

TUGAS AKHIR

PENGARUH CAMPURAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG



Disusun Oleh :

RIZKAN QADAR

4516 041 111

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

2023



UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

Jln. Urip Sumoharjo Km.4
Telp.(0411) 452901 – 452789 Fax. 452949
MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar A-174/FT/UNIBOS/III/2023 tanggal 14 Februari 2023, perihal pengangkatan panitia dan tim penguji tugas akhir, maka pada:

Hari/Tanggal : Jum'at / 17 Februari 2023

Nama : **RIZKAN QADAR**

No.Stambuk : **45 16 041 111**

Judul Tugas Akhir : **“pengaruh campuran semen dan kapur terhadap kuat tekan dan kuat geser tanah lempung“**

Telah diterima dan disahkan oleh penitia tugas akhir fakultas Teknik universitas bosowa makassar setelah dipertahankan di depan tim penguji ujian sarjana strata satu (S-1) untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik pada jurusan Teknik sipil fakultas Teknik universitas bosowa makassar.

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua (Ex.Officio)	: Ir. Fauzy Lebang, ST. MT	(.....)
Sekretaris (Ex Officio)	: Dr. Ir. Suryani Syahrir, ST. MT	(.....)
Anggota	: Dr. Ir. H. Syahrul Sariman, ST. MT	(.....)
	Hj. Savitri Prasandi Mulyani, ST. MT	(.....)


Makassar, 17 Februari 2023

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Univ. Bosowa Makassar

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil
Univ Bosowa Makassar


Dr. Ir. H. Nasrullah ST. MT.
NIDN.09-0807-7301


Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT
NIDN. 09-04126502



LEMBAR PENGAJUAN UJIAN TUTUP
TUGAS AKHIR

Judul : "PENGARUH CAMPURAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP KUAT
TEKAN DAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG"

Disusun dan diajukan oleh :

Nama : **RIZKAN QADAR**

No.Stambuk : **45 16 041 111**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil
/ Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar

Telah disetujui oleh Komisi Pembimbing :

Pembimbing I : **Ir. Fauzy Lebang, S.T., M.T.** (.....)

Pembimbing II : **Dr. Suryani Syahrir, S.T., M.T.** (.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil


Dr. H. Nasrullah, ST., MT.
NIDN. 0908077301


Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT
NIDN. 09-041265-02

SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **RIZKAN QADAR**

Stambuk : **45 16 041 111**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Judul : **PENGARUH CAMPURAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG**

Mengatakan dengan sebenarnya bahwa

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan, dan menampilkan untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan Pihak Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, Februari 2023

Yang membuat pernyataan



RIZKAN QADAR

ABSTRAK

Tanah lempung adalah pertikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Tanah menimbulkan kerusakan pada bangunan seperti retaknya dinding, terangkatnya pondasi dan sebagainya. Semua tanah lempung yang mengandung mineral akan mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar, apabila terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya. Salah satu usaha perbaikan tanah lempung dengan cara menambahkan semen dan kapur sebagai bahan stabilisasi tanah dengan pengujian kuat tekan bebas dan kuat geser. Pada pengujian kuat tekan bebas nilai q_u tanah asli mengalami peningkatan setelah penambahan semen 0% + kapur 40% dan terus meningkat hingga penambahan semen 10% + kapur 30%, kemudian nilai q_u mengalami penurunan saat penambahan semen 20% + kapur 20%, semen 30% + kapur 10% dan semen 40% + kapur 0%, sedangkan pengujian kuat geser nilai kohesi tanah asli mengalami penurunan pada saat penambahan semen 0% + kapur 40%, semen 10% + kapur 30%, semen 20% + kapur 20%, dan semen 30% + kapur 10% kemudian mengalami kenaikan setelah penambahan semen 40% + kapur 0%. Pada kuat geser dan sudut geser sama- sama mengalami kenaikan pada saat penambahan semen 0% + kapur 40%, semen 10% + kapur 30%, dan semen 20% + kapur 20% juga mengalami penurunan setelah penambahan semen 30% + kapur 10% dan semen 40% + kapur 0%.

ABSTRACT

Clay soils are mineral particles smaller than 0.002 mm in size. The ground inflicts damage to buildings such as cracking of walls, lifting of foundations and so on. All clay soils containing minerals will have large expanding and shrinking properties, in the event of an increase or decrease in their moisture content. One of the efforts to improve clay soil is by adding cement and lime as soil stabilization materials using free compressive strength and shear strength tests. In the free compressive strength test, the q_u value of the original soil has increased after the addition of 0% lime cement to 40% and continues to increase until the addition of cement 10% lime 30%, then the q_u value decreases when the addition of cement is 20% lime 20%, cement 30% lime 10% and cement 40% lime 0%, while the shear strength test the original soil cohesion value decreases at the time of cement addition 0% lime 40%, cement 10% lime 30%, cement 20% lime 20%, and cement 30% lime 10% then increased after the addition of cement 40% lime 0%. The shear strength and shear angle both experienced an increase at the time of cement addition 0% lime 40%, cement 10% lime 30%, and cement 20% lime 20% also decreased after the addition of cement 30% lime 10% and cement 40% lime 0%.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya atas berkat dan Rahmat-Nya – Lah, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Campuran Semen Dan Kapur Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansi”** Tidak lupa kami mengucapkan terima kasih atas segala bimbingan dari Dosen – dosen Fakultas Teknik jurusan teknik sipil Universitas Bosowa Makassar. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuannya selama penyusunan hingga selesainya tugas akhir ini.

Kami menyadari sepenuhnya bahwa mungkin masih terdapat beberapa kekurangan dan kekeliruan dalam penyusunan tugas akhir ini, untuk itu kami mengharapkan saran yang bersifat rekonstruktif untuk menyempurnakan laporan ini.

Akhirnya kami berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

PENYUSUN

Rizkan Qadar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Lembar Pengajuan.....	iii
ABSTRAK	iv
Kata Pengantar	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Dan Manfaat Penelitian.....	I-3
1.3.1 Tujuan	I-3
1.3.2 Manfaat	I-4
1.4 Pokok Bahasan Dan Batasan Masalah	I-4
1.4.1 Pokok Bahasan.....	I-4
1.4.2 Batasan Masalah.....	I-5
1.5 Sistematika Penulisan.....	I-5

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1	Pengertian Tanah.....	II-1
2.2	Klasifikasi Tanah	II-1
2.2.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir	II-2
2.2.2	Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (American Association Of State Highway and Transporting Official)	II-8
2.3.3	Klasifikasi tanah <i>Unified</i> (USCS)	II-10
2.3	Stabilisasi Tanah.....	II-11
2.4	Pemadatan Tanah.....	II-12
2.5	Tanah Lempung	II-14
2.6	Tanah Lempung Ekspansif	II-18
2.7	Semen	II-19
2.7.1	Sifat-Sifat Semen	II-19
2.7.2	Jenis-Jenis Semen.....	II-22
2.8	Kapur.....	II-22
2.9	Sifat Fisis Tanah	II-23
2.9.1	Pengujian Kadar Air	II-23
2.9.2	Pengujian Berat Jenis	II-24
2.9.3	Pengujian Batas – Batas Atterberg.....	II-24
2.9.4	Pengujian Analisa Saringan.....	II-27
2.9.5	Pengujian Pemadatan.....	II-29
2.10	Sifat Mekanik Tanah	II-30
2.10.1	Pengujian Kuat Tekan Bebas	II-30

2.10.2 Pengujian Kuat Geser Langsung II-32

2.11 Penelitian Terdahulu II-33

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian III-1

3.2 Jenis Pengujian Material III-2

3.3 Variabel Penelitian III-2

3.4 Jumlah dan Notasi Sampel III-3

3.4.1 Jumlah Sampel Pengujian Kuat Geser Dan Kuat Tekan Bebas III-3

3.5 Metode Analisis III-3

3.5.1 Analisis Tanah Asli III-3

3.5.2 Analisis Pengaruh Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser
Tanah Ekspansif III-4

3.5.3 Analisis Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser
Tanah Ekspansif III-4

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Dasar Tanah Asli IV-1

4.2 Pembahasan Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Tanpa Bahan
Tambah IV-2

4.2.1 Kadar Air IV-2

4.2.2 Berat Jenis IV-2

4.2.3 Pengujian Batas – batas Atterberg IV-3

4.2.4 Analisa Gradasi Butiran IV-5

4.2.5 Penguian Kompaksi (Pemadatan) IV-8

4.3	Klasifikasi Tanah Asli	IV-9
4.3.1	AASHTO (<i>American Association Of State Highway And Transportation Officials</i>).....	IV-9
4.3.2	USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>)	IV-10
4.3.3	Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah	IV-11
4.3.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (<i>Unconfined Compression Test</i>).....	IV-11
4.3.5	Hasil Pengujian Kuat Geser	IV-15

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Rentang dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok tanah (Das, 1998)	II-9
Gambar 2.2 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS.....	II-11
Gambar 2.3 Prinsip umum pemadatan tanah (hubungan antara kadar air dengan berat volume).....	II-14
Gambar 2.4 Batas Konsistensi Tanah	II-25
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	III-1
Gambar 4.1 Grafik Aliran untuk Penentuan Batas Cair.....	IV-4
Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan	IV-6
Gambar 4.3 Grafik Pembagian Butir Analisa Hidrometer.....	IV-7
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Berat Isi Kering Dengan Variasi Kapur dan Semen	IV-8
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kadar Air Optimum Dengan Variasi Kapur dan Semen	IV-9
Gambar 4.6 Grafik Nilai q_u Optimum pada Variasi Semen dan Kapur	IV-12
Gambar 4.7 Grafik Gabungan Hasil Kuat Tekan Bebas.....	IV-13
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kohesi Terhadap Penambahan Semen dan Kapur Pada Tanah Ekspansif.....	IV-15
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Sudut Geser Terhadap Penambahan Semen dan Kapur Pada Tanah.....	IV-16

Gambar 4.10 Grafik hubungan Kuat Geser terhadap penambahan semen dan kapur pada tanah.....IV-17



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi berdasarkan ukuran butiran (Craig, 1991))	II-5
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO.....	II-7
Tabel 2.3 Sistem klasifikasi tanah <i>Unified</i> (Bowles, 1989)	II-10
Tabel 2.4 Hubungan Batas <i>Atterberg</i> dan Potensi Perubahan Volume.....	II-18
Tabel 2.5 Susunan Unsur Semen Biasa.....	II-19
Tabel 2.6 Senyawa Utama Semen Portland.....	II-20
Tabel 2.7 Jenis-jenis Semen Portland	II-22
Tabel 2.8 Susunan Saringan Berdasarkan ASTM	II-28
Tabel 3.1 Pengujian Karakteristik Tanah	III-2
Tabel 3.2 Jumlah Sampel Pengujian Kuat Geser dan Kuat Tekan Bebas.....	III-3
Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Tanpa Bahan	IV-1
Tabel 4.2. Pengujian Kadar Air Tanah Asli.....	IV-2
Tabel.4.3 Berat Jenis dan Beberapa Jenis Tanah.....	IV-3
Tabel 4.4 Batasan Mengenai P_I , Sifat, Macam Tanah dan Kohesi.....	IV-5
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas	IV-11
Tabel 4.6 Nilai q_u Gabungan dari Pengujian Kuat Tekan Bebas	IV-13

Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat geser Langsung dengan variasi

Semen + Kapur.....IV-15



DAFTAR NOTASI

ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
Gs	Berat Jenis
IP	Indeks Plastisitas
LL	Batas Cair
Unsoaked	Tanpa Rendaman
USDA	<i>United State Departement of Aglicultural</i>
Va	Volume Udara
Vs	Volume Butiran Padat
Vw	Volume Air
W	Kadar Air
Ws	Berat Butiran Padat
Ww	Berat Air
γ_b	Berat Volume Basah
γ_d	Berat Volume Kering
γ_s	Berat Isis Butir
γ_w	Berat Isi Air

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut (Terzaghi, 1987) Tanah terdiri dari butiran-butiran hasil pelapukan massa batuan massive, dimana ukuran tiap butirnya dapat sebesar kerikil-pasir-lanau-lempung dan kontak antar butir tidak tersementasi termasuk bahan organik. Tanah juga terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air, dan bahan padat. Udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran (ruang ini disebut pori atau *voids*) sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara.

Menurut (Bowles & Hainim, 1986) Tanah lempung (clay) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesi.

Tanah menimbulkan kerusakan pada bangunan seperti retaknya dinding, terangkatnya pondasi, jalan bergelombang dan sebagainya. Semua tanah lempung yang mengandung mineral akan mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar, apabila terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya. Proses kembang tanah lempung dipengaruhi oleh faktor lingkungan, di antaranya faktor perbedaan iklim, curah hujan, sistem drainasi dan fluktuasi muka air tanah.

