

TUGAS AKHIR

**EVALUASI NILAI KUAT TEKAN BEBAS TANAH EKSPANSIF
TERSTABILISASI FLY ASH**

***EVALUATION OF THE VALUE UNCONFINED
COMPRESSION STRENGTH OF EXPANSIVE SOIL
STABILIZING BY FLY ASH***

**SITI NURAFIFA. Y
D011 18 1326**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**EVALUASI NILAI KUAT TEKAN BEBAS TANAH EKSPANSIF
TERSTABILISASI FLY ASH**

Disusun dan diajukan oleh:

SITI NURAFIFA. Y

D011 18 1326

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 07 Desember 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

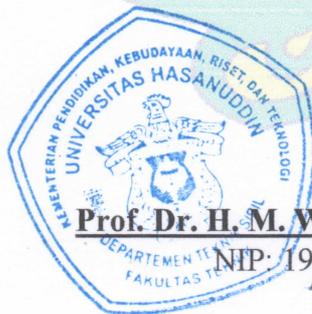
Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, MT
NIP: 195910101987031003

Ir. Sitti Hijraini Nur, ST, MT
NIP: 197711212005012001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Siti Nurafifa. Y, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Evaluasi Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Ekspansif Terstabilisasi Fly Ash**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, Desember 2022
Yang membuat pernyataan,



Siti Nurafifa. Y
NIM: D011 18 1326

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. **Allah SWT** yang telah memudahkan jalan saya untuk terus berupaya dan tidak patah yang telah membimbing dan memberikan petunjuk bagi saya hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
2. Kedua orang tua tercinta, **Muh. Yusuf** dan **Almh. Nursyam** atas kasih sayang yang telah mereka berikan selama ini, baik dukungan materil maupun spiritual, karena penulis tidak dapat sampai di titik ini jika tanpa doa mereka.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng,** selaku Ketua dan Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT.,** selaku sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
5. Bapak **Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku dosen pembimbing I, atas segala arahan, bimbingan akademik maupun nonakademik, serta waktu yang telah diluangkannya dari dimulainya penelitian ini dengan sedikit pengetahuan yang saya miliki dan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Ibu **Ir. Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T** selaku dosen pembimbing II, atas segala arahan, bimbingan, dan wawasan, serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
7. Bapak **Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan wawasan dan arahan kepada penulis selama menjadi asisten laboratorium.

8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini.
9. Keluarga tercinta, yaitu **Bapak** dan **Ibu**, saudara-saudaraku tersayang **Siti Zahra Nur Ramadhani Y.**, **Siti Nur Ikhlikha Y.N**, **Siti Nur Ikhlimha Y.N** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, yang selalu menghibur dan menyemangati saya baik dalam keadaan susah maupun senang, penulis tidak akan mampu sampai di titik ini tanpa kehadiran mereka.
10. Yang teristimewa **Made Widhi Ramadi**, yang telah menemani penulis selama proses pengerjaan, masa-masa sulit, memberikan penyemangat, serta menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini
11. Ibu **Ir. Sitti Hijrini Nur, S.T., M.T** yang telah mengizinkan penulis untuk dapat mengikuti penelitiannya sehingga tugas akhir ini dapat terealisasi.
12. Teman – teman KKD Geoteknik, **Ana, Asti, Asmud, Bara, Chandra, Charlie, Egi, Feby, Mega, Novi, Rahul, Shafwan, Sopian, Upe** yang selalu menjadi lawan diskusi yang luar biasa dan menghasilkan masukan – masukan demi rampungnya tugas akhir ini.
13. Kepada **Nur Fajriani Bintang dan Hernasih Aulia ramadhani** yang selalu menemani di masa-masa sulit, mendukung saat dibutuhkan, membantu dikala susah, dan menjadi penyemangat bagi penulis.
14. Kepada Grup Girls **Asih, Fitri, Ica, Melani, Nadia, Upe, Wana, Yus, Yuyun** yang selalu menemani perjuangan ku dari maba hingga saat ini, mendukung saat dibutuhkan, membantu dikala susah, dan menjadi penyemangat bagi penulis.
15. Kepada Grup Warna-Warni **Asih, Charlie, Fikri, Fitri, Fiqih, Ica, Melani, Nadia, Radix, Samuel, Upe, Wana, Yus, Yuyun** yang telah memberi bantuan dan berbagi wawasan yang sangat bermanfaat bagi kehidupan dan penulisan tugas akhir ini
16. Kepada Wakanda Apartement **Amin, Asmud, Fahmi, Rudy, Widhi** yang yang senantiasa menemani, mendukung, dan menjadi penyemangat bagi penulis.
17. Kepada Keluarga Besar **TRANSISI 2019** yang tetap solid dan peduli, serta terus menjadi penyemangat dan pengapresiasi garda

terdepan bagi penulis untuk terus berusaha dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

18. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satupersatu dengan semua dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Tidak ada kata yang dapat penulis gambarkan atas rasa terima kasih penulis kepada semua pihak, dan semoga Tuhan yang Maha Kuasa senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya pada kita semua. Akhir kata penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis berharap masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, Juli 2022
Hormat Saya,

Siti Nurafifa. Y

ABSTRAK

Tanah ekspansif adalah tanah yang memiliki kembang susut tinggi diakibatkan oleh perubahan kadar air yang berpengaruh terhadap perubahan volume tanah. Kerusakan yang diakibatkan oleh tanah ekspansif dapat diatasi dengan proses stabilisasi. Salah satu metode stabilisasi yang biasa dilakukan adalah dengan mencampurkan bahan tambah yang mampu merubah parameter fisis dan mekanis tanah menjadi lebih baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh stabilisasi terhadap perubahan karakteristik mekanis tanah melalui penambahan *fly ash*. Karakteristik mekanis yang diuji dalam penelitian ini adalah nilai Kuat Tekan Bebas dengan variasi masa pemeraman.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas, maka dilakukan variasi penambahan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 20%, dan 25%. Pencampuran tanah ekspansif dengan *fly ash* dilakukan dengan masa pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh penambahan *fly ash* dan masa pemeraman pada tanah ekspansif dapat meningkatkan daya dukung tanah. Dimana semakin tinggi persentase kadar *fly ash* yang ditambahkan dan lamanya masa pemeraman mengakibatkan nilai Kuat Tekan Bebas makin meningkat. Diperoleh Nilai Kuat Tekan Tertinggi terjadi pada penambahan *fly ash* pada variasi 10% dengan masa pemeraman 28 hari yaitu sebesar 31,62% atau sekitar 97,90 kali lipat (97,90%) dari tanah asli.

