV , 14 hari	40.12	26.12	14.00
2% PC + 18% AGV , 14 hari	39.90	26.16	13.74
2% PC + 20% AGV , 14 hari	39.02	25.67	13.35
2% PC + 22% AGV , 14 hari	38.57	25.24	13.13
2% PC + 24% AGV , 14 hari	37.46	25.72	11.83

Hasil pengujian sifat fisik tanah yang telah dicampur dengan bahan semen dan abu gunung vulkanik ditunjukkan pada Tabel 4.3. Grafik hubungan antara nilai Batas Cair (LL) dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.5, hubungan antara nilai Batas Plastis (PL) dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.6, dan hubungan antara nilai Indeks Plastisitas (IP) dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.7.

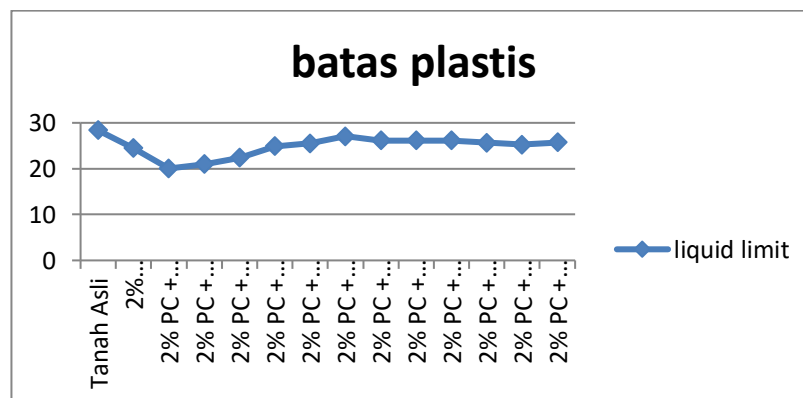
4.2.2.1 Batas Cair (*LiquidLimit*)



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Nilai Batas Cair (LL) dengan Variasi Campuran PC dan AGV

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa Batas Cair akibat penambahan bahanstabilisasi semen dan abu gunung vulkanik cenderung mengalami penurunan. Semakin besar persentase abu gunung vulkanik, maka semakin kecil batas cairnya. Pada tanah asli batas cair mencapai 50,49% sedangkan nilai batas cair terendah pada penambahan 2% semen dan abu gunung vulkanik 24% sebesar 37,46%. Hal ini disebabkan tanah mengalami proses sementasi oleh semen dan abu gunung vulkanik sehingga tanah menjadi butiran yang lebih besar yang menjadikan gaya tarik menarik antar partikel dalam tanah menurun.

4.2.2.2 Batas Plastis (*PlasticLimit*)



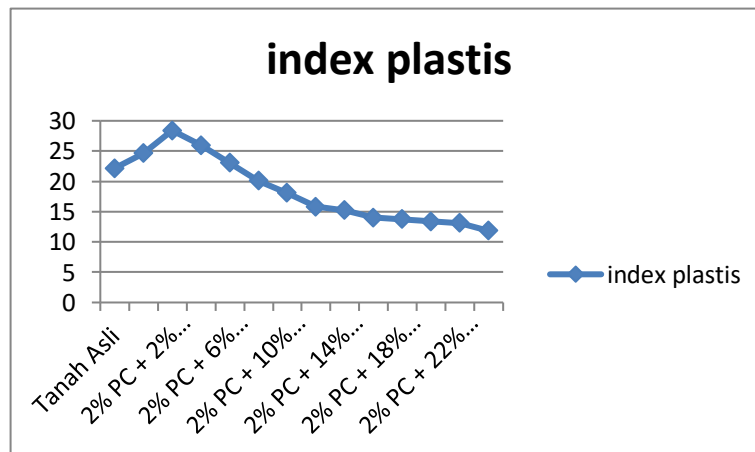
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Nilai Batas Plastis

(PL) dengan Variasi Campuran PC dan AGV dengan Waktu
Pemeraman Selama 14 hari

Pada Gambar 4.6 memperlihatkan terjadinya penurunan nilai Batas Plastis akibat penambahan bahan stabilisasi. Nilai Batas Plastis (PL) tanah ditambah 2% semen lebih besar dibandingkan tanah asli. Nilai Batas Plastis tanah asli menunjukkan 15,19 dan pada penambahan abugunung Sinabung 24% menunjukkan nilai sebesar 37,46%. Nilai Batas Plastis pada tanah dengan penambahan bahan stabilitas cenderung konstan.