Salah satu cara yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah menstabilkan tanah dengan meningkatkan daya dukung

tanah asli. Menurut Ingles dan Metcalf, salah satu cara stabilisasi tanah ekspansif yang efektif adalah dengan menambahkan bahan kimia tertentu atau variasi lainnya. Penambahan variasi pada tanah lempung dapat mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut lempung ekspansif. Alternatif yang dilakukan untuk perbaikan tanah lempung agar lebih stabil yaitu dengan penambahan kapur dan semen.

(Sudjipto, 2006) Semen merupakan salah satu bahan stabilisasi yang mudah diperoleh dan efektif. Semen memiliki kemampuan mengeras dan mengikat partikel yang sangat bermanfaat untuk mendapatkan suatu masa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi.

Kapur telah banyak diteliti dalam pemanfaatannya sebagai bahan untuk perbaikan tanah, dan hasilnya dapat meningkatkan daya dukung tanah. Kapur memiliki sifat sebagai bahan ikat antara lain: sifat plastis baik (tidak getas), mudah dan cepat mengeras, workability baik dan mempunyai daya ikat baik untuk batu dan bata (Tjokrodinuljo, 1992). Bahan dasar kapur adalah batu kapur atau dolomit, yang mengandung senyawa kalsium karbonat. Untuk tujuan meningkatkan daya dukung tanah, bentuk kapur yang banyak digunakan adalah Kapur tohor (CaO) dan Kapur padam atau *Hydrated lime* [Ca(OH)_2].

Dari uraian di atas menjadi latar belakang untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait peningkatan daya dukung tanah terhadap tanah lempung dengan variasi semen dan kapur dan menuliskannya dalam bentuk tugas akhir.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat diambil masalah

yaitu:

- a. Bagaimana menentukan bahwa tanah yang diteliti adalah tanah lempung?
- b. Bagaimana pengaruh semen dan kapur terhadap peningkatan kuat tekan tanah lempung?
- c. Bagaimana pengaruh semen dan kapur terhadap peningkatan kuat geser tanah lempung?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan :

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis bahwa tanah yang diteliti adalah tanah lempung,
2. Untuk menganalisis pengaruh penambahan semen dan kapur terhadap kuat tekan tanah lempung,
3. Untuk menganalisis pengaruh penambahan semen dan kapur terhadap kuat geser tanah lempung.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Meningkatkan kekuatan dan menjaga stabilitass volume tanah
- b. Sebagai kontribusi pengetahuan dalam bidang perbaikan tanah

- c. Dapat memberikan alternative lain dalam penggunaan bahan tambah untuk tanah lempung dengan semen dan kapur

1.4 Pokok Bahasan dan Batasan Masalah

1.4.1 Pokok Bahasan

- a. Melakukan pengujian terhadap tanah yang diuji untuk mengetahui bahwa tanah tersebut termasuk tanah lempung
- b. Mencampur tanah lempung dengan semen dan kapur
- c. Melakukan pengujian sifat-sifat mekanik (kuat tekan bebas dan kuat geser) tanah lempung yang telah ditambahkan semen dan kapur
- d. Menganalisis perbandingan kuat tekan bebas dan kuat geser tanah lempung tanpa penambahan semen dan kapur dengan yang ditambahkan semen dan kapur.

1.4.2 Batasan Masalah

Penulisan skripsi ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Tidak meneliti sifat kimia pada semen dan kapur
2. Penelitian yang dilakukan hanya menentukan pengaruh semen dan kapur terhadap kuat tekan bebas dan kuat geser tanah ekspansif.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab yang berurutan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan yang menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, ruang lingkup

penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori pendukung mengenai penelitian yang dilakukan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang bagan alur penelitian, bahan, lokasi, dan waktu penelitian, metode pengambilan sampel, persiapan bahan campuran dan pembuatan benda uji.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil rekapitulasi data, analisa rancangan campuran , hasil pengtesan benda uji serta pembahasan hasil penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup yang memberikan kesimpulan dan saran-saran yang diharapkan sesuai dengan tujuan dan manfaat penulisan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tanah

Tanah merupakan kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat tersebut diaduk dalam air atau kumpulan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*).

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida oksida yang mengendap diantara partikel partikel. Ruang diantara partikel partikel dapat berisi air, udara ,ataupun yang lainnya (Hardiyatmo,H.C.,1992).

Proses penghancuran tanah dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer atau perpecahan akibat pembekuan atau pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida (Wesley,1977).

Menurut (Selley,1988) tanah (*soil*) adalah suatu hasil pelapukan biologi dimana komposisinya terdiri atas komponen batuan dan humus yang umumnya berasal dari tumbuhan.

Pada awal mula terbentuknya tanah disebabkan oleh pelapukan batuan menjadi partikel partikel yang lebih kecil akibat proses mekanik dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan oleh perubahan panas dan dingin yang terus menerus (cuaca, matahari ,dll) dan juga akibat gerusan oleh aliran air yang akhirnya menyebabkan hancurnya batuan tersebut. Dalam proses pelapukan mekanis tidak terjadi perubahan susunan kimiawi dari mineral batuan tersebut. Pada proses pelapukan kimiawi batuan mineral induk diubah menjadi mineral mineral baru melalui reaksi kimia.

Kata tanah merujuk pada material yang tidak membatu, tidak termasuk batuan dasar yang terdiri dari butiran butira mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta bentuk dan ukuran, bahan organik, air dan gas yang bervariasi jadi tanah meliputi, Gambut, tanah organik, Lempung, Lanau, pasir dan kerikil atau campuran lainnya (Panduan Geoteknik 1, 2001 , dalam Soraya Putri Zainanda 2012).

. Ada berbagai macam jenis-jenis tanah untuk klasifikasi tanah dilapangan antara lain :

1. Pasir dan kerikil

Pasir dan kerikil yaitu agregat tak berkohesi yang tersusun dari regmin-regmin sub anguler atau angular. Partikel berukuran sampai 1/8

inchi dinamakan pasir sedangkan partikel yang berukuran 1/8 inchi sampai 6/8 inchi disebut kerikil. Fragmen bergaris tengah lebih besar dari 8 inchi disebut *boulders* (bongkah).

2. Hardpan

Hardpan merupakan tanah yang tahan terhadap penetrasi alat pemboran besar. Cirinya sebagian besar dijumpai dalam keadaan bergradasi baik, luar biasa padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

3. Lanau anorganik (*inorganic silt*)

Lanau anorganik merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimen, yang kadang-kadang disebut tepung batuan (*rockflour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis.

4. Lanau organik (*Organic silt*)

Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung H₂S, CO₂, serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedangkan kompresibilitasnya sangat tinggi.

5. Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan . Permeabilitas lempung sangat rendah.

6. Lempung Organik

Tanah lempung organik merupakan lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi adanya bahan organik yang terpisah dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kopresibel tapi pada keadaan kering kekuatannya sangat tinggi. Warnanya abu-abu tua atau hitam, dan berbau.

7. Gambut (*peat*)

Tanah gambut merupakan agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya coklat terang dan hitam bersifat kompresibel, sehingga tidak mungkin menopang pondasi.

2.2. Klasifikasi Tanah

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

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

Menurut Verhoef (1994), tanah dapat dibagi dalam tiga kelompok:

1. Tanah berbutir kasar (pasir, kerikil)
2. Tanah berbutir halus (lanau, lempung)
3. Tanah campuran

Perbedaan antara pasir/kerikil dan lanau/lempung dapat diketahui dari sifat-sifat material tersebut. Lanau/lempung sering kali terbukti kohesif (saling mengikat) sedangkan material yang berbutir (pasir, kerikil) adalah tidak kohesif (tidak saling mengikat). Struktur dari tanah yang tidak berkohesi ditentukan oleh cara penumpukan butir (kerangka butiran).

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah antara lain:

2.2.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Ukuran butir merupakan suatu metode yang jelas untuk mengklasifikasikan tanah dan kebanyakan usaha-usaha yang terdahulu untuk membuat sistem klasifikasi adalah berdasarkan ukuran butiran.

Tabel 2.1. Klasifikasi berdasarkan ukuran butiran (Craig, 1991)

Sistem Klasifikasi	Ukuran Butir (mm)						
	100	10	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
MIT	Kerikil		Pasir		Lanau		Lempung
		2		0,0			0,00
AASHTO	Kerikil		Pasir		Lanau		Lempung
		75	2		0,0		0,00
Unified	Kerikil		Pasir		Fraksi halus (Lanau Lempung)		
		75		4,75		0,075	

(sumber Craig, 1991)

2.2.2. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan system ini dalam prakteknya harus mempertimbangkan terhadap maksud aslinya. Menurut AASHTO tanah diklasifikasikan ke dalam 7 kelompok besar, yaitu A-1 sampai A-7. Tanah dengan klasifikasi A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir yang kurang dari 35% tanah tersebut lolos ayakan No.200. Tanah A-1 granuler yang bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler, tetapi masih terdiri atas lanau dan lempung. Tanah berbutir halus klasifikasi A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% dari butirannya lolos ayakan No. 200, tanah

tanah dalam kelompok ini biasanya merupakan jenis tanah lempung-lanau. Sistem klasifikasi tanah AASTHO disajikan yang mana berdasarkan kriteria sebagai berikut :

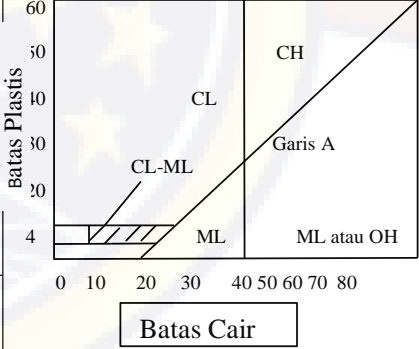
1) Ukuran Partikel

- a. Kerikil yaitu bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm
- b. Pasir yaitu bagian yang lolos ayakan dengan diameter 2mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,075 mm
- c. Lanau dan lempung yaitu bagian tanah yang lolos ayakan 0,075 mm

2) Plastisitas

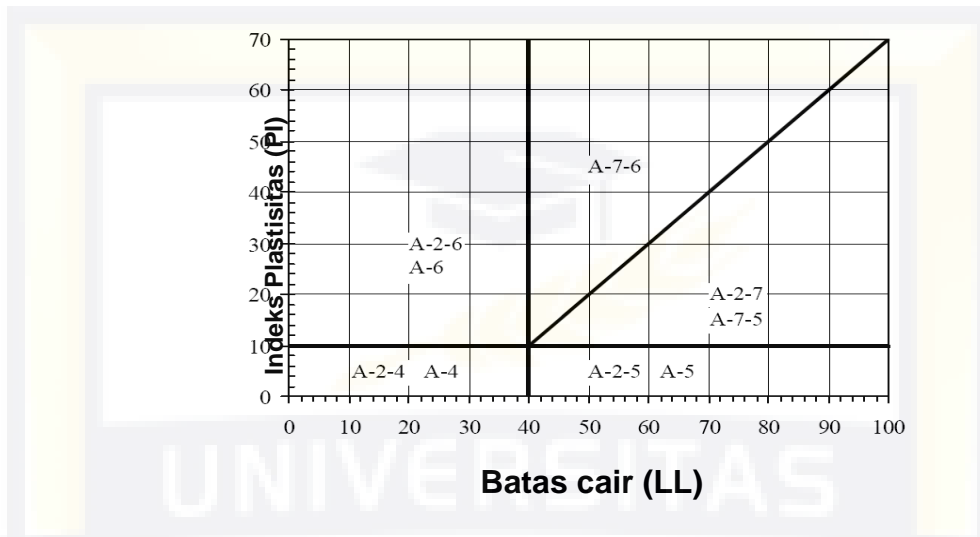
- a) Tanah berbutir halus digolongkan lanau bila memiliki indek plastisitas, $PI \leq 10$ dan dikategorikan sebagai lempung bila mempunyai indek plastisitas, PI

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi				
Tanah berbutir kasar= 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% = fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW				
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus					
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$			
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung				
	Pasir= 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW			
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus				
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung				
			Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair = 50%		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
						CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah							
Lanau dan lempung batas cair = 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis						
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)						
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi						
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488				

Sumber : (Hardiyatmo., 2010)

Kelompok tanah dapat dilihat berdasarkan hubungan indeks plastisitas dan batas cair seperti pada Gambar 2.1 Di bawah ini :



Gambar 2.1. Rentang dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok tanah (Das, 1998).

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan:

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

Dimana:

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persentase butiran lolos saringan no.200

LL = batas cair (*liquid limit*)

PI = indeks plastisitas

Bila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi maka semakin berkurang ketepatan penggunaan tanahnya untuk suatu konstruksi.