Kata kunci: Tanah ekspansif, *Fly Ash*, Kuat Tekan Bebas.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Batasan Masalah.....	3
E. Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Pengertian Tanah	6
B. Klasifikasi Tanah	7
C. Klasifikasi dan Struktur Mineral Lempung Ekspansif.....	15
D. Identifikasi Tanah Ekspansif.....	22
E. Stabilisasi Tanah	27
F. Fly Ash	32
G. Berat Jenis	33
H. Batas-Batas Atterberg	33
I. Analisa Ukuran Butir.....	34
J. Pemadatan Tanah (Kompaksi).....	35
K. Kuat Tekan Bebas	37
L. Penelitian Terdahulu	39
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	47
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	47

B.	Metode Pengumpulan Data.....	47
C.	Kerangka Alir Penelitian	48
D.	Material.....	50
E.	Standar Pengujian	51
F.	Pengujian Karakteristik Tanah Asli	52
G.	Optimalisasi Bahan Stabilisator.....	53
H.	Pengujian Sampel	53
I.	Proses Pembuatan Benda Uji	55
J.	Pengujian Kuat Tekan Bebas dengan Metode Pemeraman.....	56
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		58
A.	Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli	58
B.	Karakteristik Sifat Mekanis Tanah Terstabilisasi <i>Fly Ash</i>	71
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		78
A.	Kesimpulan.....	78
B.	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN.....		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur Oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)	9
Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO.....	11
Gambar 3. Struktur Dasar Mineral Lempung	17
Gambar 4. Mineral Lempung, (a) kaolinit, (b) illite, (c) montmorilonit.....	18
Gambar 5. Grafik Hubungan antara Persentase tanah dan Aktifitas	25
Gambar 6. Lokasi Pengambilan Sampel tanah.....	47
Gambar 7. Bagan Alir Penelitian.....	50
Gambar 8. Tanah Asli	50
Gambar 9. <i>Fly Ash</i> (ukuran < 0,075 mm)	51
Gambar 10. Contoh Benda Uji	56
Gambar 11. Pengujian Benda Uji.....	57
Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	59
Gambar 13. Grafik Gradasi Butiran.....	60
Gambar 14. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS	62
Gambar 15. Grafik Hubungan Nilai Activity dan Fraksi Lempung	66
Gambar 16. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering Hasil Kompaksi Pada Tanah Asli.....	69
Gambar 17. Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan Pada Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Asli.....	70
Gambar 18. Grafik Rekapitulasi Perubahan Nilai Kadar Air Optimum Hasil Kompaksi Terhadap Variasi Penambahan <i>Fly Ash</i>	72
Gambar 19. Grafik Rekapitulasi Perubahan Berat Isi Kering Maksimum Hasil Kompaksi Terhadap Variasi Penambahan <i>Fly Ash</i>	73
Gambar 20. Grafik Rekapitulasi Perubahan Nilai Berat Isi Kering pada Benda Uji Setelah Masa Pemeraman	74
Gambar 21. Hubungan Tegangan-Regangan dan penambahan <i>fly ash</i> ..	76

Gambar 22. Grafik Rekapitulasi Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas pada Benda Uji Setelah Masa Pemeraman 77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO	12
Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS).....	15
Tabel 3. Estimasi Tekanan Pengembangan Berdasarkan Presentase Lempung (Chen,1975)	21
Tabel 4. Korelasi nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan	23
Tabel 5. Hubungan nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan	24
Tabel 6. Hubungan <i>swell potential</i> dengan <i>plasticity index</i>	26
Tabel 7. Aktifitas Beberapa Jenis Mineral Lempung (Bowles, 1985)	26
Tabel 8. Nilai Berat Jenis Partikel Tanah	33
Tabel 9. Klasifikasi Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan bebas	39
Tabel 10. Standar Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Berdasarkan ASTM	51
Tabel 11. Jumlah Benda uji untuk Pengujian tanah asli.....	52
Tabel 12. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi <i>Fly Ash</i>	53
Tabel 13. Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah.....	54
Tabel 14. Hasil Pengujian XRD.....	61
Tabel 15. Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)	63
Tabel 16. Klasifikasi Keandalan Tanah Berdasarkan AASHTO	64
Tabel 17. Rekapitulasi Identifikasi Tanah Ekspansif	67
Tabel 18. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli	70
Tabel 19. Perubahan Nilai Kadar Air Optimum dan Berat Isi Kering Maksimum Hasil Kompaksi pada Tanah Ekspansif Terstabilisasi <i>Fly Ash</i>	72
Tabel 20. Perubahan Nilai Berat Isi Kering (γ_{dry}) pada Benda Uji Setelah Masa Pemeraman.....	73

Tabel 21. Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) pada Benda Uji Setelah Masa Pemeraman.....	76
---	----

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah menjadi hal yang sangat penting dalam suatu konstruksi baik pada struktur bangunan maupun konstruksi jalan. Tanah merupakan tempat diletakkannya pondasi yang menjadi langkah awal pada pembangunan suatu konstruksi. Sebelum melakukan pembangunan perlu dilakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu, dikarenakan tanah memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda-beda.

Tanah ekspansif adalah tanah yang memiliki kembang susut tinggi diakibatkan oleh perubahan kadar air yang berpengaruh terhadap perubahan volume tanah. Permasalahan yang diakibatkan tanah ekspansif banyak dijumpai di Indonesia. Tanah ekspansif dapat mengakibatkan runtuhnya suatu bangunan dan begelombangnya aspal pada konstruksi jalan. Kerusakan yang diakibatkan oleh tanah ekspansif dapat diatasi dengan proses stabilisasi. Stabilisasi adalah salah satu upaya yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah, kuat tekan dan kepadatan tanah guna menahan beban struktur yang terdapat di atasnya.

Salah satu upaya untuk memperbaiki tanah tersebut (stabilisasi) yaitu dengan menambahkan *fly ash*. *Fly Ash* merupakan limbah pembakaran batu bara yang berupa debu dan banyak mengandung silika, bahan kimia karbon yang dapat menimbulkan penemuan

lingkungan dan berdampak pada Kesehatan. *Fly ash* mempunyai sifat *pozzolanik*.

Pada penelitian ini digunakan penambahan *fly ash* untuk stabilisasi yang diharapkan mampu meningkatkan nilai kuat tekan bebas pada tanah ekspansif.

Dari uraian yang telah dikemukakan diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul:

“EVALUASI NILAI KUAT TEKAN BEBAS TANAH EKSPANSIF TANAH TERSTABILISASI FLY ASH”

B. Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik tanah ekspansif yang digunakan untuk penelitian?
2. Bagaimana pengaruh variasi campuran fly ash dengan tanah ekspansif terhadap karakteristik mekanis?
3. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah ekspansif terstabilisasi fly ash?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah :

1. Mengetahui karakteristik dan klasifikasi tanah ekspansif yang digunakan dalam penelitian.
2. Mengetahui pengaruh variasi campuran fly ash dengan tanah ekspansif terhadap karakteristik mekanis.
3. Mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah ekspansif terstabilisasi fly ash.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian dibatasi pada:

1. Penelitian ini adalah penelitian skala laboratorium.
2. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah ekspansif yang berlokasi di Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan
3. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bahan stabilisasi fly ash.
4. Penelitian hanya meneliti sifat fisis dan mekanis, tidak meneliti unsur kimia tanah tersebut.
5. Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah yang dianalisis adalah
 - a. Pengujian Berat Jenis
 - b. Pengujian Kadar Air
 - c. Pengujian Batas-batas Atterberg

- d. Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer
- e. Pengujian Pematatan (kompaksi)
- f. Pengujian *Unconfined Compression Test* (UCT)
- g. Persentase berat campuran yang di uji adalah 5%, 10%, 20%, dan 25% terhadap berat tanah dengan kadar air mula-mula
- h. Waktu pemeraman setelah campuran tanah ekspansif dengan *fly ash* adalah 0, 7, 14, dan 28 hari dengan kondisi laboratorium

E. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut: Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori - teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan dari penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alir penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca (Hardiyatmo, 2001).

Selain itu, dalam pengertian teknik secara umum, 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 diantara partikel-partikel padat tersebut. (Das, 1995)

Menurut (Santoso, et al., 1998) pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan campuran butir di bedakan atas 3 macam yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya yaitu pasir dan kerikil.
- b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang hampir semua butir-butir dalam tanahnya adalah lempung dan lanau.
- c. Tanah organik adalah tanah yang banyak mengandung bahan-

bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatannya, tanah di kelompokkan menjadi:

- a. Tanah Kohesif merupakan tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya yakni tanah lempung cukup banyak
- b. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antar butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung misaln pasir.

B. 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 (Das, 1995).

Menurut Bowles (1979) Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif atau sebagai tanah berbutir kasar atau tanah berbutir halus. Istilah ini terlalu umum, sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya. Disamping itu, klasifikasi tersebut di atas tidak cukup lengkap untuk menentukan apakah tanah itu sesuai untuk suatu bahan konstruksi atau tidak.