4.2.2.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Pada Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa dengan penambahan bahan stabilisasi maka nilai indeks plastisitas akan menurun. Hal ini disebabkan oleh menurunnya nilai Batas Cair dan Batas Plastis. Penurunan nilai Batas Cair lebih signifikan dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada Batas Plastis, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan Indeks Plastisitas.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Nilai Indeks Plastis (IP) dengan Variasi
Campuran PC dan AGV dengan Waktu Pemeraman
Selama 14 hari

4.3 PENGUJIAN SIFAT MEKANISTANAH

4.3.1 Pengujian Pemadatan Tanah (*Compaction*)

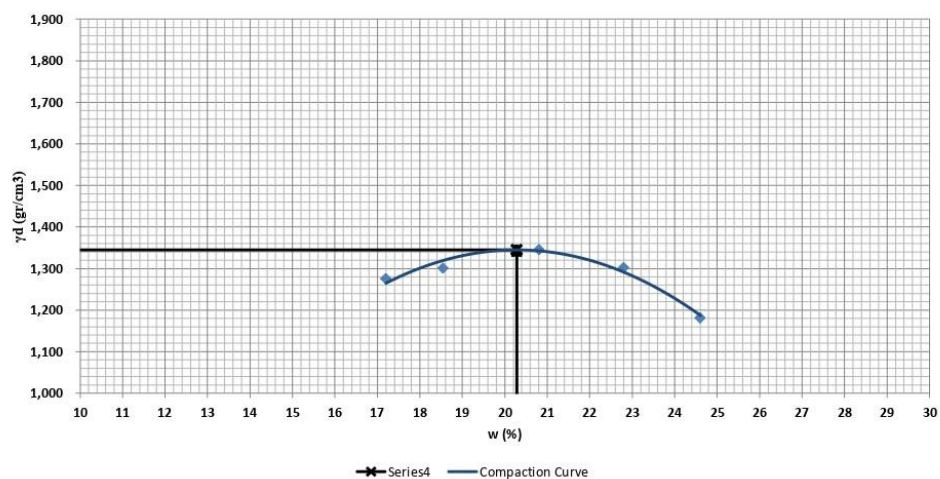
Dalam pengujian ini diperoleh hubungan antara Kadar Air Optimum dan Berat Isi Kering maksimum. Dalam hal ini peneliti menggunakan metode pengujian dengan uji pemadatan *Proctor Standard*. Dimana alat yang digunakan diantaranya:

- *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.

Hasil Uji Pemadatan *Proctor Standard* ditampilkan pada Tabel 4.4 dan kurva pemadatan ditampilkan pada Gambar 4.8.

Tabel 4.4 Data Uji Pemadatan Tanah

No	Hasil pengujian	Nilai
1	Kadar Air Optimum	20,28 %
2	Berat Isi Kering Maksimum	1,345 gr/cm ³



Gambar 4.8 Kurva Kepadatan Tanah

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

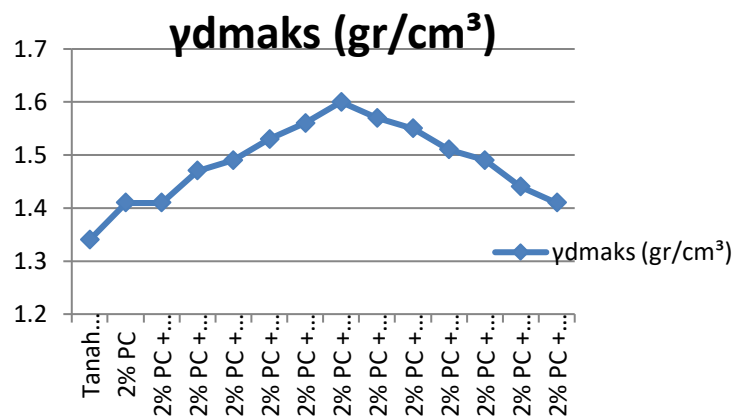
Hasil pengujian sifat mekanis tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisator berupa semen dan abu gunung vulkanik ditunjukkan pada Tabel 4.5. dan hubungan antara nilai Berat Isi Kering dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.9 serta hubungan Kadar Air Optimum dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Tabel 4.5 Data Hasil Uji *Compaction*