2.2.3. Klasifikasi tanah *Unified* (USCS)

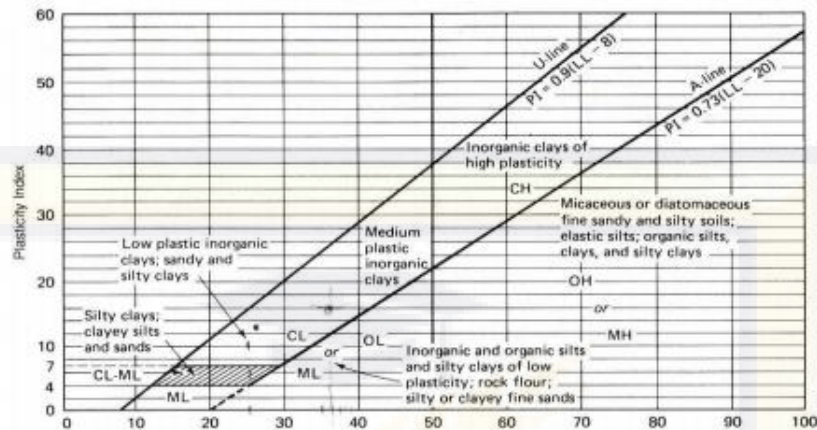
Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat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

Jenis Tanah	Prefiks	Sub kelompok	Sufiks
		Gradasi baik	W
Kerikil	G	Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	wL < 50%	L
Organik	O	wL < 50%	H
Gambut	Pt		

(Sumber : Bowles, 1989)

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi tanah *Unified* (Bowles, 1989)

Hubungan antara batas cair (LL) dengan indeks plastisitas (PI) berdasarkan system *Unified* ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah ini



Gambar 2.2 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS

2.3. Stabilisasi Tanah

Tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan sebagai timbunan dan apabila dapat digunakan akan sangat ekonomis. Namun tanah harus dipakai setelah melalui proses pengendalian mutu. Apabila tanah ditimbun secara sembarangan akan mengakibatkan stabilitas yang rendah dan penurunan yang sangat besar.

Tanah yang terdapat di lapangan memiliki sifat yang beraneka ragam. Sifat tanah yang sangat lepas dan sangat mudah tertekan, mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai atau permeabilitas yang terlalu tinggi perlu dilakukan stabilisasi sebelum dilakukannya pembangunan di atas tanah tersebut. Stabilisasi tanah merupakan suatu metode untuk memperbaiki sifat tanah agar sesuai untuk suatu proyek konstruksi.

Stabilisasi dapat terdiri dari tindakan-tindakan berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan

atau tahanan gesek yang timbul.

3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/ atau fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah.
5. Mengganti tanah yang buruk.

Usaha stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan salah satu cara atau kombinasi dari pekerjaan pekerjaan berikut (Bowles, 1991) :

1. Mekanis adalah pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan, dan sebagainya.
2. Bahan pencampur (*addtiver*) adalah penambahan bahan lain pada tanah. Bahan *additive* yang digunakan dapat berupa bahan kimiawi, seperti semen, abu batubara, aspal, sodium, kalsium klorida, atau limbah parbrik kertas dan lain-lain sedangkan bahan nonkimia yang biasa digunakan antara lain gamping atau kerikil.

Upaya stabilisasi tanah lempung sudah banyak dilakukan dengan stabilisator yang beraneka ragam seperti kapur, semen, kombinasi semen dan abu terbang, aspal, dan lain-lain.

2.4. Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel.

Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat

teknik tanah antara lain:

1. Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai θ dan C

(memperkuat tanah).

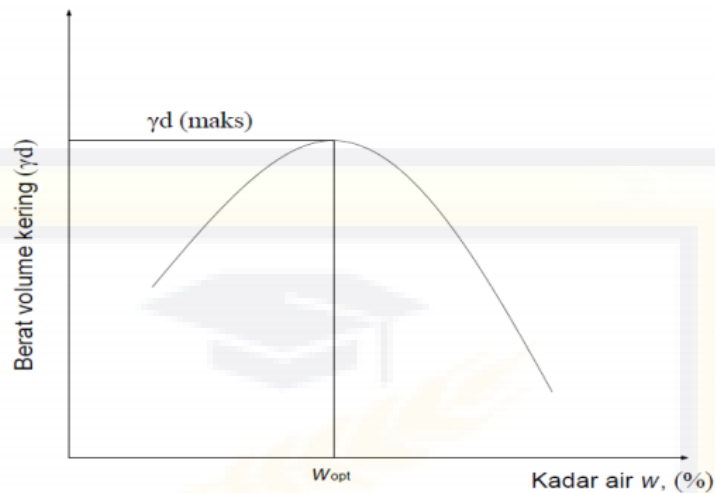
2. Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban.
3. Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai k.
4. Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pemadatan ini adalah:

1. Berkurangnya penurunan permukaan tanah.
2. Bertambahnya kekuatan tanah.
3. Penyusutan berkurang akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

Kerugian utamanya adalah adanya pemuaiian (bertambahnya kadar air dari) dan kemungkinan pembekuan tanah akan membesar.

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Kadar air mempunyai pengaruh yang besar terhadap tingkat kepadatan yang dapat dicapai oleh suatu tanah. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume seperti gambar berikut:



Gambar 2.3 Prinsip Umum Pemadatan Tanah (Hubungan Antara Kadar Air Dengan Berat Volume).

Berdasarkan tenaga pemadatan yang diberikan, pengujian *proctor* dibedakan menjadi 2 macam:

1. Proktor Standar.
2. Proktor Modifikasi.

2.5. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

Menurut DAS (1998), tanah lempung merupakan tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999) :

- a. Ukuran butir halus, yaitu kurang dari 0,002 mm.
- b. Permeabilitas rendah.
- c. Kenaikan air kapiler tinggi.
- d. Bersifat sangat kohesif.
- e. Kadar kembang susut yang tinggi.
- f. Proses konsolidasi lambat.

Lempung merupakan tanah berbutir halus koloidal yang tersusun dari mineral-mineral yang dapat mengembang. Tanah lempung memiliki sifat khusus yaitu kapasitas pertukaran ion yang tinggi yang mengakibatkan lempung memiliki potensi pengembangan yang cukup tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Tanah lempung mengembang ketika kadar air bertambah dari nilai referensinya. Sebaliknya, akan menyusut ketika kadar air berkurang dari nilai referensinya sampai batas susut. Dengan kata lain, lempung memiliki kepekaan yang sangat tinggi terhadap perubahan kadar air.

Berdasarkan ukurannya butirannya, tanah lempung merupakan golongan partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 yang terdiri dari mineral-mineral lempung yang berukuran kurang dari 2 μm . Jenis mineral lempung yang biasanya terdapat pada tanah lempung adalah:

a. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan anggota kelompok *kaolinite serpentin*, yaitu *hidrus alumino silikat* dengan rumus kimia $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$. Kekokohan sifat struktur dari partikel *kaolinite* menyebabkan sifat-sifat plastisitas dan daya pengembangan atau menyusut *kaolinite* menjadi rendah.

b. *Illite*

Illite dengan rumus kimia $K_y Al_2 (Fe_2 Mg_2 Mg_3) (Si_{4y} Al_y) O_{10} (OH)_2$ adalah mineral bermika yang sering dikenal sebagai *mika tanha* dan merupakan mika yang berukuran lempung. Istilah *illite* dipakai untuk tanah berbutir halus, sedangkan tanah berbutir kasar disebut *mika hidrus*.

c. *Montmorilonite*

Mineral ini memiliki potensi plastisitas dan mengembang atau menyusut yang tinggi sehingga bersifat plastis pada keadaan basah dan keras pada keadaan kering.

Hubungan antara sifat-sifat mineral lempung antara lain:

a. Hubungan antara plastisitas dan dehidrasi

Partikel lempung hampir selalu terhidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan- lapisan molekul air yang disebut air teradsorpsi (*adsorbed water*). Air tertarik ke lapisan dengan cukup kuat sehingga berperilaku lebih sebagai benda padat dari pada benda cair. Lapisan air ini dapat hilang pada temperature yang lebih tinggi dari 60°C sampai 100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah dari tanah. Sebagian air ini juga dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja. Pada umumnya, apabila

lapisan ganda mengalami dehidrasi pada temperature rendah, sifat plastisitasnya dapat dikembalikan lagi dengan mencampur air yang cukup dan dikeringkan (*curing*) selama 24 sampai 48 jam. Apabila dehidrasi terjadi pada temperature yang lebih tinggi, sifat plastisitasnya akan turun atau berkurang untuk selamanya. (Bowles, 1991).

b. Hubungan antara plastisitas dan fraksi lempung

Ketebalan air mengelilingi butiran tanah lempung tergantung dari macam mineralnya. Jadi dapat diharapkan plastisitas tanah lempung tergantung dari sifat mineral lempung yang ada pada butirannya dan jumlah mineralnya.

Berdasarkan pengujian laboratorium pada beberapa tanah diperoleh bahwa indeks plastisitas berbanding langsung dengan persen fraksi ukuran lempungnya (yaitu persen dari berat yang lebih kecil dari ukuran 0,002 mm).

c. Hubungan antara batas konsistensi dan potensi perubahan volume

Perubahan volume berhubungan langsung dengan batas susut dan sebagian berkaitan pula dengan batas plastis dan batas cair. Tabel 5 memberikan hubungan kasar yang telah dijumpai dan cukup dapat diandalkan untuk meramalkan terjadinya perubahan volume. (Bowles, 1991).

Tabel 2.4 Hubungan batas *Atterberg* dan potensi perubahan volume.

Potensi Perubahan Volume	Indeks plastisitas		Batas susut w_s
	Daerah kering	Daerah lembab	
Kecil	0 – 15	0 – 30	> 12
Sedang	15 – 30	30 – 50	10 – 12
Tinggi	>30	>50	<10

2.6. Semen

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi satu massa yang padat. Meskipun definisi ini dapat diterapkan untuk banyak jenis bahan, semen yang dimaksudkan untuk konstruksi beton adalah bahan jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidraulis. Hidraulis berarti semen bereaksi dengan air dan membentuk suatu bahan massa.

2.6.1. Sifat-Sifat Semen

- **Susunan Kimia Semen**

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi, maka bahan-bahan itu menjadi unsur-unsur pokok semennya.

Tabel 2.5 Susunan Unsur semen biasa

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, yang merupakan oksida dominan. Sedangkan oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO, SO₃, Na₂O dan K₂O.

Keempat oksida utama tersebut diatas di dalam semen berupa

senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF , dengan mempunyai perbandingan tertentu pada setiap produk semen, tergantung pada komposisi bahan bakunya.

Tabel 2.6 Senyawa utama semen Portland.

Nama senyawa	Rumus empiris	Rumus oksida	Notasi pendek	Rata-rata (%)
Tricalcium silikat	Ca_3SiO_5	$3CaO.SiO_2$	C_3S	50
<i>Dicalcium silikat</i>	Ca_2SiO_4	$2CaO.SiO_2$	C_2S	25
<i>Tricalcium aluminat</i>	$Ca_3Al_2O_6$	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	12
<i>Tetracalcium aluminoferrit</i>	Ca_2AlFeO_3	$4CaO.Al_2O_3Fe_2O_3$	C_4AF	8
<i>Calcium sulfat dihidrat</i>		$CaSO_4.2H_2O$	CSH_2	3,5

Sumber : Teknologi Beton; Kardiyono Tjokrodimulyoo. 1994

- **Hidrasi semen**

Bila semen bersentuhan dengan air, maka proses hidrasi berlangsung dalam arah keluar dan arah ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi dibagian dalam secara bertahap akan terhidrasi, sehingga volume mengecil.

- **Kekuatan semen**

Semen bila terkena air akan berubah menjadi keras seperti batu. Oleh karena itu sangat perlu diperhatikan perbandingan antara air dan semen atau faktor air semennya, karena faktor ini akan berpengaruh terhadap kekuatan beton. Bila kurang semen dan terlalu banyak air akan menyebabkan segregation dan bleeding, selain itu perbandingan yang

tepat antara semen dan air berpengaruh dalam kemudahan pekerjaan.

- **Sifat fisik semen**

Sifat fisik dari semen adalah bahan berbutir halus yang lolos ayakan 2 μm dan mempunyai berat jenis antara 3 sampai 3,15 gr/cm^3 .

- **Sifat kimia semen**

Semen mengandung C_3S dan C_2S sebesar 70% sampai dengan 80%. Unsur- unsur ini merupakan unsur paling dominan dalam memberikan sifat semen. C_3S segera mulai berhidrasi bila semen terkena air secara eksotermis. Berpengaruh besar terhadap pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Membutuhkan air 24 % dari beratnya. C_2S bereaksi dengan air lebih lambat dan hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. Unsur ini membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan mengurangi penyusutan karena pengeringan. Membutuhkan air 21% dari beratnya. C_3A berhidrasi secara eksotermis, bereaksi secara cepat dan memberikan kekuatan sesudah 24 jam. Membutuhkan air 40% dari beratnya. Semen yang mengandung unsur ini lebih dari 10% kurang tahan terhadap serangan sulfat. C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap pengerasan beton.