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik

tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas. (Hardiyatmo, 2017)

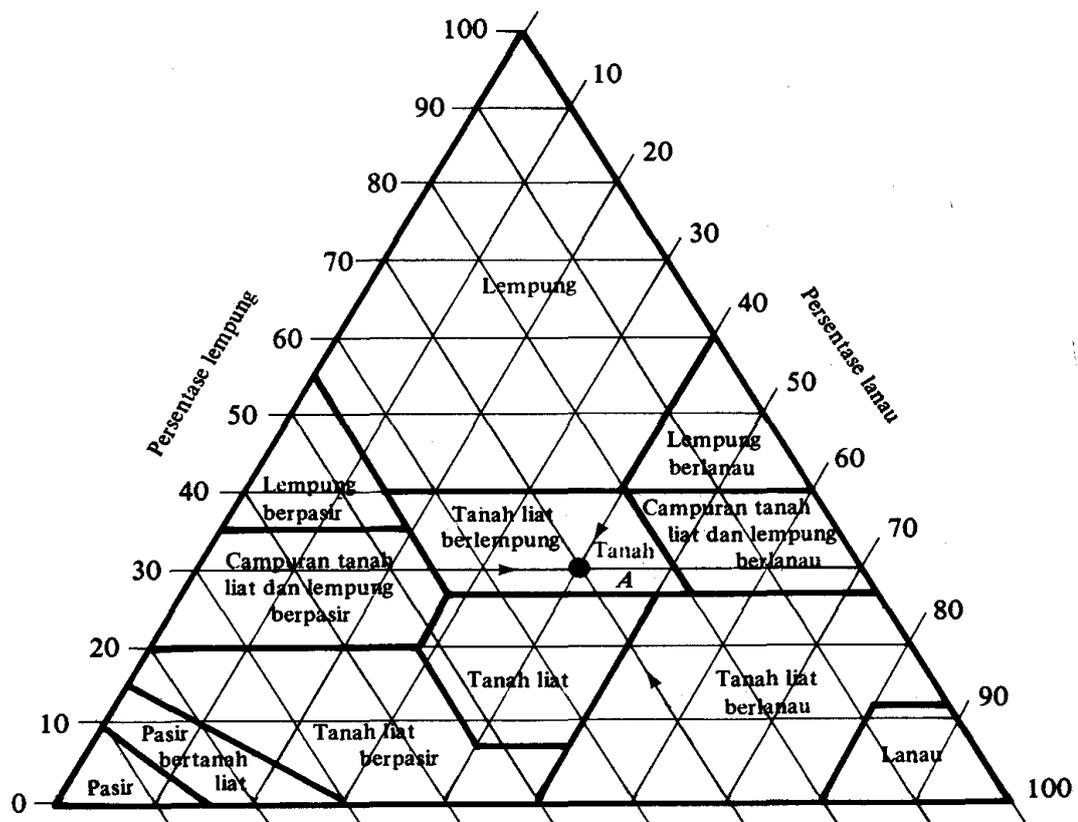
Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang di dasarkan pada tekstur dan pemakaian, yaitu:

B.1. Sistem Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Tekstur tanah merupakan keadaan permukaan tanah yang bersangkutan yang telah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Tanah dikelompokkan menjadi pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) atas dasar ukuran. Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari sistem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini. Gambar 1 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang telah dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA).

Sistem ini di dasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA, yaitu:

- a. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.
- b. Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm.
- c. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur Oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

B.2. Sistem Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Di era sekarang ini ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ilmuwan teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas atterberg. Sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi Unified. Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi Unified pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain.

a. Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway and Transportation Official*)

Klasifikasi tanah sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar yaitu: A-1 sampai dengan A-7, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1 , A-2 dan A-3 adalah tanah-tanah berbutir kasar di mana 35% atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan No. 200. Tanah-tanah di mana 35% atau lebih yang melalui ayakan No. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung. Klasifikasi sistem ini didasarkan atas kriteria-kriteria sebagai berikut: Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung. Klasifikasi sistem ini didasarkan atas kriteria-kriteria sebagai berikut:

a) Ukuran butir:

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm).

Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).

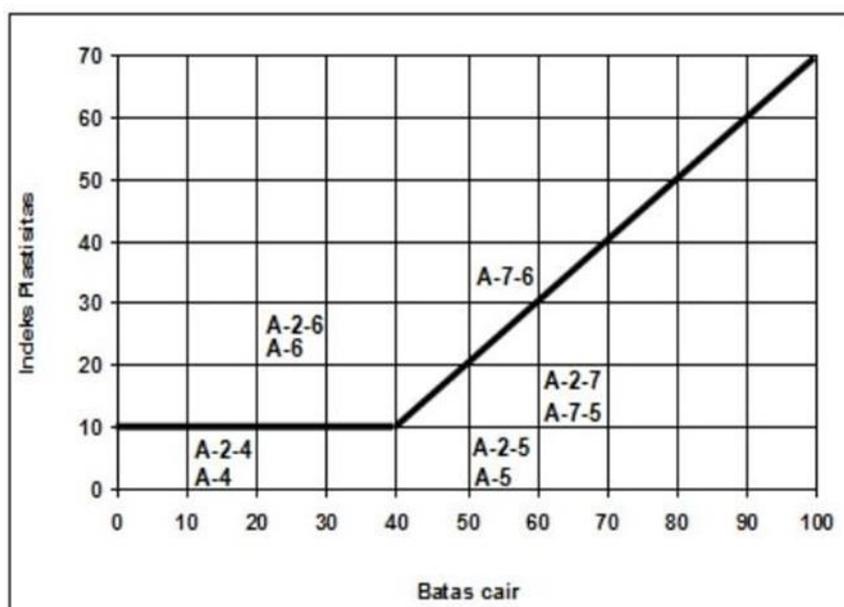
Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

b) Plastisitas:

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [*plasticity index (PI)*] sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

- c) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Gambar 2 menunjukkan gambaran daerah yang berhubungan dengan batas cair dengan indeks plastisitas tanah yang termasuk dalam kelompok-kelompok: A-2, A-4, A-5, A-6 dan A-7.



Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Klasifikasi tanah	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A - 1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Analisa ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks.50 Maks.30 Maks.15	Maks.50 Maks.25	Maks.51 Maks.10	Maks.35	Maks.35	Maks.35	Maks.35
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks. 6		NP	Maks.40 Maks.10	Min. 41 Maks.10	Maks.40 Min. 11	Min. 41 Min. 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlannau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi tanah	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7-5* A - 7-6**			
Analisa ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36			
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks Plastisitas (IP)	Maks. 40 Maks. 10	Min. 41 Maks. 10	Maks. 40 Min. 11	Min. 41 Min. 11			
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

* A-7-5, $PI \leq LL - 30$ ** A-7-6, $PI > LL - 30$ b. Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* (1942) untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan

terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers*. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

- a) Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **G**, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S**, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b) Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **M** untuk lanau (*silt*) anorganik, **C** untuk lempung (*clay*) anorganik dan **O** untuk lanau-organik dan lempung-organik. Symbol **PT** digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck dan tanah-tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Symbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi *USCS*, adalah :

W = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

L = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*), $LL < 50$

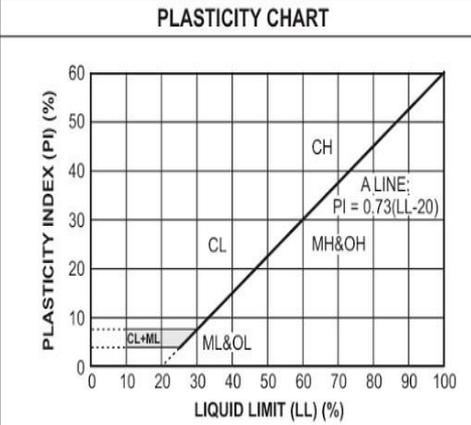
H = tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*), $LL > 50$