Sampel	γ_{dmax} (gr/cm ³)	W _{opt} (%)
Tanah Asli	1,34	20,28
2% PC	1,41	20,18
2% PC + 2% AGV	1,41	19,79
2% PC + 4% AGV	1,47	18,84
2% PC + 6% AGV	1,49	18,35
2% PC + 8% AGV	1,53	17,97
2% PC + 10% AGV	1,56	17,47
2% PC + 12% AGV	1,60	16,95
2% PC + 14% AGV	1,57	17,12
2% PC + 16% AGV	1,55	17,64
2% PC + 18% AGV	1,51	18,16
2% PC + 20% AGV	1,49	18,64
2% PC + 22% AGV	1,44	19,24
2% PC + 24% AGV	1,41	19,03

4321 Berat Isi Kering Maksimum (γ_{dmaks})

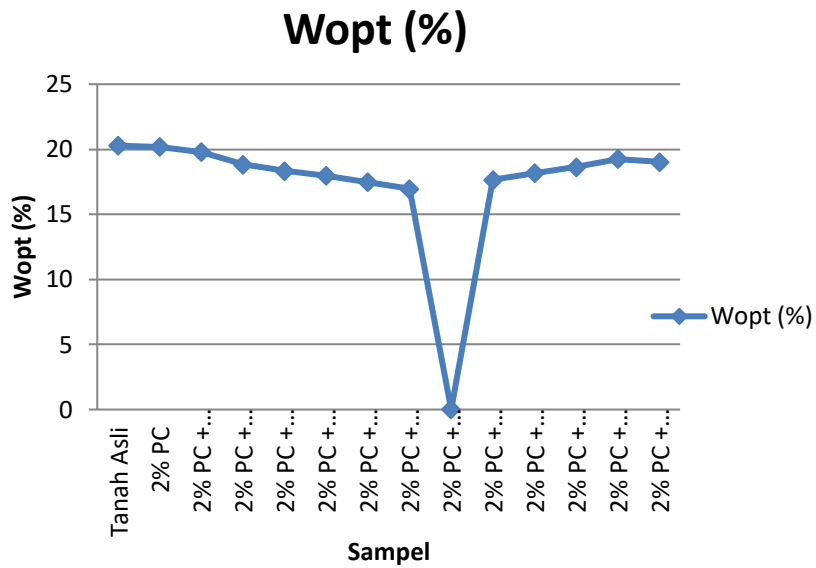
Dari hasil Uji Pematatan tanah yang telah dilakukan pada tanah asli diperoleh nilai Berat Isi Kering tanah sebesar $1,60 \text{ gr/cm}^3$. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa dengan penambahan abu gunung vulkanik nilai Berat Isi Kering maksimum cenderung meningkat. Hal ini disebabkan adanya semen dan abu gunung vulkanik yang berfungsi sebagai filler dan mengisi rongga-rongga di antara butiran tanah sehingga air tidak dapat masuk kedalamnya. Kepadatan maksimum terbesar terjadi pada kadar abu gunung vulkanik sebesar 24%.



Gambar 4.9 grafik berat isi maksimum

4322 Kadar Air Maksimum Campuran

Hasil Kadar Air Optimum dari percobaan yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.4 diketahui bahwa nilai Kadar Air Optimum tanah asli yaitu 20,73% dan Gambar 4.9 menunjukkan nilai Kadar Air Optimum cenderung mengalami peningkatan yang disebabkan oleh absorpsi dari bahan stabilisitas.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Antara Kadar Air Optimum tanah (w_{opt}) dan variasi campuran dengan waktu pemeraman selama 14 hari.