2.6.2. Jenis-Jenis Semen

Dalam pedoman beto 1989 disyaratkan bahwa semen portland untuk pembuatan beton harus merupakan jenis yang memenuhi syarat SII 0013-81"Mutu dan uji semen" yang klasifikasinya tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.7 Jenis-jenis Semen Portland

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis I	Semen portland yang digunakan untuk tujuan umum.
Jenis II	Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
Jenis III	Semen portland yang penggunaannya memerlukan persyaratan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
Jenis IV	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah
Jenis V	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut ketahanan yang kuat terhadap sulfat.

Sumber : *Teknologi Beton; Kardiyono Tjokrodimulyoo. 1994*

2.7. Kapur

Kapur adalah material yang berasal dari batuan sedimen berwarna putih dan halus yang terutama tersusun dari mineral kalsium. Tiga senyawa utama yang mewujudkan kapur adalah kalsium karbonat (mendominasi gamping dan kapur tambang), kalsium oksida (penyusun utama kapur tohor), dan kalsium hidroksida (yang mendominasi kapur mati). Kapur yang ditemukan di alam juga dapat tercampur dengan mineral magnesium. Kapur yang demikian ini dinamakan dolomit.

Dalam banyak kejadian, pembentukan kapur terjadi di laut, ketika organisme laut purba yang memiliki cangkang berkalsium mati dan sisa-sisa jasadnya (cangkang maupun kerangka luar (*eksoskeleton*) bertumpuk dan perlahan-lahan membentuk lapisan endapan. Setelah berjuta tahun, lapisan ini menjadi batuan melalui proses geologi.

Kapur adalah bahan yang sangat bermanfaat dalam berbagai aktivitas manusia dan relatif murah. Pemanfaatan terbanyak adalah di bidang bangunan dan pertanian. Kapur menjadi bagian dari campuran

semen karena memiliki sifat merekatkan dan mengubah penampilan. Sebagai salah satu kapur pertanian, kapur berguna dalam menyediakan unsur kalsium dan memperbaiki kemasaman tanah.

2.8. Sifat Fisis Tanah

2.8.1. Pengujian kadar air

Kadar air suatu tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butir tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Berikut rumus perhitungan kadar air (SNI 1965-2008) :

$$w = \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

w = Kadar air (%)

Ww = Berat Air

Ws = Berat Butiran

2.8.2. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air suling dengannya yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis dari suatu tanah menandakan bahwa berat tanah tersebut dibandingkan dengan volumenya. Faktor yang mempengaruhi berat jenis tanah adalah tekstur tanah dan bahan organik tanah. Berikut rumus perhitungan berat jenis (SNI 1964-2008):

$$G_s = \frac{W_s/V_s}{W_w/V_w} = \frac{W_s}{V_s} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$G_s = \frac{W_2/W_1}{(W_4-W_1)-(W_3-W_2)} \sigma \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

V_s = volume butiran padat

G_s = Berat jenis

W_1 = Berat piknometer kosong (gr)

W_2 = Berat piknometer + tanah kering (gr)

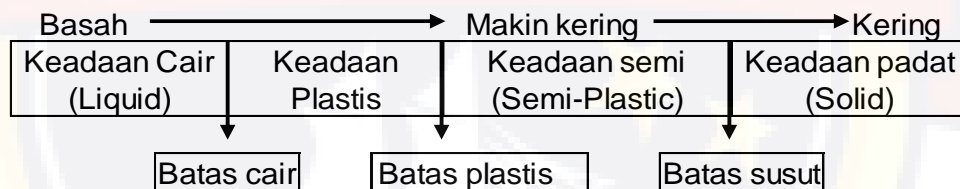
W_3 = Berat piknometer + tanah + air suling (gr)

W_4 = Berat piknometer + air suling (gr)

2.8.3. Pengujian Batas – Batas Atterberg

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, batas susut (Zahra, 2017).

Batas konsistensi tanah ini didasarkan kepada kadar air yaitu:



(Sumber : Wesley, L.D, 1977, Mekanika Tanah, Hal 10)

Gambar 2.4 Batas konsistensi tanah

Pengujian batas-batas Atterberg terbagi ke dalam 3 bagian :

a) Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair ditentukan berdasarkan perbandingan jumlah ketukan yang terjadi pada alat uji batas cair dengan kadar air rata-rata pada kurva aliran dimana jumlah ketukan 25. Untuk menentukan batas cair digunakan alat casagrande (SNI 1967-2008).

$$LL = WN(\%) \left(\frac{N}{25}\right) 0.121 \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

LL = Batas Cair (Liquid Limit)

wN = Kadar Air Tanah Asli Tiap Ketukan

N = Jumlah ketukan yang Dibutuhkan menutup goresan

b) Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis merupakan batas terendah dari kondisi plastis tanah. Batas plastis dapat ditentukan dengan pengujian yang sederhana dengan cara menggulung sejumlah tanah dengan menggunakan tanah secara berulang menjadi bentuk ellipsoidal (SNI 1966-2008).

$$PL = \frac{\text{Berat Basah}}{\text{Berat Tanah Kering}} (100) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$PL = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} (100) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

W1 = Berat Cawan Kosong

W2 = Berat Cawan + Tanah Basah

W3 = Berat Cawan + Tanah Kering

c) Batas Susut (SL)

(Darwis, 2018) Batas susut adalah nilai kadar air pada kedudukan antara zone semi padat dengan zone padat. Pada kondisi ini pengurangan kadar air dalam tanah tidak akan mempengaruhi lagi perubahan volume pada tanah.

Percobaan untuk mengetahui batas susut dilakukan dengan mengisi tanah jenuh sempurna ke dalam cawan porselin berukuran 44,4 mm dan

tinggi 12,7 mm. selanjutnya cawan dan tanah isinya dikeringkan dalam oven. Setelah tanah dalam cawan mengering, selanjutnya dikeluarkan dari cawan tersebut. Untuk mengetahui nilai batas susut, maka sampel yang telah kering dicelupkan ke dalam air raksa, dan nilai batas susutnya dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$SL = \left[\frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

SL = Batas susut (%).

m1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gram)

m2 = berat tanah kering oven (gram)

V1 = Volume berat tanah basah dalam cawan percobaan (cm³).

V2 = Volume tanah kering oven (cm³).

γ_w = berat volume air (gram/ cm³)

d) Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastis (IP) adalah perbedaan antara batas cair dengan batas plastis yang dinyatakan dalam persamaan:

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis

2.8.4. Pengujian Analisa Saringan

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada ukuran diameter tertentu. Untuk menganalisis ukuran butir

tanah, perlu dilakukan dua pengujian, yakni :

a. Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

(Hardiyatmo, 2002) Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung.

Susunan saringan berdasarkan standar ASTM (*America Standard of Testing Material*), dapat dilihat pada **Tabel 2.6.** berikut :

Tabel 2.6. Susunan Saringan Berdasarkan ASTM.

No.Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35
4	4,75
6	3,35
8	2,36
10	2,00
16	1,18
20	0,85
30	0,60
40	0,42
50	0,30
60	0,25
70	0,21
100	0,15
140	0,106
200	0,075
270	0,053

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

b. Analisa Hydrometer (*Hydrometer Analysis*)

(Hardiyatmo, 2002) Analisis hidrometer adalah distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi.

(Hardiyatmo, 2002) Pada uji hydrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan kedalam air destilasi yang dicampur dengan bahan pendeflokulasi (*deflocculating agent*) yang berupa *sodium hexametaphosphate* agar partikel-partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Kemudian, larutan suspensi ditempatkan pada tabung hydrometer.

2.8.5. Pengujian Pemadatan

Pemadatan tanah di laboratorium dimaksudkan untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum. Kadar air dan kepadatan maksimum ini dapat digunakan untuk menentukan syarat yang harus dicapai pada pekerjaan pemadatan tanah di lapangan. Berikut rumus perhitungan pemadatan (SNI 1743-2008) :

a. Berat volume basah (γ_b)

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

γ_b = berat volume basah (gr/cm³)

W = berat tanah padat (gram)

V = volume silinder cetak (cm³)

b. Berat Volume Kering (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w \cdot 100} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

γ_d = Berat volume kering (gr/cm³)

γ_b = Berat volume basah (gr/cm³)

w = kadar air (%)

$$\gamma_d ZAV_{100} = \frac{G_s}{1 + (\omega \times G_s)/100} \times 1 \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

γ_d = Berat Volume kering (gram/cm³)

G_s = Berat Jenis

ω = Kadar Air

ZAV₁₀₀ = Zero air void 100 %

2.9. Sifat Mekanik Tanah

2.9.1. Pengujian Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Percobaan *unconfined* terutama dilakukan pada tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*). Bila lempung mempunyai derajat kejenuhan 100%, maka kekuatan gesernya dapat ditentukan langsung dari nilai kekuatan *unconfined*. Berikut rumus pengolah data kuat tekan bebas (SNI 3638-2012) :

1. Regangan Axial (ε)

$$\text{Regangan Axial } (\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

ε = Regangan aksial (%)

ΔL = Perubahan tinggi benda uji

L_0 = Tinggi awal benda uji

2. Tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

σ = Tegangan (kPa)

P = Beban Aksial (kN)

A = Luas Penampang

3. Beban (P)

$$P = \text{Pembacaan arloji (beban)} \times \text{Faktor kalibrasi alat} \dots\dots\dots(2.15)$$

4. Luas(Ao)

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \times \pi d^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

5. Luas Terkoreksi

$$\text{Luas terkoreksi} = \text{Luas} \times \text{angka koreksi} \dots\dots\dots(2.17)$$

6. Tegangan

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{beban}}{\text{luas terkoreksi}} \dots\dots\dots(2.18)$$

2.9.2. Pengujian Kuat Geser Langsung

Kekuatan geser suatu tanah dapat didefinisikan sebagai tahanan maksimum suatu tanah terhadap tegangan geser dibawah suatu kondisi yang bersangkutan dengan sifat-sifat tanah tersebut. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

Tegangan Normal (kg/cm^2)

$$\sigma = \frac{N}{A} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

N = beban (kg)

A = luas bidang geser (cm^2)

Tegangan Geser (kg/cm^2)

$$\tau = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

P = beban maksimum (kg)

A = luas bidang geser (cm^2)

Garis keruntuhan (*failure envelope*) yang dinyatakan oleh Persarnan yang sebenarnya berbentuk garis lengkung Untuk sebagian besar rnasalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser (Coulomb; 1776). Persamaan itu dapat kita tulis sebagai berikut (Braja M. Das ; 1993)

dengan

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(2.21)$$

c = kohesi

ϕ = sudut geser-intemal

2.10. Penelitian Terdahulu

1. **“Pengaruh kapur terhadap kuat geser tanah lempung”** Nahesson Panjaitan, Dosen Pengajar Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, UNIMED, Medan

Bedasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil uji sifat fisis tanah asli Tarutung Sibolga Km.11, Desa Banuaji II, Kecamatan Adiankoting, Tapanuli Utara, menurut United Soil Classification System, tanah lempung Tarurutng Sibolga termasuk dalam kelompok OL atau tanah berbutir halus >50% melalui ayakan 200 adalah sebesar 67.55% yaitu termasuk lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah dan mempunyai potensial pengembangan yang rendah.
2. Nilai maksimum uji geser langsung terjadi pada penambahan kapur 20% yaitu penambahan 5% kapur nilai kohesi dan sudut geser masing – masing sebesar 1,28 kg/cm² dan 37,950 ,meningkat menjadi 1,44 kg/cm² dan 63,770 pada pencampuran kapur 20%.. Peningkatan nilai kuat geser disebabkan oleh kadar air dan kepadatan serta lama pemeraman juga memperbaiki nilai uji geser langsung karena dengan

adanya pemeraman maka akan menyebabkan tanah dengan kapur dapat bereaksi lebih baik.

2. pengaruh kadar air dan persentase stabilisasi dengan 10 % kapur terhadap kekuatan tanah ekspansif; Adelina Maulidy Firdaus, Yulvi Zaika, Eko Andi Suryo
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsolidasi dengan stabilisasi campuran kapur sebesar 10% menurunkan indeks kompresi (C_c) dari 1,034 menjadi 0,157 dan indeks swelling (C_s) dari 0,2068 menjadi 0,03131.
2. Kadar air pada tanah lempung ekspansif dengan campuran 10% kapur berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin kecil kadar air grafik tegangan-regangan tanah akan semakin kaku dan kohesi semakin besar dibandingkan dengan tanah kondisi asli dan remolded (tanpa perbaikan).
3. Rasio volume stabilisasi pada tanah lempung ekspansif dengan campuran 10% kapur berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar rasio volume stabilisasi grafik tegangan-regangan tanah akan semakin kaku dan kohesi semakin besar dibandingkan dengan tanah kondisi asli dan remolded (tanpa perbaikan). Rasio volume stabilisasi berpengaruh terhadap pengembangan (swelling), semakin besar rasio stabilisasi maka pengembangan (swelling) semakin kecil. Sebaliknya

semakin kecil rasio volume stabilisasi, maka pengembangan (swelling) semakin besar.