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : *GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC*. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200). (Das, 1995)

Menurut Hadiyatmo (2017) tanah diklasifikasikan dalam jumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS)

UNIFIED SOIL CLASSIFICATION AND SYMBOL CHART		LABORATORY CLASSIFICATION CRITERIA		
COARSE-GRAINED SOILS (more than 50% of material is larger than No. 200 sieve size.)				
Clean Gravels (Less than 5% fines)				
GRAVELS More than 50% of coarse fraction larger than No. 4 sieve size	 GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3	
	 GP	Poorly-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines		
	Gravels with fines (More than 12% fines)			
	 GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Above "A" line with P.I. between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols	
 GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures			
Clean Sands (Less than 5% fines)				
SANDS 50% or more of coarse fraction smaller than No. 4 sieve size	 SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3	
	 SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines		
	Sands with fines (More than 12% fines)			
	 SM	Silty sands, sand-silt mixtures	Limits plotting in shaded zone with P.I. between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols.	
 SC	Clayey sands, sand-clay mixtures			
FINE-GRAINED SOILS (50% or more of material is smaller than No. 200 sieve size.)				
SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50%	 ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty of clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity	Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5 percent GW, GP, SW, SP More than 12 percent GM, GC, SM, SC 5 to 12 percent Borderline cases requiring dual symbols	
	 CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays		
	 OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity		
SILTS AND CLAYS Liquid limit 50% or greater	 MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	PLASTICITY CHART 	
	 CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays		
	 OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts		
HIGHLY ORGANIC SOILS	 PT	Peat and other highly organic soils		

C. Klasifikasi dan Struktur Mineral Lempung Ekspansif

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Hardiyatmo (2010), mengatakan sifat-

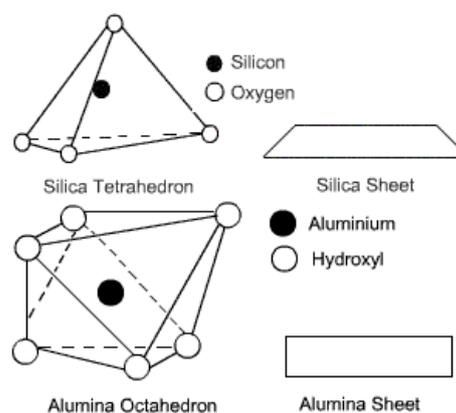
sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran-butiran halus > 0.002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut tinggi dan proses konsolidasi lambat.

Sifat dan perilaku lempung terlihat pada komposisi mineral, unsur-unsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh yang ditimbulkan di lingkungan sekitarnya. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari partikel tanah. Tanah lempung memiliki sifat yang khas yaitu apabila dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Ada beberapa hal istilah yang perlu dibedakan dalam mempelajari mengenai lempung yaitu:

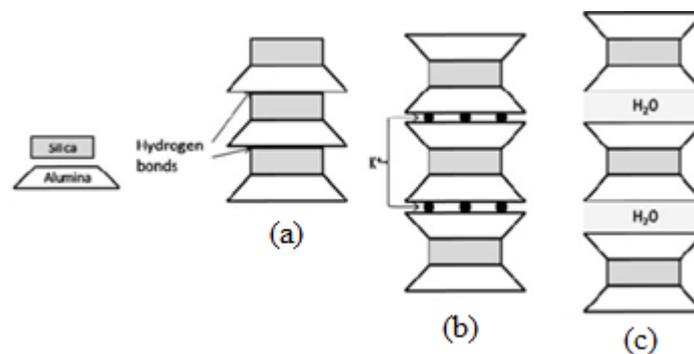
- a) Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dalam ukuran partikel, yang biasanya berukuran < 2
- b) Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik, kadang-kadang ukuran mineral ini < 2 , meskipun pada umumnya < 2

Hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbandingan antara luas dan permukaan dengan massa) yang tinggi. Bentuk lain dari partikel mineral lempung adalah seperti jarum, tetapi jarang terdapat di bandingkan dengan bentuk lempengan. Satuan dari struktur mineral lempung terdiri atas silika tetrahedron dan alumina oktahedron. Silikon dan aluminium mungkin juga diganti sebagian dengan unsur lain yang di sebut *subtitusi isomorfis*. Satuan-satuan dasar tersebut bergabung membentuk struktur lembaran yang secara simbolis terlihat pada Gambar 3 (Das, 1995).



Gambar 3. Struktur Dasar Mineral Lempung

Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari kombinasi susunan satuan lembaran dasar. Yang membedakan jenis-jenis mineral adalah kombinasi tumbukan lembaran dan macam ikatan antara masing-masing lembaran. Struktur-struktur utama mineral lempung (Craig, 1989).



Gambar 4. Mineral Lempung, (a) kaolinit, (b) ilite, (c) montmorilonit

Kaolinite adalah salah satu struktur utama mineral lempung. Bagian dasar struktur ini adalah lembaran tunggal silika tetrahedron yang digabung dengan alumina oktahedron. Substitusi isomorfis praktis tidak terjadi dalam struktur ini. Kombinasi lembaran silika aluminium diperkuat oleh hidrogen sebagai pelekat. Sebuah partikel kaolinit bisa mencapai lebih dari seratus tingkat. Namun, untuk sifat pengembangan mineral ini tergolong lebih kecil. Adapun rumus kimia dari *kaolinit* adalah $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (DAS, 1995).

Illite mempunyai struktur dasar sebuah lembaran alumina oktahedron yang diapit oleh dua lembaran silika tetrahedron. Kombinasi lembaran-lembaran tersebut di atas diberikan satu sama lain dengan perekat (tidak dapat di ganti) yang berkekuatan rendah akibat pengaruh ion potasium yang terdapat di antara mereka. Untuk sifat pengembangan tergolong sedang sampai tinggi, atau bias dikatakan medium. Rumus kimia mineral ini adalah $\text{K}_y\text{Al}_2(\text{FeMg}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_{4-y}\text{Al}_y\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Montmorillonite mempunyai struktur dasar yang sama dengan illit, tetapi dalam bagian oktahedral hanya magnesium yang menggantikan sebagian aluminium. Ruangan di antara kombinasi-kombinasi lembaran di atas diisi oleh molekul air dan kation-kation (dapat diganti) selain potasium. Kekuatan ikatan antara kombinasi-kombinasi lembaran ini sangat lemah. Pada montmorilonit dapat terjadi pemuaian (*swelling*) bila ada penambahan air yang terserap di antara kombinasi-kombinasi lembaran tersebut, karena mineral ini memiliki sifat pengembangan yang sangat tinggi. Adapun rumus kimia *montmorilonit* adalah $Al_2Mg(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot kH_2O$ (Bowles, 1998).

Gaya tolak menolak dan tarik-menarik bekerja antara partikel-partikel mineral lempung yang berdekatan. Tolak menolak terjadi antara muatan-muatan yang sejenis pada lapisan-lapisan ganda. Kenaikan valensi kation atau konsentrasinya akan mengakibatkan berkurangnya gaya tolak-menolak, dan sebaliknya. Gaya tarik menarik antar partikel adalah akibat pendeknya rentang gaya-gaya van der Waals; gaya-gaya ini tidak tergantung pada karakteristik lapisan ganda dan makin berkurang besarnya bila jarak antar partikel makin besar (Holtz, 1981).