4.3.3 Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Dalam pengujian ini akan diperoleh hubungan antara nilai Kuat Tekan Bebas tanah (q_u) pada tanah asli dan tanah *remoulded* (buatan) serta nilai Kuat Tekan Bebas tanah (q_u) pada tiap variasi tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi semen dan abu gunung vulkanik dengan waktu pemeraman selama 14 hari. Selanjutnya dari hasil nilai q_u diperoleh nilai kohesi (c_u) yaitu sebesar $1/2 q_u$.

Hasil pengujian Kuat Tekan Bebas yang dilakukan pada setiap variasi campuran ditunjukkan pada Tabel 4.5. Pada Gambar 4.11 ditunjukkan perbandingan nilai kuat tekan tanah (q_u) antara tanah asli dengan tanah *remoulded* dan pada Gambar 4.12 ditunjukkan nilai kuat tekan tanah (q_u) yang diperoleh di setiap variasi campuran.

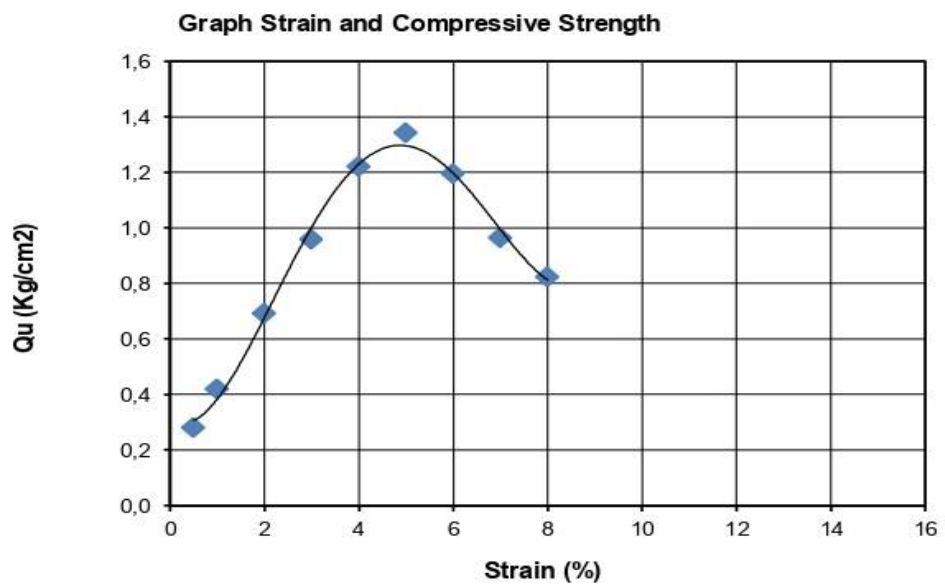
Tabel 4.6 Data Hasil Uji Kuat Tekan Bebas 2% PC dengan berbagai variasi penambahan AGV

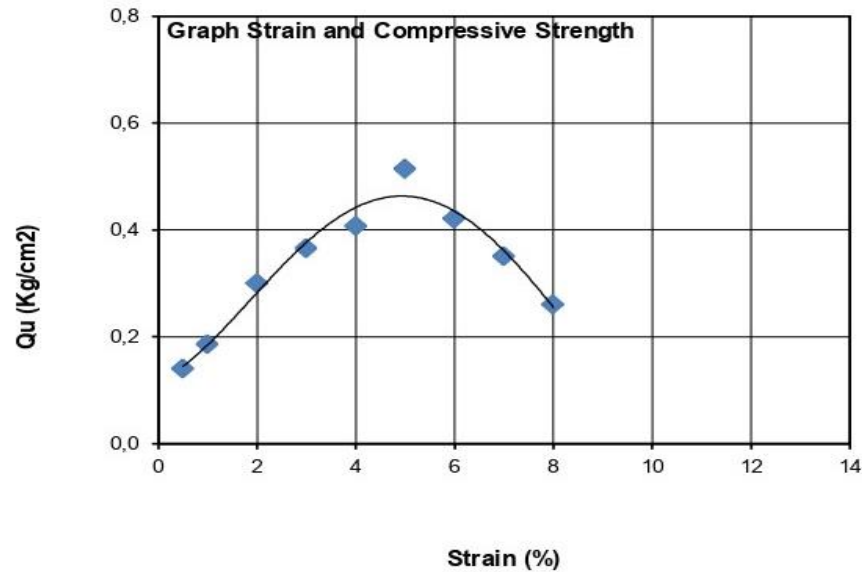
Sampel	q_u (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)
Tanah Asli	1,34	0,67
Remoulded	0,51	0,25
2% Portland Cement	1,50	0,75
2% PC + 2% AGV	1,57	0,78
2% PC + 4% AGV	1,59	0,79
2% PC + 6% AGV	1,61	0,80
2% PC + 8% AGV	1,63	0,81
2% PC + 10% AGV	1,66	0,83
2% PC + 12% AGV	1,68	0,84
2% PC + 14% AGV	1,70	0,85
2% PC + 16% AGV	1,72	0,86
2% PC + 18% AGV	1,74	0,87
2% PC + 20% AGV	1,77	0,88
2% PC + 22% AGV	1,86	0,93
2% PC + 24% AGV	1,92	0,96

Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan waktu yang terbatas diambil nilai kadar abu gunung vulkanik sebesar 24% sebagai kadar abu maksimal dengan nilai $q_u = 1,92$ kg/cm².

Tabel 4.6 Perbandingan Antara Kuat Tekan Tanah Asli dan Tanah *remoulded*

Strain (%)	Tanah asli q_u (kg/cm ²)	Tanah <i>remoulded</i> q_u (kg/cm ²)
0,5	0,28	0,14
1	0,42	0,18
2	0,69	0,30
3	0,96	0,36
4	1,22	0,40
5	1,34	0,51
6	1,19	0,42
7	0,96	0,35
8	0,82	0,26





Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan Tanah (q_u) dengan Regangan (*Strain*) yang diberikan pada sampel tanah asli dan tanah *remoulded*.

Dari hasil percobaan diperoleh nilai Kuat Tekan tanah pada tanah asli adalah sebesar 1,34 kg/cm², sedangkan pada tanah *remoulded* diperoleh sebesar 0,51 kg/cm². Gambar 4.12 memperlihatkan perbandingan besar nilai Kuat Tekan tanah (q_u) dengan penambahan 2% PC dengan kadar variasi penambahan AGV. Dari hasil percobaan pada kadar 2% - 24% AGV mengalami peningkatan nilai Kuat Tekan tanah. Terjadinya kenaikan Kuat Tekan tanah ini dikarenakan adanya absorpsi air oleh semen dan reaksi pertukaran ion dan membentuk kalsium silikat dan kalsium aluminat yang mengakibatkan kekuatan tanah meningkat. Adanya reaksi *pozolan* membuat partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik. Reaksi antara silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang membentuk kalsium silikat hidrat seperti: tobermorit, kalsium aluminat hidrat 4CaO.Al₂O₃.12H₂O dan gehlenit hidrat 2CaO.Al₂O₃.SiO₂.6H₂O yang tidak larut dalam air. Pembentukan senyawa-senyawa ini berlangsung lambat dan menyebabkan tanah menjadi lebih keras, lebih padat dan lebih stabil. Begitu pula dengan abu gunung vulkanik yang mengandung unsur kimia seperti Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO dan MgO akan

diserap oleh Permukaan butiran lempung yang memiliki kandungan yang berbentuk halus dan bermuatan negatif. Ion positif seperti ion hydrogen (H^+), ion sodium (Na^+), dan ion kalium (K^+), serta air yang berpolarisasi, semuanya melekat pada permukaan butiran lempung. Jadi, permukaan butiran lempung tadi kehilangan kekuatan tolaknya (*repulsion force*), dan terjadilah kohesi pada butiran itu sehingga berakibat kenaikan kekuatan konsistensi tanah tersebut.