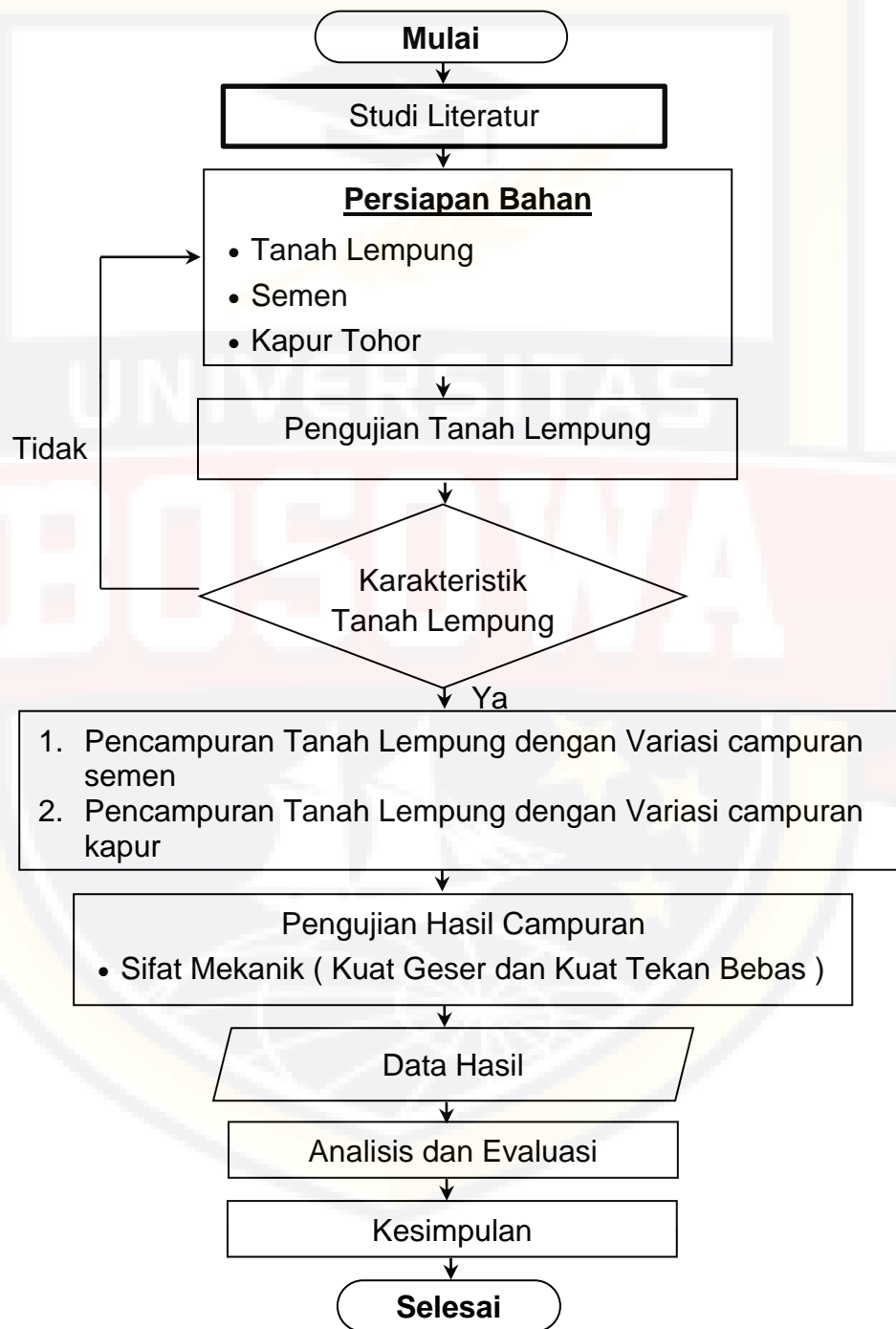
Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan terkait bahan campuran zat aditif lain dengan kapur yang lebih bervariasi untuk menambah kekuatan tanah menumpu beban.
2. Perlu diadakan variasi kadar air untuk uji kemampuan menggunakan bahan campuran kapur
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung ekspansif.
4. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.

Perlu adanya peralatan praktikum yang lebih memadai, agar hasil dari penelitian lebih baik dan akurat.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3.2. Jenis Pengujian Material

Tabel 3.1 Pengujian Karakteristik Tanah.

No.	Jenis Pengujian	Referensi
1.	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
2.	Kadar air	ASTM D 2216-(71)
3.	Batas cair (<i>liquid limit</i> , LL)	SNI 03-1967-1990
4.	Batas Plastis (<i>plastic limit</i> , PL)	SNI 03-1966-1990
5.	Indeks plastisitas (<i>plasticity index</i> , PI)	SNI 03-1966-1990
6.	Berat Jenis tanah	SNI 03-1964-2008/ASTM D854-88(72)
7.	Analisis hydrometer	SNI 03-3423-1994
8.	Kepadatan tanah	ASTM D 698-70
9.	Kuat Geser	ASTM D 3080

3.3. Variabel Penelitian

Sebagaimana judul penelitian ini adalah Analisis kuat tekan dan kuat geser daya dukung tanah lempung dengan bahan stabilisasi limbah kapur dan semen. Maka variabel yang digunakan adalah :

- a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi Campuran semen dan kapur
- b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat geser dan kuat tekan bebas.

3.4. Jumlah dan Notasi Sampel

3.4.1 Jumlah Sampel Pengujian Kuat Geser Dan Kuat Tekan Bebas

Tabel 3.2 Jumlah Sampel Pengujian Kuat Geser Dan Kuat Tekan Bebas.

No.	JENIS PERCOBAAN	MATERIAL DAN KOMPOSISI CAMPURAN	KODE SAMPEL	JUMLAH SAMPEL (BUAH)	TOTAL SAMPEL
1.	Pembuktian Tanah Lempung	Tanah Asli	TA	1 Set	1
2.	Kuat Geser	Tanah + 0% Semen + 40% Kapur	KG0	3	18
		Tanah + 10% Semen + 30% Kapur	KG10	3	
		Tanah + 20% Semen + 20% Kapur	KG20	3	
		Tanah + 30% Semen + 10% Kapur	KG30	3	
		Tanah + 40% Semen + 0% Kapur	KG40	3	
3.	Kuat Tekan	Tanah + 0% Semen + 40% Kapur	KT0	3	18
		Tanah + 10% Semen + 30% Kapur	KT10	3	
		Tanah + 20% Semen + 20% Kapur	KT20	3	
		Tanah + 30% Semen + 10% Kapur	KT30	3	
		Tanah + 40% Semen + 0% Kapur	KT40	3	
TOTAL SAMPEL					37

3.5. Metode Analisis

Pada analisa data yang digunakan yaitu analisis terhadap data hasil uji di laboratorium sebagai berikut :

3.5.1. Analisis Tanah Asli

1. Analisis distribusi butiran terhadap tanah yaitu melakukan analisis hasil pengujian tanah di laboratorium dan klasifikasinya menurut

klasifikasi tanah serta menggolongkannya menurut jenis mineral tanah.

2. Analisis kadar air dan berat jenis tanah lempung lunak terhadap penggunaan lapisan tanah dasar.
3. Analisis hasil pemadatan (Uji Proctor)
4. Analisis hasil pemadatan tanah asli dilakukan guna mengetahui nilai kadar air optimum terhadap peningkatan kepadatan tanah.

3.5.2. Analisis Pengaruh Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Geser Tanah Lempung

1. Nilai kohesi terhadap variasi limbah semen
2. Nilai sudut geser terhadap variasi limbah semen
3. Nilai kuat geser terhadap variasi limbah semen
4. Nilai kuat tekan bebas terhadap variasi limbah semen

3.5.3. Analisis Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Geser Tanah Lempung

1. Nilai kohesi terhadap variasi kapur
2. Nilai sudut geser terhadap variasi kapur
3. Nilai kuat geser terhadap variasi kapur
4. Nilai kuat tekan bebas terhadap variasi kapur

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Dasar Tanah Asli

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisis Tanah Tanpa Bahan Tambah

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Tanpa Bahan Stabilisasi

No	Parameter	Hasil	Satuan
		Tanah Asli	
1	Pemeriksaan kadar air mula-mula	53,54	%
2	Pengujian berat jenis	2,69	
3	pengujian batas-batas atterberg		
	1. Batas Cair (LL)	41,39	%
	2. Batas Plastis	21,44	%
	3. Batas Susut	16,37	%
	4. Indeks Plastisitas (PI)	19,95	%
	5. Activity	0,47	
4	Pengujian analisa saringan dan Hidrometer		
	#4 (4,75 mm)	100,00	%
	#10 (2,00 mm)	95,22	%
	#20 (0,85 mm)	87,60	%
	#40 (0,43 mm)	82,48	%
	#60 (0,25 mm)	82,02	%
	#80 (0,180 mm)	79,86	%
	#100 (0,15 mm)	77,76	%
	#200 (0,075 mm)	74,92	%
5	Pasir	25,08	%
	Lanau	32,14	%
	Lempung	42,78	%
6	Pengujian Kompaksi		
	Kadar Air Optimum	27,34	%
	γ dry	1,29	gr/cm ³

(Sumber: Hasil pengujian laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

4.2. Pembahasan Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Tanpa Bahan Tambah

4.2.1. Kadar Air

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air sampel tanah yaitu perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Hasil dari pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4.2. Pengujian Kadar Air Tanah Asli

No. Cawang	-	1	2
Berat Cawan, W1	gram	6,2	6,6
Berat Cawan + Tanah Basah, W2	gram	48,8	48,6
Berat Cawan + Tanah Kering, W3	gram	34	33,9
Berat Tanah Kering, $W_s=W_3-W_1$	gram	27,8	27,3
Berat Air, $W_w=W_2-W_3$	gram	14,8	14,7
Kadar Air, $w=(W_w/W_s)*100$	%	53,24	53,85
Rata-rata	%	53,54	

(sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

4.2.2. Berat Jenis (Gs)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang lolos saringan No. 40 dengan menggunakan labu ukur. Tujuan penggunaan ini untuk menentukan berat jenis suatu sampel, berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Dari hasil pemeriksaan berat jenis spesifik di peroleh nilai berat jenis 2.691 . Dari nilai berat jenis tersebut, tanah tersebut masuk kategori lempung anorganik yang mempunyai nilai berat jenis dari 2.68 — 2.75

Tabel.4.3 Berat Jenis dan Beberapa Jenis Tanah

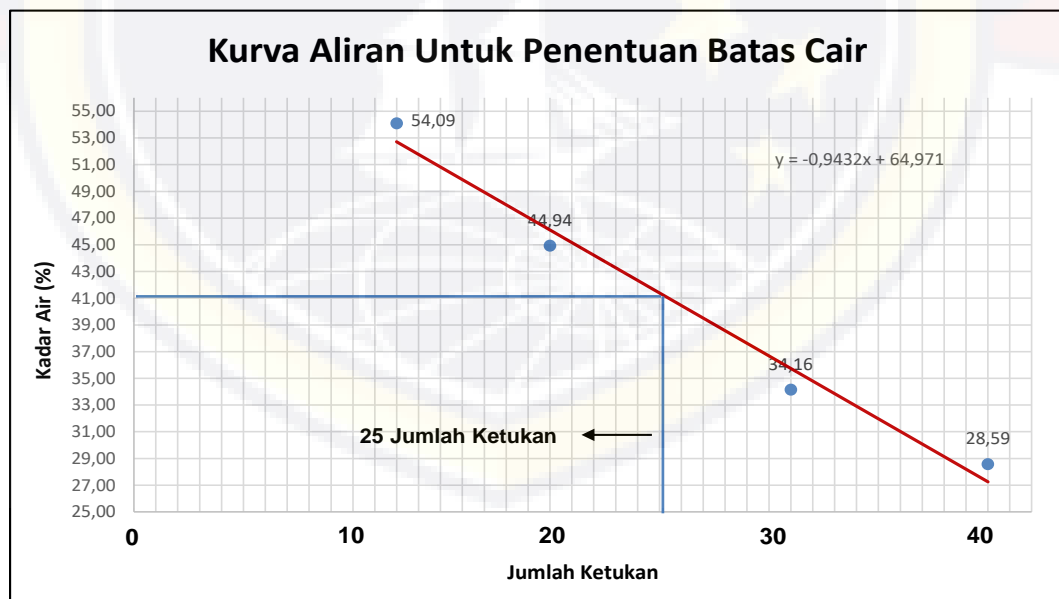
Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lempung Organik	2.58 – 2.65
Lempung Anorganik	2.68 – 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 – 1.8

4.2.3. Pengujian Batas-batas Konsistensi

a. Batas Batas Atterberg

1) Batas Cair (Liquid Limit, LL)

Dari Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan batas cair tanah dan untuk mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40. Hasil pengujian dari batas cair dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



(sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

Gambar 4.1 Grafik Aliran untuk Penentuan Batas Cair

Dari hubungan jumlah ketukan dengan kadar air di peroleh nilai batas cair

LL = 41,39 % Jadi batas cair (LL) tanah asli :

$$Y = -0,943\ln(x) + 64,971 \quad x = \text{jumlah ketukan. Jadi Batas Cair (LL)} = -0,943\ln(25) + 64,971 = 41,39\%.$$

Berdasarkan hasil uji Atterberg diperoleh batas cair (LL) = 41,39%
Jadi termaksud pada potensi tanah lempung.