Interaksi antar partikel-partikel mineral lempung tunggal jarang terjadi dan cenderung membentuk agregasi elementer dari partikel-partikel dengan orientasi lebih besar, yaitu struktur yang dipengaruhi oleh endapan sekelilingnya. Dua bentuk himpunan partikel yang sudah dikenal adalah *bolkhous* dan *turbostratic*.

Kriteria menurut Skala Udden-Wentworth, ukuran partikel lanau berada di antara 3,9 sampai 62,5 , lebih besar daripada lempung tetapi lebih kecil daripada pasir ISO 14688 memberi batasan antara 0,002 mm dan 0,063 mm, diantara lempung dan pasir. Pada kenyataannya, ukuran lempung dan lanau sering kali saling tumpang tindih, karena keduanya memiliki bangunan kimiawi yang berbeda. Lempung terbentuk dari partikel-partikel berbentuk datar/lempengan yang terikat secara elektostatik. Kriteria USDA, yang diadopsi oleh FAO, memberi batasan ukuran 0,05 mm untuk membedakan pasir dari lanau. Ini berbeda dari bahasa Unified Soil Classification System (USCS) dan sistem klasifikasi Tanah AASHTO (lembaga pengatur standar sipil Amerika Serikat), yang memberi ukuran batas 0,075 mm (atau pengayak #200).

Lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada di dalam tanah tersebut. Jika kandungan air banyak maka tanah tersebut akan mengembang dan kekuatan daya dukungnya akan berkurang, demikian juga sebaliknya jika kadar air berkurang atau kering, maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecahpecah di permukaannya, sedangkan daya dukung tanahnya akan meningkat. Perilaku dan sifat-sifat lempung sangat bergantung pada komposisi mineral, unsur kimia, tekstur lempung, dan partikel-partikelnya serta pengaruh dari lingkungan sekitarnya.

Ditambahkan oleh Chen (1975), bahwa secara umum tekanan pengembangan dipengaruhi oleh presentase butiran yang lolos saringan no. 200 dan batas cairnya. Semakin besar presentase butiran yang lolos saringan 200 dan batas cairnya, maka tekanan pengembangan pun akan semakin besar. Dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Tekanan Pengembangan Berdasarkan Presentase Lempung (Chen,1975)

Presentase Lewat Saringan no.200	Liquid Limit (%)	Swelling Pressure (Ksf)	Derajat Pengembangan
>95	>60	>20	Very High
60-90	40-60	5-20	High
30-60	30-40	3-5	Medium
<30	<30	1	Low

Dalam memahami sifat dan perilaku lempung diperlukan pengetahuan tentang tanah lempung ekspansif dan mineral lempung (Chen,1975). Pengembangan (swelling) pada tanah yang bersifat ekspansif merupakan pembesaran volume akibat penambahan kadar air. Potensi pembesaran volume tergantung dari peningkatan kadar air, indeks plastisitas, gradasi dan tekanan overburden. Penyusutan (Shrinkage) tanah ekspansif merupakan pengecilan volume akibat pengurangan kadar air. Penyusutan ini terjadi apabila kadar air tanah berkurang hingga mencapai lebih kecil dari nilai batas susutnya.

D. Identifikasi Tanah Ekspansif

Ada beberapa cara untuk mengidentifikasi suatu tanah bersifat ekspansif, diantaranya yaitu:

1. Visual

Cara awal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif yaitu dengan diamati secara visual. Ketika mengering karakteristik bongkahan tanahnya sangat keras, ketika dipotong akan licin dan ketika basah terasa lembut dan lengket. Meninggalkan sisa ketika diremas dengan tangan.

2. Identifikasi Tidak Langsung

Cara ini dilakukan di laboratorium dan membagi tanah ekspansif ke dalam berbagai potensi pengembangan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian batas-batas atterberg dan nilai aktivitas. Beberapa cara identifikasi tanah ekspansif cara tidak langsung adalah sebagai berikut:

a. Cara Chen (1988)

Beberapa Dalam melakukan identifikasi tanah ekspansif, ada dua cara yang dikemukakan Chen, yaitu : cara pertama, Chen menggunakan indeks tunggal yaitu *Plasticity Index (PI)* dan cara kedua yaitu menggunakan korelasi antara fraksi lempung lolos saringan no. 200, batas cair (LL), dan nilai N dari hasil uji *Standart Penetration Test (SPT)*

Tabel 4 menunjukkan hubungan antara harga PI dengan potensi

pengembangan yang dibagi menjadi 4 kategori, yaitu : potensi pengembangan rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Tanah ekspansif dengan tingkat pengembangan tinggi sampai sangat tinggi yaitu nilai Plasticity Index $> 55\%$. :

Tabel 4. Korelasi nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan

Indeks Plastisitas (PI) %	Potensi Pengembangan
0 – 15	Rendah
10 – 35	Sedang
20 – 55	Tinggi
>55	Sangat tinggi

Sumber : (Chen, 1988 dalam Das, 1995)

b. Cara Skempton (1953)

Skempton mengidentifikasi tanah ekspansif dengan activity, yaitu perbandingan antara harga Plasticity Index (PI) dengan prosentase fraksi lempung (CF), dengan persamaan :

$$Ac = PI / CF \quad (1)$$

Dimana :

Ac = Aktivity

PI = Plasticity Index

CF = Prosentase lolos saringan no. 200

Pada tabel 5 dibawah menunjukkan hubungan antara potensi pengembangan dengan nilai aktifitas.

Tabel 5. Hubungan nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan

Nilai Aktifitas Tanah	Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
<0,75	Tidak Aktif	Rendah
0,75<Ac<1,25	Aktif	Sedang
>1,25	Sangat Aktif	Tinggi

Sumber : Skempton (1953)

c. Cara Seeds (1962)

Cara ini mempergunakan actifity Skempton yang dimodifikasi, yaitu:

$$Ac = PI / (CF - 10) \quad (2)$$

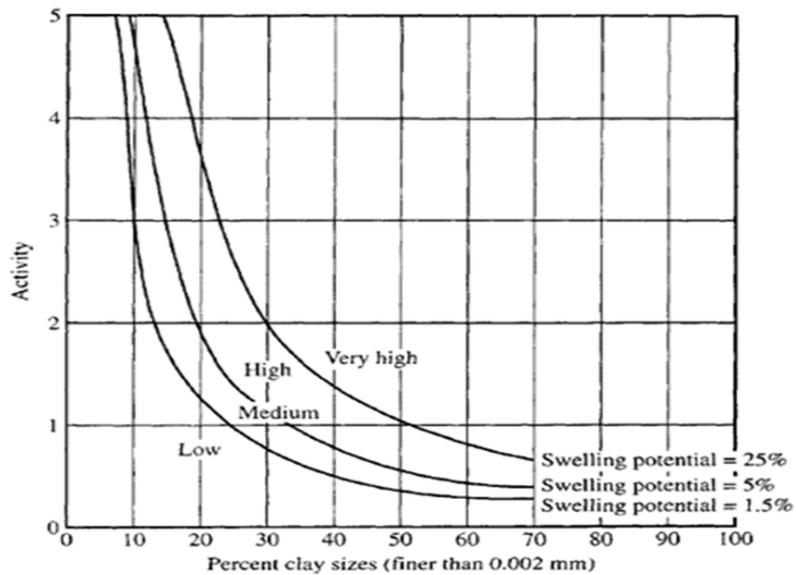
Dimana :

Ac = Actifity

PI = Plasticity Index (%)

CF = Presentase lolos saringan no. 200 angka 10 adalah faktor reduksi

Pada gambar 5 dibawah ini menunjukkan grafik hubungan antara presentase tanah lolos saringan no. 200 dan aktifity serta potensial swelling. Tanah ekspansif dengan aktifity lebih besar dari (very high) dan prosentase lolos saringan no. 200.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Persentase tanah dan Aktifitas