Dengan penambahan 2% PC memiliki nilai Kuat Tekan maksimal pada kadar abu vulkanik 24% yakni sebesar 1,92 kg/cm². Ini menggambarkan bahwa bahan stabilisasi yang mengandung silika dapat meningkatkan nilai Kuat Tekan (q_u) akan tetapi apabila jumlah kadar bahan stabilisasi tinggi atau berlebih justru akan menyebabkan penurunan nilai Kuat Tekan (q_u), ini dikarenakan jumlah material stabilisator yang mengikat butiran tanah berlebih.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh campuran semen portland tipe I dan abu gunung vulkanik terhadap tanah lempung, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan klasifikasi USCS, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis CL (*Clay – Low Plasticity*) yaitu lempungan organik dengan plastisitas rendah sampai sedang.
2. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis A-7-6.
3. Dari hasil uji *Water Content* didapat bahwa nilai kadar air tanah asli sebesar 15,91%.
4. Dari hasil uji *Specific Gravity* didapat bahwa nilai berat spesifik tanah yaitu sebesar 2,65 dan berat spesifik abu vulkanik 2,62.
5. Dari uji *Atterberg* pada tanah asli diperoleh nilai *Liquid Limit* sebesar 50,49% dan indeks plastisitas (IP) sebesar 22,14%.
6. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan diketahui bahwa dengan penambahan 2% PC + 24% AGV, memiliki indeks plastisitas (IP) yang paling rendah yakni 11,83%. Dengan nilai *Liquid Limit* sebesar 37,46%.
7. Hasil uji *Proctor Standard* menghasilkan nilai kadar air optimum tanah sebesar 20,28% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,345 gr/cm³, sedangkan dari hasil percobaan didapat nilai berat isi maksimum yaitu sebesar 1,60gr/cm³ dengan variasi 2% PC + 24% AGV dengan waktu pemeraman selama 14 hari.
8. Dari uji *Unconfined Compression Test* yang dilakukan pada tanah asli diperoleh nilai kuat tekan tanah (q_u) sebesar 1,34 kg/cm², sedangkan pada tanah *remoulded* diperoleh nilai kuat tekan tanah (q_u)

) sebesar 0,51kg/cm².

9. Dari hasil penelitian yang dilakukan penambahan 2% PC + 24% AGV memiliki nilai kuat tekan tanah (q_u) yang paling besar yakni 1,92kg/cm².
10. Dari pengujian yang dilakukan, penambahan campuran semen Portland tipe 1 dan abu vulkanik gunung Sinabung memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap stabilisasi tanah lempung dengan uji Kuat Tekan yang dilakukan, akan tetapi dengan penambahan campuran yang dilakukan tidak menjamin membuat nilai Kuat Tekan (q_u) akan selalu meningkatkan. Ini dikarenakan waktu penelitian yang cukup singkat dan terbatas disebabkan oleh pandemic Covid-19. Dibutuhkan waktu yang cukup lama dan benda uji lebih banyak untuk dapat melihat penurunan daya dukung tanah menggunakan bahan stabilisator.

5.2 SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi waktu pemeraman yang berbeda.
2. Bagi para peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian perkuatan tanah dengan menggunakan bahan stabilisator semen dan abu gunung vulkanik yang mampu menghasilkan nilai kuat tekan dengan jumlah variasi kadar 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 : Rizky Hardiansyah Harahap
TTL : Rantau Prapat, 07 Desember 1995
Hobby : Membaca
Telp/ WA : 0822-6432-1522
E-mail : rizkyhardiansyah911@gmail.com
Alamat : Perumahan Cemara Madina Blok E No. 8
Mandailing Natal
Jenis Kelamin : Pria
Agama : Islam
Tinggi Badan : 165 cm
Berat Badan : 60 kg

PENDIDIKAN

No	Nama Sekolah/ PT	Jurusan	Tahun Lulus	Ket Tempat
1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Teknik Sipil	2021	Medan
2	SMKN 1 Percut Sei Tuan	Teknik Bangunan	2013	Deli Serdang
3	SMPN 2 Panyabungan	-	2010	Panyabungan
4	SDN 076 Panyabungan	-	2007	Panyabungan

Demikian daftar riwayat hidup ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 20 November 2021
Hormat Saya,

Rizky Hardiansyah Harahap