2) Batas Plastis (*Plastic Limit, PL*)

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Dari pengujian batas cair dan batas plastis maka hasil maka diperoleh hasil sebagai :

- Batas cair (LL) = 41,39%, Batas Plastis (PL) = 21,44%
- Indeks Plastisitas (IP) = LL – PL
=19,95%

Berdasarkan hasil uji Atterberg diperoleh Indeks Plastis (IP) = 19,95 Jadi termasuk pada potensi tanah lempung.

3) Indeks Plastisitas (*Indeks Plasticity, IP*)

Berdasarkan rumus $PI = LL - PL$ diperoleh nilai indeks platisitas (PI)
= 19,95%

Tabel 4.4 Batasan Mengenai PI, Sifat, Macam Tanah dan Kohesi

PI (%)	Sifat	Macam tanah	Keterangan
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesi
<7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesi Sebagian
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lempung berlanau	Kohesi
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesi

(Sumber : (Hardiyatmo, 2002)

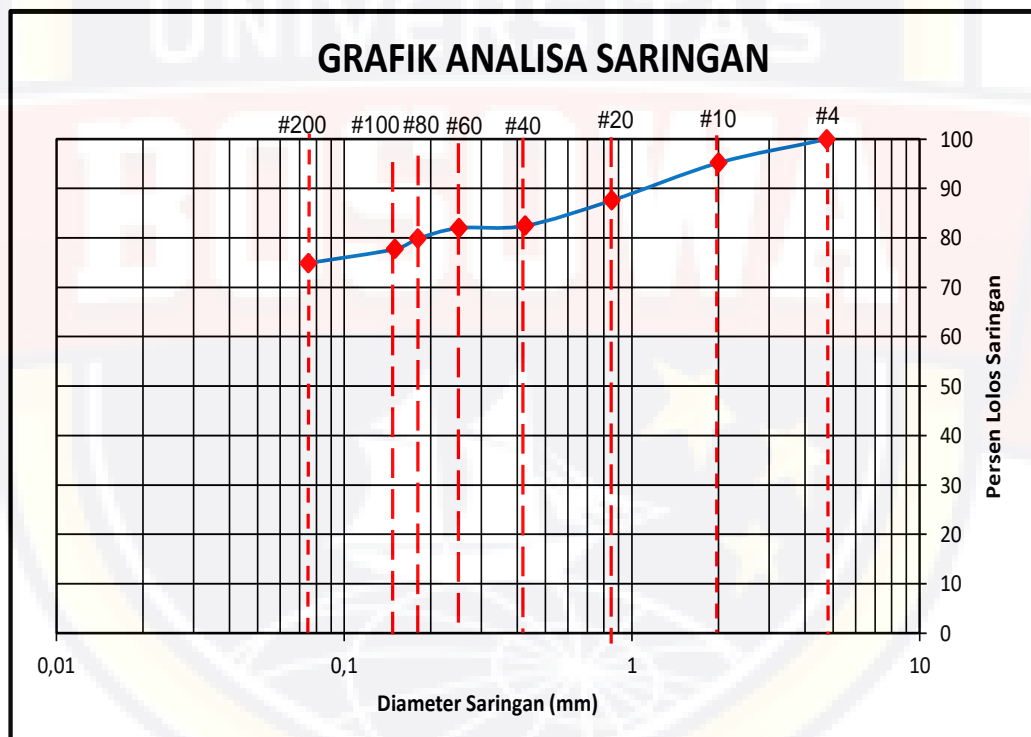
4) Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut bertujuan untuk menentukan kadar air pada batas semi padat ke keadaan padat

Dari hasil pengujian batas susut di peroleh nilai batas susut = 16.37%

4.2.4. Analisa Gradasi Butiran

Dari hasil pengujian gradasi yang dilakukan dengan analisa saringan basah dapat diperhatikan pada gambar berikut ini:

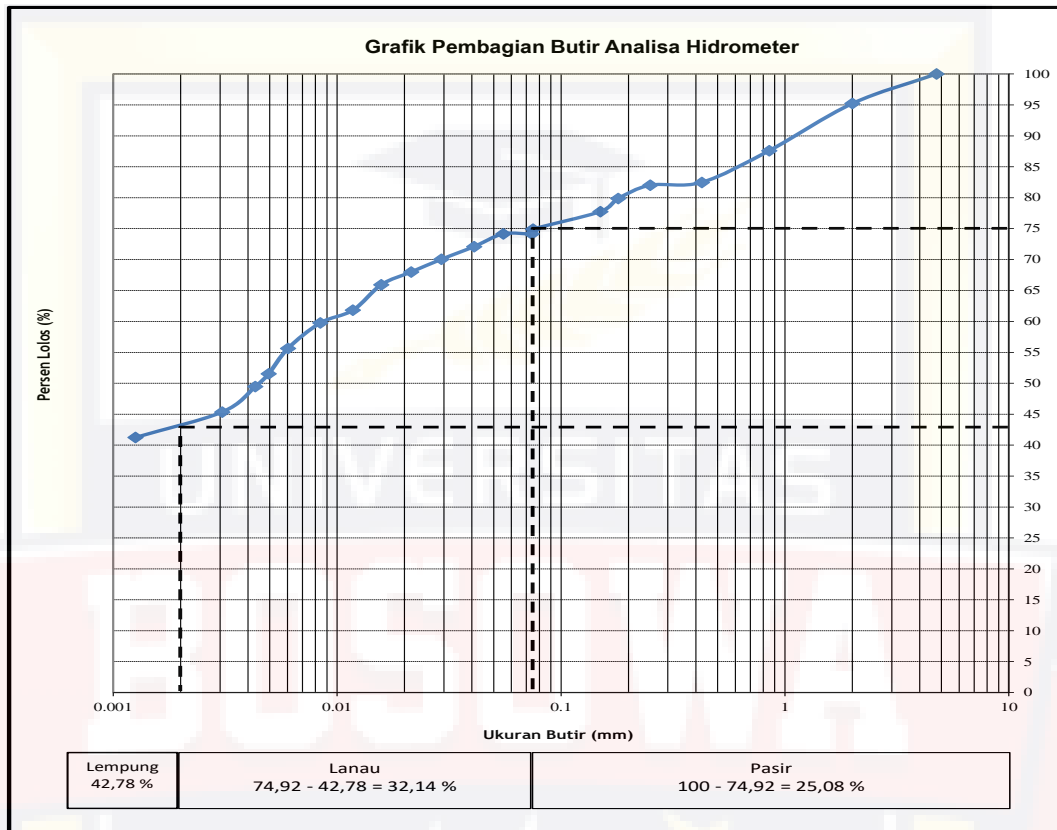


(sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan

Dari hasil pengujian gradasi yang dilakukan dengan analisa saringan basah di peroleh hasil tanah tersebut sekitar 74.92% lolos saringan No. 200. Sehingga didapat fraksi pasir sebesar 25.08%. Berdasarkan persen

lolos saringan no. 200 tanah tersebut masuk dalam golongan tanah lempung dengan kadar tinggi.



(sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

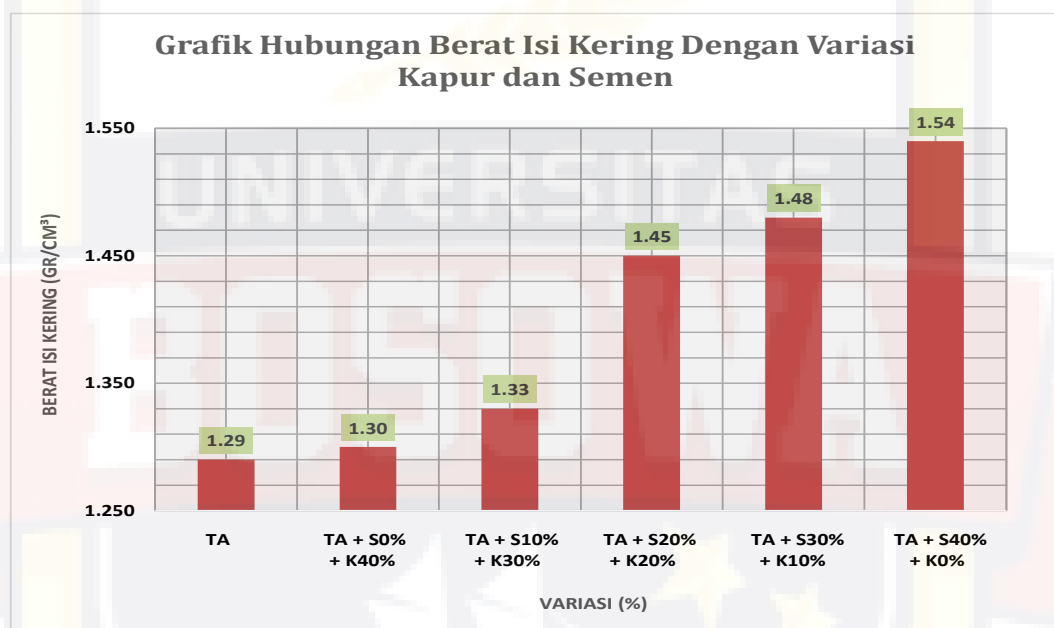
Gambar 4.3 Grafik Pembagian Butir Analisa Hidrometer

Dari hasil pengujian hydrometer berdasarkan kurva lengkungnya diperoleh hasil sebagian besar ukuran butir tanah adalah fraksi lanau yaitu sebanyak 32.14%. Sedangkan fraksi lempung sebesar 42.78 %.

Peninjauan klasifikasi tanah yang mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 0,002 mm, tidak berdasarkan secara langsung pada gradasinya, sehingga penentuan klasifikasinya lebih didasarkan pada batas batas *atterbergnya*.

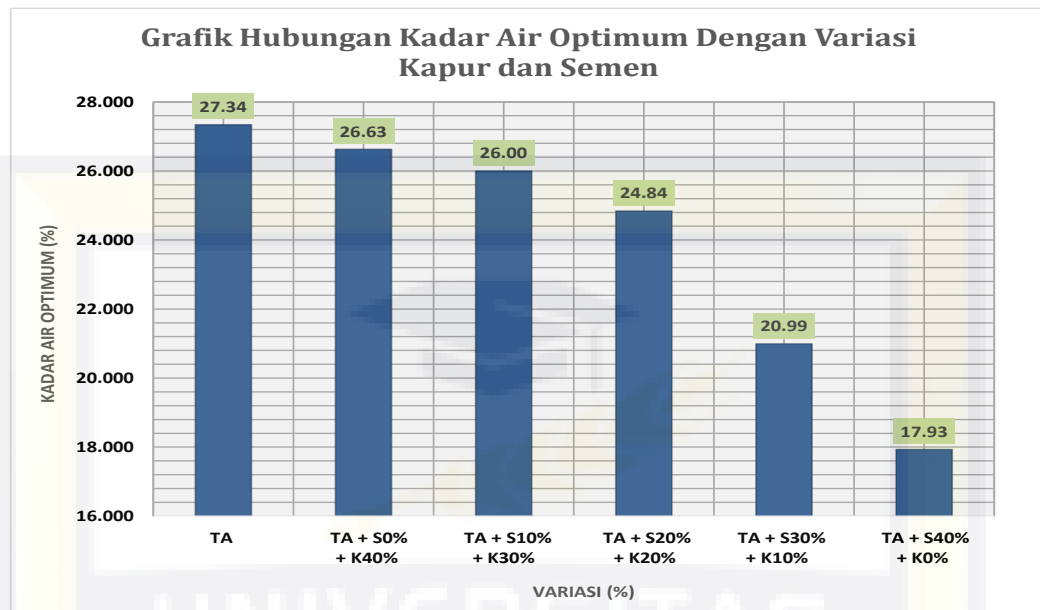
4.2.5. Pengujian Kompaksi (Pemadatan)

Uji pemadatan Standart ini dilakukan untuk mengetahui berat kering maksimum γ_{maks} dan kadar air optimum w_{opt} . Dalam pelaksanaan pengujian sampel tanah asli dicampur dengan bahan tambah lalu diperam selama 24 jam sebelum ditumbuk sehingga didapat hasil yang maksimal untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Berat Isi Kering Dengan Variasi Kapur dan Semen.

Pada **Gambar 4.4** menunjukkan terjadinya peningkatan berat isi kering maksimum sebesar 1.54 gr/cm³ pada variasi tanah asli + semen 40% + kapur 0% seiring dengan penambah semen dan pengurangan kapur. Hal tersebut disebabkan karena semen memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi satu massa yang padat sehingga terjadinya proses hidrasi.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kadar Air Optimum Dengan Variasi Kapur dan Semen.