Seed et al., 1964 sebagaimana dikutip dalam Chen, 1975 membuktikan bahwa hanya dengan plasticity index saja sudah cukup untuk indikasi tentang pemuaihan tanah lempung. Oleh Seed et al., dirumuskan satu persamaan untuk menunjukkan hubungan antara potensi pengembangan (swell potential) dengan indeks plastisitas (*plasticity index*) sebagai berikut:

$$S = 60 k (PI)^{2,44} \quad (3)$$

Dimana:

S = Swell Potential

PI = Plasticity Index

k = $(2,16 \times 10^{-5})$

Tabel 6. Hubungan *swell potential* dengan *plasticity index*

<i>Swell Potential</i>	<i>Plasticity Index</i>
<i>Low</i>	<12
<i>Medium</i>	12-23
<i>High</i>	23-32
<i>Very High</i>	>32

Dari aktivitas juga dapat diidentifikasi jenis material yang terkandung dalam suatu tanah lempung. Nilai-nilai aktivitas dari mineral lempung dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini:

Tabel 7. Aktifitas Beberapa Jenis Mineral Lempung (Bowles, 1985)

Mineral	Aktivitas
Montmorillonite	1,0-7,0
Illite	0,5-1,0
Kaolinite	0,4-0,5

3. Identifikasi Langsung

Dilakukan test langsung pada tanah dengan cara *uji pengembangan bebas dan uji oedemeter*.

4. Identifikasi Mineralogi

Menurut Gromko (1974) dengan menggunakan serangkaian pengujian dengan mikroskop electron dan optic, difraksi sinar-X, analisa perbedaan thermal, analisa sinar inframerah, dye adsorption dan analisa kimiawi kandungan mineral suatu jenis tanah dapat ditentukan. Pengujian yang paling sering dan banyak digunakan untuk menentukan kandungan kimiawi

jenis tanah beserta bentuk dan susunan struktur kristalnya adalah metode pengujian difraksi Sinar-X.

E. Stabilisasi Tanah

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain:

1. Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap properti tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (*soil stabilization as "the alteration of any property of a soil to improve its engineering performance"*). Dalam pengertian ini Lambe memaknai sifat- sifat tanah (*soil property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah.
2. John A. Epps et al. (1971), mengartikan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*soil properties*)
3. Ingles & Metcalf (1972), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Punmia (1980), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya.

Dalam hal ini menurut Punmiabahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilitas tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.

5. Winterkorn (1975), menyatakan bahwa Stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisik, kimia, atau biologi, atau kombinasi metode semacam itu, yang digunakan untuk memperbaiki sifat tertentu dari tanah alami agar sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.

Selain definisi diatas, masih banyak lagi terminologi yang di kemukan beberapa ahli. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan *additive* (kimiawi), pencampuran tanah (*re- gradation*), pengeringan tanah

(*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik).

2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Dari kedua pengklasifikasian di atas, terlihat korelasi antara keduanya, bahwa :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik.
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*), relevan dengan stabilisasi mekanis.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas tiga jenis, yakni :

1. Stabilisasi Kimia ; yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
2. Stabilisasi Fisik ; yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik

lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

3. Stabilisasi Mekanis ; yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai “perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Contohnya stabilisasi dengan *metal strip, geotextile, geomembrane, geogrid, vertical drain*, dan lain sebagainya.

Sebagaimana dengan tujuan dari setiap tindakan stabilisasi tanah, maka tujuan umum dari perbaikan tanah adalah untuk :

1. Meningkatkan daya dukung tanah.
2. Meningkatkan kuat geser tanah.
3. Memperkecil kompresibilitas dan penurunan tanah.
4. Memperkecil permeabilitas tanah (kasus : tanggul)
5. Memperbesar permeabilitas tanah (kasus : *dewatering* dan *sand lense*).
6. Memperkecil potensi kembang-susut pada tanah (*swelling potential*).
7. Menjamin kelestarian dan keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan.

Dari sekian banyak jenis perbaikan tanah yang dapat dilakukan, baik yang bersifat kimiawi maupun yang bersifat fisik, masing-masing

memiliki kelebihan dan kelemahan.

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan di dalam memilih jenis dan tipe perbaikan tanah yang akan diterapkan dalam setiap tindakan perbaikan tanah, antara lain :

1. Jenis dan karakteristik tanah, termasuk sifat-sifat kimia dan fisik, termasuk mineralogi tanah yang akan diperbaiki.
2. Jenis dan karakteristik konstruksi yang akan dibangun, terutama beban konstruksi.
3. Parameter tanah yang perlu diperbaiki, sesuai kebutuhan konstruksi.
4. Kedalaman lapisan tanah yang akan diperbaiki
5. Sifat kimia dan sifat fisik dari bahan stabilizer yang akan digunakan.
6. Harga bahan stabilizer yang akan digunakan, terutama dikaitkan dengan efisiensi biaya perbaikan.
7. Ketersediaan bahan dan peralatan di lokasi perbaikan tanah
8. Kondisi lingkungan di sekitarnya (*existing environmental*).

Tujuan yang terakhir, seyogyanya menjadi tujuan yang melekat pada setiap perlakuan dan tindakan di dalam perbaikan tanah, terutama yang dilakukan dengan menggunakan bahan *additive*, yang bisa bereaksi dengan unsur-unsur bahan alamiah (*natural material*) dan akan mengubah struktur dan komposisi dan material alamiah tersebut (Darwis, 2017).

F. Fly Ash

Fly Ash merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh aliran gas pembakaran serta ditangkap dengan menggunakan elektrostatic precipitator. Material sisa pembakaran ini, antara lain berupa abu dasar (bottom ash), terak (slag), dan abu terbang (fly ash). Fly ash merupakan bagian dari residu yang butirannya relative sangat kecil (Hary C. Hardiyatmo, 2010).

Fly ash pada umumnya lebih halus dari semen portland dan terdiri dari partikel-partikel kaca (Sphere of glass) dengan komposisi yang kompleks dari silika, ferric oksida dan alumina. Komposisi fly ash beragam menurut sumber batubaranya. American Society for Testing Materials (ASTM) membagi fly ash kedalam kelas F dan kelas C. Fly ash kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous coal. Sifat fly ash jenis ini tidak self-hardening akan tetapi umumnya bersifat pozzolan. Jadi dengan adanya air fly ash ini bereaksi dengan kapur untuk membentuk hasil-hasil yang bersifat cementitious. Reaksi pozzolan ini berlangsung secara lambat. Fly ash kelas C biasanya merupakan hasil pembakaran batubara yang sub-bituminous dan lignite yang selain mempunyai sifat pozzolan juga mempunyai sifat self-hardening sehingga pada waktu dicampur dengan air fly ash jenis ini akan mengeras akibat hidrasi seperti halnya pada semen portland.

G. Berat Jenis

Berat jenis partikel (specific gravity) tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada suhu 40C (Hardiyatmo, 1992). Nilai berat jenis partikel tanah dapat dilihat pada Tabel 8 berikut :

Tabel 8. Nilai Berat Jenis Partikel Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2.65-2.68
Pasir	2.65-2.68
Lanau tak organik	2.62-2.68
Lanau organik	2.58-2.65
Lempung tak organik	2.68-2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25-1.80

Sumber : Hardiyatmo (1992)

H. Batas-Batas Atterberg

Hardiyatmo (2012) memaparkan bahwa suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Terdapat 3 macam batas-batas atterberg, yaitu:

a. Batas cair (Liquid Limit) Batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah

pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji casagrande (Hardiyatmo, 2012). Muntohar (2009) menjelaskan jika pada kondisi cair, tanah memiliki kekuatan yang sangat rendah dan terjadi deformasi yang sangat besar. Namun sebaliknya, kekuatan tanah menjadi sangat besar dan mengalami deformasi yang sangat kecil dalam kondisi padat.

b. Batas plastis (Plastic Limit) Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2012).

c. Batas susut (Shrinkage Limit) Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah (Hardiyatmo, 2012).

I. Analisa Ukuran Butir

Sifat-sifat tanah bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis ukuran butir tanah merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan (Hardiyatmo, 2012). Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan. Terdapat dua metode untuk mengetahui distribusi ukuran partikel, yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer.

a. Analisis saringan

Penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas-batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan. Batas terbawah saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir (Muntohar, 2009)

b. Analisis hidrometer Muntohar (2009) menjelaskan proses penyaringan tidak dapat digunakan untuk tanah berbutir halus, seperti lanau dan lempung karena ukuran partikelnya sangat kecil berupa koloid (colloid). Sehingga untuk tanah berbutir halus, digunakan metode analisis hidrometer. Bila contoh tanah terdispersi di dalam air, partikel-partikel mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda bergantung pada ukuran, berat, dan bentuk serta kekentalan (viscosity) air. Partikel yang lebih besar akan mengendap lebih cepat diikuti dengan partikel-partikel yang lebih kecil.

J. Pemadatan Tanah (Kompaksi)

Pemadatan tanah adalah suatu proses memadatkan partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Pemadatan dilakukan bila tanah dilapangan membutuhkan perbaikan untuk mendukung konstruksi di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan. Maksud dari pemadatan tanah adalah sebagai berikut;

1. menambahkan nilai kuat geser tanah,

2. mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
3. mengurangi sifat permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lainnya.

Kepadatan tanah tergantung pada nilai kadar air, saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini melunakan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat. Jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya, bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah. Uji pemadatan tanah atau Proctor Standard adalah metode laboratorium untuk menentukan eksperimental kadar air yang optimal dimana suatu jenis tanah tertentu akan menjadi paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum. Teori pemadatan pertama kali dikembangkan oleh R.R. Proctor. Empat variabel pemadatan tanah yang didefinisikan oleh Proctor, yaitu usaha pemadatan atau energi pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan lain-lain), kadar air, dan berat isi kering. Pemadatan standar (standar compaction) adalah usaha untuk memadatkan dengan alat pemadatan standar. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_w) dan kadar air (ω), dinyatakan dalam Persamaan 2 berikut ini :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\omega} \quad (4)$$

Prinsip Uji Proctor Standard adalah tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder dengan diameter 101,6 mm dan volume 943,3 cm³. Tanah dalam cetakan dipadatkan menggunakan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Pemadatan tanah dilakukan dalam tiga lapisan dengan jumlah tumbukan tiap lapisan sebanyak 25 kali. Hasil pengujian akan memperlihatkan kurva nilai kadar air optimum (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering paling besar atau kepadatan maksimum. Nilai kadar air rendah pada kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit untuk dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume air akan berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dipaksa keluar pada saat pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi dalam praktek, kondisi ini sulit dicapai.

K. Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas adalah tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Uji kuat tekan bebas adalah salah satu cara untuk mengetahui geser tanah. Uji kuat tekan bebas bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan bebas suatu jenis tanah yang bersifat kohesif, baik dalam keadaan asli (undisturbed), buatan (remoulded) maupun tanah yang dipadatkan (compacted). Kuat tekan bebas (q_u) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (sampel tanah) sebelum mengalami

keruntuhan. Nilai kuat tekan bebas (unconfined compressive strength) didapat dari pembacaan proving ring dial dengan tegangan maksimum.

$$qu = \frac{k \times R}{A} \quad (5)$$

Dimana:

qu = Kuat Tekan Bebas

k = Kalibrasi Proving Ring

R = Pembacaan Maksimum

A = Luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan R

Uji kuat tekan bebas (Unconfined Compression Strength) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Uji tekan bebas ini dilakukan pada contoh tanah asli dan contoh tanah tidak asli lalu diukur kemampuannya masing-masing contoh terhadap kuat tekan bebas. Dari nilai kuat tekan maksimum yang dapat diterima pada masing-masing contoh akan didapat sensitivitas tanah. Nilai sensitivitas ini mengukur bagaimana perilaku tanah jika terjadi gangguan dari luar.

Tabel 9. Klasifikasi Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan bebas

Sifat Tanah	Unconfined Compression Test
Very soft (sangat lunak)	< 0,25 kg/cm ²
Soft (lunak)	0,25 – 0,50 kg/cm ²
Firm/Medium (tengah)	0,50 – 1,00 kg/cm ²
Stiff (kenyal)	1,00 – 2,00 kg/cm ²
Very stiff (sangat kenyal)	2,00 – 4,00 kg/cm ²
Hard (keras)	> 4,00 kg/cm ²

Sumber : Das, 1994

L. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah dengan penambahan *fly ash* telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh:

1. Arinda Leliana, Nur Andajani (2015) : Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Magetan Jawa Timur.

Penelitian ini dilakukan guna untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *fly ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai kuat tekan bebas guna untuk memperbaiki kekuatan tanah pada pondasi dangkal. Populasi dalam penelitian ini menggunakan tanah lempung ekspansif daerah Bogem Sukomoro Magetan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium yang meliputi beberapa pengujian antara lain uji berat jenis butiran tanah, uji Atterberg terdiri dari uji batas cair

(LL) dan uji batas plastis (PL) untuk mendapatkan nilai index plastis (IP), uji pemadatan tanah sehingga diperoleh nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum yang kemudian nilai tersebut di gunakan untuk uji kuat tekan bebas. Benda uji yang digunakan yaitu tanah lempung ekspansif dengan komposisi perbandingan campuran fly ash sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahan stabilisasi fly ash dapat memperbaiki sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung ekspansif. Nilai kuat tekan bebas yang paling efektif sebesar 4,041gr/cm² pada penambahan fly ash 10% dari tanah asli, dengan presentase kenaikan sebesar 46,68% per 10% (1% nya naik 4,67%) dan tergolong tanah lempung sangat kaku. Penambahan fly ash pada tanah lempung akan mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah yang sebanding dengan peningkatan kuat tekan tanah.

2. Bill Yohanes Walewangko, Oktovian B.A.Sompie, J.E.R.Sumampouw (2020) :Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Tras pada Tanah Lempung terhadap Nilai CBR.

Penelitian ini menggunakan fly ash dan tras sebagai bahan stabilisasi, yaitu dengan menambahkan fly ash dan tras dengan variasi campuran 5%, 10%, 15%, dan 20% fly ash dan tras terhadap berat contoh tanah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari bahan stabilisasi fly ash dan tras terhadap nilai CBR melalui pengujian CBR Laboratorium dan daya dukung pada umumnya.