Gambar 4.5 memperlihatkan semakin besar penambahan kapur maka kadar air optimum semakin meningkat dari 17.93% menjadi 27.34%. Hal ini terjadi karena pembesaran rongga-rongga antara partikel campuran tanah akibat sementasi antara Ca^2 pada kapur dengan mineral Al^{3+} dan/atau mineral Si^{3+} yang menyebabkan bertambahnya pori-pori tanah yang dapat diisi oleh air sehingga terjadi kenaikan kadar air optimum seiring dengan bertambahnya kapur.

4.3. Klasifikasi Tanah Asli

4.3.1 AASHTO (*American Association Of State Highway And Transportation Officials*)

Untuk mengklasifikasikan tanah yang diuji ke dalam klasifikasi AASTHO adalah dengan berdasarkan uji analisa distribusi butiran serta hasil uji batas-batas Atterberg, yaitu sebagai berikut:

a) Tanah lolos saringan No.200 = 74,92%

b) Batas cair (LL) = 54,91 %

c) Batas Plastis (PL) = 31,14%

d) Indeks Plastisitas (IP) = 23,77%

Berdasarkan analisa basah, presentase bagian tanah yang lolos saringan no.200 adalah lebih besar dari 74,92% ($> 35\%$). Sehingga tanah diklasifikasikan dalam kelompok : (A-4,A-5,A-6,A-7).

Batas cair (LL) = 54,91 %. Untuk tanah yang batas cairnya lebih besar dari 41% maka tanah tersebut masuk dalam kelompok A-5 (min. 41%) dan A-7 (A-7-5,A-7-6) yang juga min. 41%.

Indeks Plastisitas (PI) = 23,77%. Untuk kelompok A-5 nilai maksimalnya 10% sedangkan kelompok A-7 nilai PI minimumnya sebesar 11% maka tanah dikelompokkan kedalam kelompok A-7(A-7-5,A-7-6).

Sedangkan nilai Batas Plastis (PL) = 31,14%, untuk kelompok A-7-5 nilai PL $> 30\%$,sehingga tanah dikelompokkan ke dalam kelompok A-7-5. Tanah yang masuk kategori A-7-5 termasuk klasifikasi tanah lempung.

4.3.2 USCS (*Unified Soil Classification System*)

Dari analisis saringan basah didapatkan tanah lolos saringan no.200 lebih besar dari 50% sehingga masuk ke dalam klasifikasi tanah berbutir halus.

Batas cair (LL) = 54,91 %, dan indeks plastisitas (PI) = 23,77%. Dari bagian plastisitas, klasifikasi tanah masuk dalam range CH (diatas

garis A, $PI = 0,73$ (LL-25) ,dimana : CH adalah simbol lempung anorganik dengan plastisitas tinggi ,lempung gemuk (fat clays).

Dari karakteristik material diatas (yaitu plastisitas dan distribusi ukuran partikel) dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut adalah: Tanah Lempung (Clay) dengan Sifat Plastisitas tinggi.

4.4 Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah

4.4.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

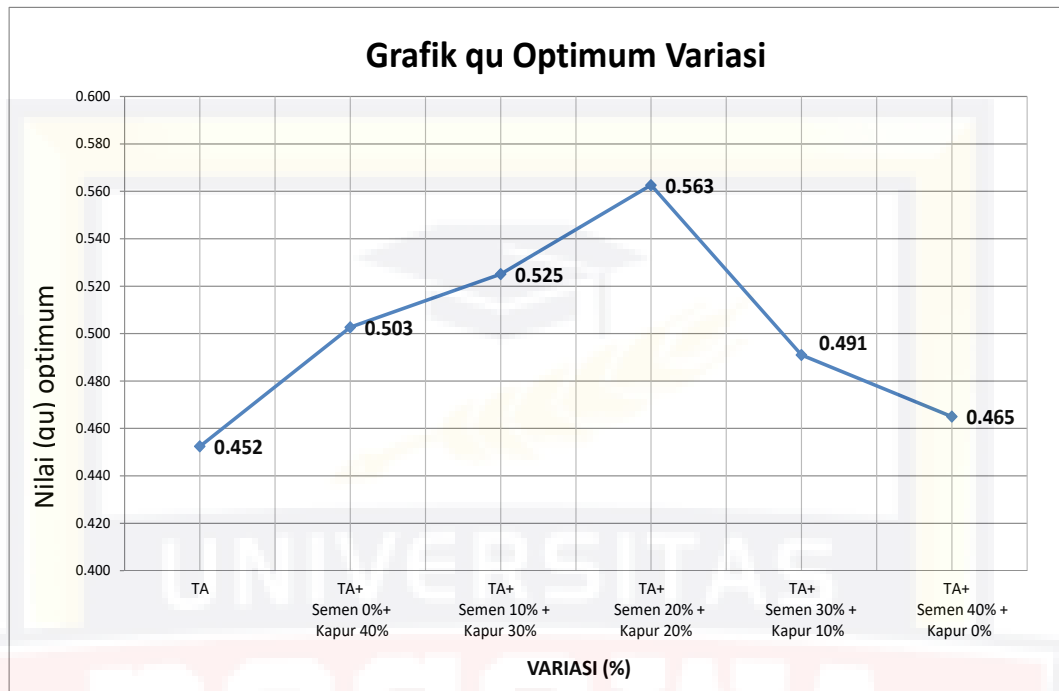
Hasil pengujian kuat tekan bebas variasi tanah + semen + kapur dengan berbagai persentase variasi dapat dilihat pada **Tabel 4.5** berikut ini:

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Komposisi Campuran	qu rata – Rata (kg/cm ²)
Tanah Asli	0,452
Tanah + Semen 0% + Kapur 40%	0,503
Tanah + Semen 10% + Kapur 30%	0,525
Tanah + Semen 20% + Kapur 20%	0,563
Tanah + Semen 30% + Kapur 10%	0,491
Tanah + Semen 40% + Kapur 0%	0,465

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

Gambar 4.6 Grafik Nilai qu Optimum pada Variasi Semen dan Kapur

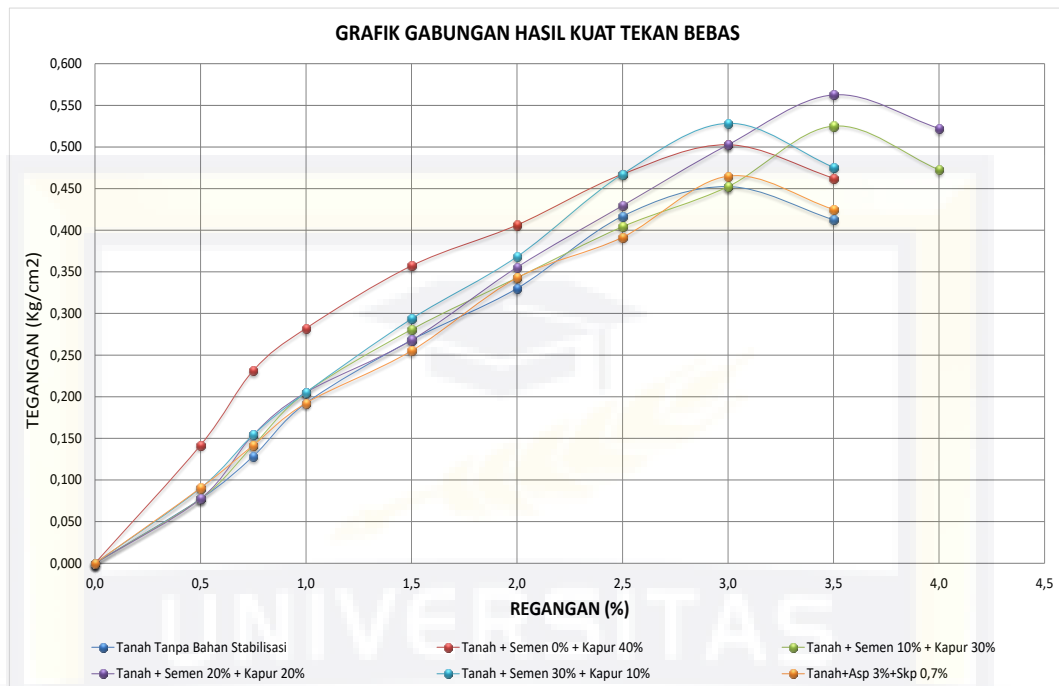


Pada **Gambar 4.6**, dapat dilihat bahwa nilai qu optimum terus meningkat hingga nilai maksimum terdapat pada variasi tanah + semen 20% + kapur 20% sebesar 0,563 dan terus mengalami penurunan pada variasi berikutnya. Dapat di simpulkan tingkat daya dukung tanah menjadi lebih baik dengan batas penambahan semen 20% + kapur 20%.

Tabel 4.6. Nilai qu Gabungan dari Pengujian Kuat Tekan Bebas

Regangan Aksial	Tanah Asli	Tanah + Semen 0% + Kapur 40%	Tanah + Semen 10% + Kapur 30%	Tanah + Semen 20% + Kapur 20%	Tanah + Semen 30% + Kapur 10%	Tanah + Semen 40% + Kapur 0%
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,077	0,142	0,077	0,077	0,090	0,090
0,75	0,129	0,231	0,141	0,154	0,154	0,142
1,0	0,192	0,282	0,205	0,205	0,205	0,192
1,5	0,268	0,357	0,281	0,268	0,294	0,255
2,0	0,330	0,406	0,343	0,356	0,368	0,343
2,5	0,417	0,467	0,404	0,430	0,467	0,392
3,0	0,452	0,503	0,452	0,503	0,528	0,465
3,5	0,413	0,463	0,525	0,563	0,476	0,425
4,0	-	-	0,473	0,522	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-
5,0	-	-	-	-	-	-
5,5	-	-	-	-	-	-
6,0	-	-	-	-	-	-

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Universitas Bosowa, 2022)



Gambar 4.7 Grafik Gabungan Hasil Kuat Tekan Bebas

Berdasarkan **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.7**, gabungan hasil kuat tekan bebas dapat dilihat bahwa:

1. Pada tanah asli, peningkatan tegangan pada regangan 0.0 – 3.0 sebesar 0,452 kg/cm², namun mengalami penurunan tegangan pada regangan 3.5 yaitu sebesar 0,413 kg/cm².
2. Pada Tanah + Semen 0% + Kapur 40% terjadi peningkatan tegangan pada regangan 0.0 – 3.0 yaitu sebesar 0,503 kg/cm², namun mengalami penurunan tegangan pada regangan pada 3.5 yaitu sebesar 0.463 kg/cm².
3. Pada Tanah + Semen 10% + Kapur 30% terjadi peningkatan tegangan pada regangan 0.0 – 3.5 yaitu sebesar 0,525 kg/cm², namun mengalami penurunan tegangan pada regangan pada 4.0 yaitu sebesar 0.473 kg/cm².

4. Pada Tanah + Semen 20% + Kapur 20% terjadi peningkatan tegangan pada regangan 0.0 – 3.5 yaitu sebesar 0,563 kg/cm², namun mengalami penurunan tegangan pada regangan pada 4.0 yaitu sebesar 0.522 kg/cm².
5. Pada Tanah + Semen 30% + Kapur 10% terjadi peningkatan tegangan pada regangan 0.0 – 3.0 yaitu sebesar 0,528 kg/cm², namun mengalami penurunan tegangan pada regangan pada 3.5 yaitu sebesar 0.476 kg/cm².
6. Pada Tanah + Semen 40% + Kapur 0% terjadi peningkatan tegangan pada regangan 0.0 – 3.0 yaitu sebesar 0,465 kg/cm², namun mengalami penurunan tegangan pada regangan pada 3.5 yaitu sebesar 0.425 kg/cm².

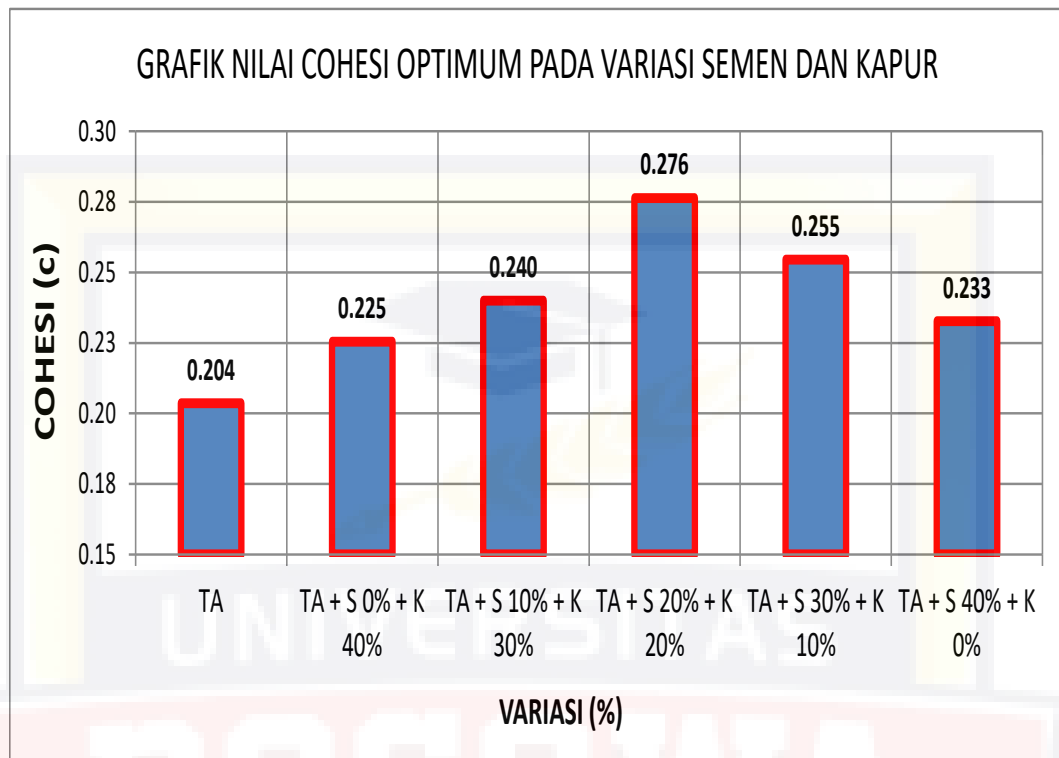
4.4.2. Hasil Pengujian Kuat Geser

Hasil pengujian kuat geser variasi tanah + semen + kapur dengan berbagai variasi dapat dilihat pada **Tabel 4.7** berikut ini:

Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat geser Langsung dengan variasi Semen + Kapur

Sampel	kohesi (c)	Sudut geser dalam (φ)	Kuat geser (τ)
Tanah Asli	0.204	15,73	0,211
Tanah + Semen 0% + Kapur 40%	0.225	17,58	0,282
Tanah + Semen 10% + Kapur 30%	0.240	19,39	0,317
Tanah + Semen 20% + Kapur 20%	0.276	22,90	0,422
Tanah + Semen 30% + Kapur 10%	0.255	21,17	0,387
Tanah + Semen 40% + Kapur 0%	0.233	19,39	0,352

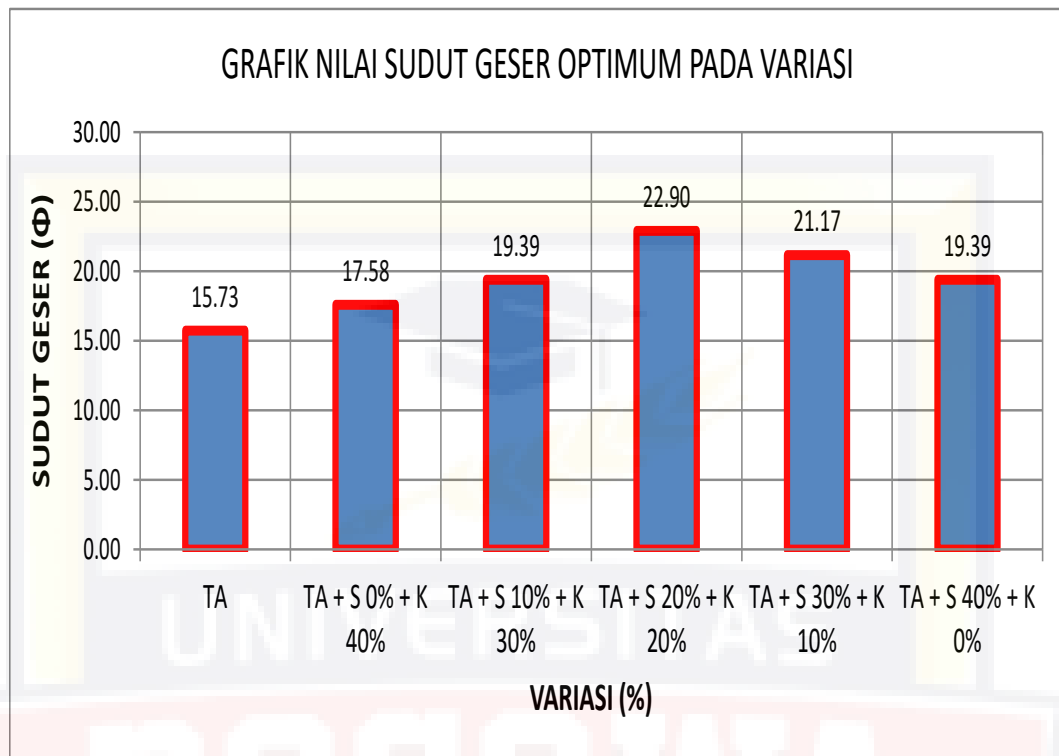
(Sumber : Hasil pengujian laboratorium Universitas Bosowa, 2022)



(Sumber : Hasil pengujian laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kohesi Terhadap Penambahan Semen dan Kapur Pada Tanah Lempung.

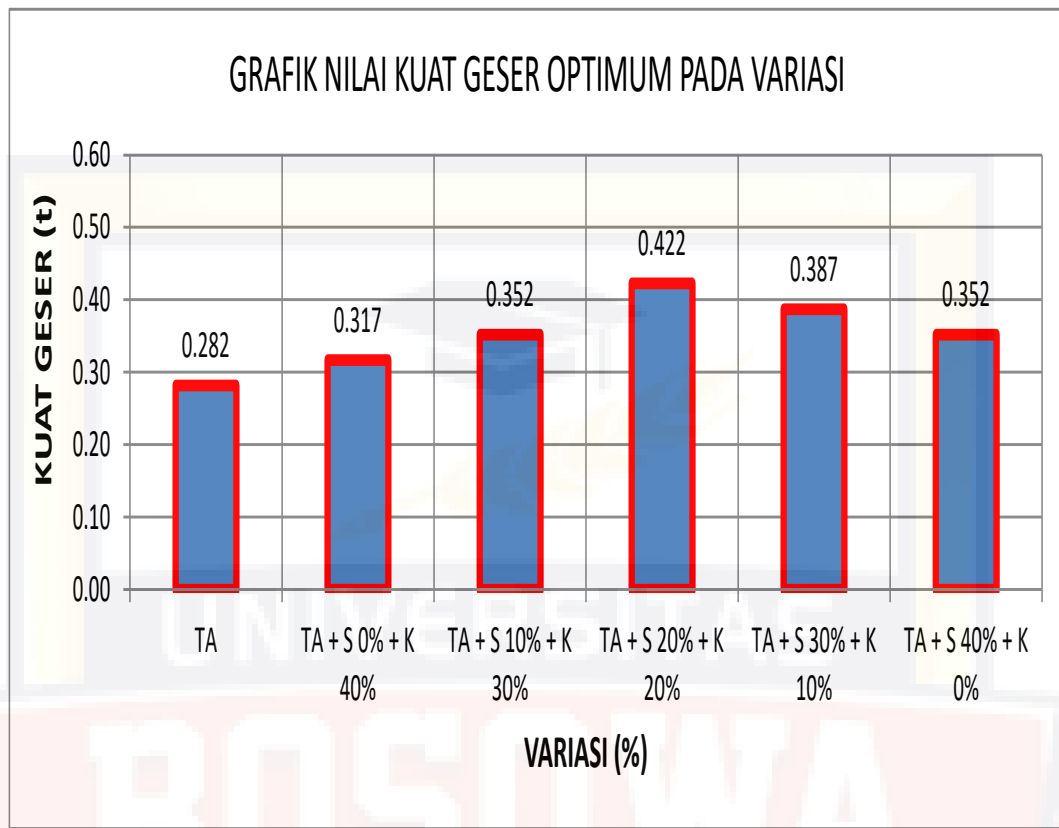
Pada **Gambar 4.8**, dapat dilihat grafik hubungan kohesi tanah yang telah distabilisasi dengan semen dan kapur, telah terjadi peningkatan nilai kohesi dari tanah asli hingga variasi tanah + semen 20% + kapur 20% sebesar 0,276, Kemudian pada variasi tanah + semen 30% + kapur 10% hingga tanah + semen 40% + kapur 0% terus mengalami penurunan. Dapat disimpulkan tingkat daya dukung tanah menjadi lebih baik dengan batas penambahan semen 20% dan kapur 20%.



(Sumber : Hasil pengujian laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

Gambar 4.9 Grafik hubungan Sudut Geser terhadap penambahan semen dan kapur pada tanah Lempung.

Pada **Gambar 4.9**, dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai sudut geser secara signifikan dengan penambahan tanah + semen 20% + kapur 20% yaitu sebesar 22,90. Peningkatan nilai sudut geser ini disebabkan terjadinya peningkatan bidang kontak antara butiran. Akibat peningkatan bidang kontak antar butiran tersebut maka gaya geser yang terjadi semakin besar dan menyebabkan nilai sudut geser meningkat.



(Sumber : Hasil pengujian laboratorium Universitas Bosowa, 2022)

Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kuat Geser Terhadap Penambahan Semen Dan Kapur Pada Tanah Lempung.

Pada **Gambar 4.10**, dapat dilihat grafik hubungan kuat geser tanah yang telah distabilisasi dengan semen dan kapur, nilai sudut geser mengalami kenaikan yang signifikan pada penambahan tanah + semen 20% + kapur 20% sebesar 0,422, namun nilai kuat geser pada variasi tanah + semen 30% + kapur 10% nilai kuat geser mengalami penurunan dari variasi sebelumnya, sehingga nilai kuat geser optimum terdapat pada tanah + semen 20% + kapur 20% sebesar 0,422.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan ,yaitu ;

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung dengan kadar air sebesar 53,54% , berat jenis 2.69, dengan batas cair 41,39%, dan batas plastis 21,44% didapat nilai indeks plastis sebesar 19,95%. Berdasarkan klasifikasi AASHTO bahwa tanah tersebut termasuk tanah berbutir halus dengan sifat plastisitas tinggi atau termasuk kelompok A-7-5 atau tanah lempung sesuai dengan plasititas tinggi sesuai klasifikasi USCS.
2. Pada pengujian kuat tekan bebas nilai q_u tanah asli mengalami peningkatan setelah penambahan semen 0% + kapur 40% dan terus meningkat hingga penambahan semen 20% + kapur 20%, kemudian nilai q_u mengalami penurunan saat penambahan semen 30% + kapur 10% dan semen 40% + kapur 0%.
3. Pada pengujian kuat geser nilai kohesi tanah asli mengalami peningkatan tertinggi pada saat penambahan semen 20% + kapur 20%, namun pada penambahan semen 30% + kapur 10% penambahan variasi dengan kadar tersebut mengalami penurunan nilai kohesi begitupun juga dengan penambahan semen 40% + kapur 0%. Pada kuat geser dan sudut geser juga mengalami

kenaikan pada saat penambahan semen 20% + kapur 20% namun pada penambahan semen 0% + kapur 40%, semen 10% + kapur 30%, dan semen 30% + kapur 10%, dan semen 40% + kapur 0%. mengalami penurunan.

5.2 SARAN

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk menangani masalah tanah ekspansif pada saat dilakukan konstruksi atau pekerjaan di lapangan.
2. Perlu ada penelitian tentang penggunaan material – material bahan campuran lain yang dikombinasikan dengan tanah ekspansif, semen, dan kapur yang lebih variatif.
3. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan apabila ingin mengembangkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Budisantosa, & dkk. (1998). *Dasar Mekanika Tanah*. Depok: Gunadarma.
- Bowles, J. (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Craig, R. F. (1991). *Mekanika Tanah*. Jakarta: PT. Erlangga.
- Darwis, M. (2018). *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo., C. H. (2010). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta. Gadjah.
- Reza, I. (2014). Pengaruh Serat Karung Plastik dan Kapur Terhadap Perubahan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Lunak. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 676.
- Sudjianto. (2006). Pengaruh Matric Suction Terhadap Perilaku Kembang Bebas Tanah Lempung Ekspansif. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1987). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga
- Wesley, L. (2017). *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: ANDI.
- Wiqoyah, Q. (2006). Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung. *Dinamika Teknik Sipil*, 23

Zahra, A. A. (2017). Analisis Kuat Geser Dan Permeabilitas Tanah Lempung Lunak Yang Tercampur Dengan Fly Ash Dan Abu Sekam Padi.

Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar.





L

A

M

P

I

R

A

DOKUMENTASI
SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH



Pengujian Kadar Air.



Pengujian Analisa Saringan.



Pengujian Batas Cair.



Pengujian Kompaksi.



Mengeluarkan benda uji dari mould pada pengujian Kompaksi.



Menimbang Mould Pada Pengujian Kompaksi.



Pembuatan sampel benda uji pada pengujian Kuat Geser.



Pengujian Kuat Geser.



Pembuatan sampel benda uji pada pengujian Kuat Tekan.



Menimbang benda uji pada pengujian Kuat Tekan.



Pengujian Kuat Tekan.