Penelitian menggunakan tanah yang diambil dari Desa Sawangan, Kecamatan dengan kondisi sampel tanah terganggu diambil pada kedalaman 150-250 cm. Lokasi pengambilan fly ash dari PLTU Amurang Minahasa Selatan dan tras hasil letusan Gunung dari Wilayah Koka. Percobaan CBR yang digunakan adalah CBR laboratorium rendaman. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik di laboratorium berdasarkan nilai presentase lolos saringan no.200 tanah lempung diatas, didapat hasil $\geq 50\%$ lolos, maka berdasarkan table klasifikasi USCS tanah ini secara umum dikategorikan kedalam golongan tanah berbutir halus. Dengan merujuk pada hasil diatas maka tanah berbutir halus tersebut termasuk kedalam kelompok campuran CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays). Berdasarkan hasil penelitian dengan variasi campuran antara fly ash 2.5% + Tras 2.5% sampai dengan fly ash 10% + tras 10%, maka diperoleh nilai berat isi tanah kering maksimum semakin besar, sedangkan kadar air optimum semakin kecil mengikuti persamaan $y = -0,0081x^2 + 0,0339x + 23,963$ & $y = 0,0003x^2 + 0,0018x + 1,1874$, menyatakan bahwa semakin padat tanah tersebut berarti semakin besar pula daya dukungnya. Berdasarkan hasil penelitian, tanah lempung yang distabilisasi dengan fly ash 2.5% + Tras 2.5% nilai CBR = 1,72%, fly ash 5% + tras 5% nilai CBR = 2,00%, fly ash 7,5% + tras 7,5% nilai CBR = 2,52% dan fly ash 10% + tras 10% nilai CBR = 3,24%. Dari hasil

tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai CBR rendaman pada penambahan fly ash 2.5% + Tras 2.5% sampai dengan fly ash 10% + tras 10% mengikuti persamaan $y = 0,0037x^2 + 0,0113x + 1,5342$, dapat disimpulkan bahwa semakin besar (%) penambahan Fly Ash dan tras maka semakin besar pula nilai CBR (daya dukung tanah). Kenyataan semakin besar (%) penambahan Fly Ash dan tras maka semakin besar pula CBR (daya dukung tanah).

3. Erdina Tyagita Utami , Hermon Frederik Tambunan, Indi Rezki Uli Simanjuntak (2021) : Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar (Studi Kasus : Karang Anyar, Lampung Selatan).

Dalam penelitian ini tanah dasar yang digunakan adalah jenis tanah lempung berplastisitas rendah yang berasal dari Karang Anyar, Lampung Selatan. Penelitian ini menganalisis perubahan karakteristik daya dukung CBR tanah lempung yang distabilisasi. Abu terbang (fly ash) yang digunakan berasal dari sisa hasil pembakaran batu bara yang diperoleh dari PLTU Tarahan, Lampung Selatan. Penelitian ini diawali dengan studi pustaka mengenai sifat fisis tanah lempung, metode-metode perbaikan tanah lempung, abu terbang, dan stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan abu terbang. Kemudian dilakukan pengambilan sampel tanah asli dan pengujian sifat-sifat fisis tanah (specific gravity, kadar air) batas Atterberg tanah, dan pengujian ukuran butiran tanah menggunakan

pengujian hidrometer serta analisis saringan. Dilakukan pengujian pemadatan tanah pada sampel tanah asli yang berguna untuk menentukan nilai kadar air optimum (OMC), dan Berat isi kering maksimum (MDD), serta jumlah air yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel CBR. Pengujian pemadatan yang dilakukan sesuai dengan SNI 1742-2008 tentang uji kepadatan ringan. Untuk pengujian pemadatan ringan, spesifikasi alat dan cara pengujian harus sesuai dengan SNI 1742-2008. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai daya dukung tanah CBR akibat pengaruh penambahan fly ash, dan pengaruh energi yang berasal dari tumbukan. Tanah berplastisitas rendah dicampur dengan fly ash dengan kadar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Variasi tumbukan yang dilakukan untuk pengujian CBR yaitu 10, 25, dan 56. Pengambilan data CBR menggunakan metode CBR tanpa rendaman dan rendaman. Proses CBR rendaman dilakukan dengan merendam sampel selama 4 hari sebelum diuji. Hasil yang diperoleh adalah terjadinya peningkatan nilai CBR pada setiap penambahan fly ash. Nilai tertinggi yang diperoleh pada pengujian CBR tanpa rendaman adalah 22,00% dan yang paling rendah 13,33%. Pada pengujian CBR rendaman diperoleh nilai tertinggi 3,73% dan terendah 1,33%.

4. Elsy E. Hangge, Rosmiyati A. Bella, Martha C. Ullu (2021) : Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif.

Pada penelitian ini digunakan sampel tanah dari Desa Oebelo, kapur dan fly ash sebagai bahan stabilisasinya dengan tujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanis tanah serta daya dukung tanah yang distabilisasi dengan kapur dan fly ash dengan variasi campuran kapur 5% (tetap) dan fly ash 10%, 15%, 20% dan 25%. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, berupa pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis tanah di laboratorium. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan kapur dan fly ash untuk mengetahui kuat dukung maksimum yang dihasilkan melalui pengujian CBR (California Bearing Ratio). Seiring penambahan persentase kapur dan fly ash, nilai dari beberapa parameter yaitu berat jenis tanah, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kadar air optimum dan potensi pengembangan tanah mengalami penurunan, sedangkan parameter batas susut, berat volume kering tanah padat dan nilai CBR mengalami peningkatan. Perubahan yang lain adalah pada variasi campuran kapur 5% dan fly ash 25% dengan pemeraman 7 hari terjadi penurunan pada nilai pengembangan tanah sebesar 69,34% dan peningkatan pada nilai CBR (soaked) sebesar 620,56%

5. Taufan Candra Abadi (2015) : Perbandingan Hasil Stabilisasi Dengan Fly Ash Dan Semen Pada Tanah Ekspansif Cikampek.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari pengaruh penambahan semen atau fly ash pada daya dukung tanah dan seberapa besar semen dan fly ash optimum yang dapat digunakan untuk stabilisasi pada tanah lempung ekspansif Cikampek. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan hasil dari stabilisasi tanah dengan menggunakan semen sebagai hasil industri terhadap fly ash sebagai limbah industri. Hasil industri berupa semen dan limbah industri berupa fly ash digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kuat geser tanah ekspansif Cikampek. Pada penelitian ini tanah ekspansif Cikampek distabilisasi dan dites dengan menggunakan uji modified proctor dan unconfined. 2Variasi penambahan semen yang digunakan adalah 5%, 10%, 15% dan 20%; sedangkan untuk fly ash variasi penambahannya adalah 2.5%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Kondisi kadar air pengujian dibagi menjadi sisi kering, sisi optimum dan sisi basah. Setelah melewati curing time 1, 7, 14, dan 28 hari maka sample dites dengan menggunakan unconfined compression strength. Hasil penelitian dengan menggunakan semen sebagai bahan stabilisasinya, menunjukkan bahwa kuat geser tanah akan meningkat secara signifikan pada saat kondisi optimum dan sisi basah dengan penambahan semen yang digunakan sebesar 20%. Namun

penambahan untuk sisi kering adalah 15% yang memberikan hasil terbaik. Peningkatan terbesar mencapai 687.82% pada kadar semen 20% untuk kondisi sisi basah. Hasil dari tes unconfined compression strength, pada sisi kering, optimum dan sisi basah kuat geser tanah terbesar dicapai pada saat curing time mencapai 28 hari. Persentase optimum untuk fly ash yang bisa digunakan pada sisi optimum dan sisi basah adalah 5% dan 10% untuk sisi kering berdasarkan uji komposisi modified.

6. Ernawan Setyono (2018) : Pengaruh Bahan Tambah Fly Ash Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Dringu Kabupaten Probolinggo

Penelitian yang akan dilakukan adalah stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan bahan tambah fly ash dengan parameter mekanis CBR dan Kuat tekan bebas. Hasil penelitian dari pengaruh bahan tambah fly ash terhadap karakteristik tanah lempung ekspansif ialah mengalami penurunan dari uji batas konsistensi tanah seperti LL, PL dan PI. Kemudian untuk CBR dan Kuat Tekan Bebas dengan variasi campuran 0% sampai dengan 20% terus meningkat hingga mencapai titik puncak pada persentase 17,5% dengan nilai CBR 20,63% dan Kuat Tekan Bebas sebesar 0,53 kg/cm², sedangkan pada persentase 20% menurun dengan nilai CBR 19,42% dan Kuat Tekan Bebas 0,525 kg/cm².