

TUGAS AKHIR

**EVALUASI NILAI KUAT GESER TANAH EKSPANSIF
DENGAN STABILISASI BAHAN FLY ASH**

***EVALUATION OF EXPANSIVE SOIL SHEAR STRENGTH
WITH STABILIZATION OF THE FLY ASH***

**CHARLIE EFREIN
D011 18 1006**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**EVALUASI NILAI KUAT GESER TANAH EKSPANSIF DENGAN STABILISASI
BAHAN FLY ASH**

Disusun dan diajukan oleh:

CHARLIE EFREIN

D011 18 1006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 25 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,



Dr. Eng. Tri Harianto ST, MT
NIP: 197203092000031002

Pembimbing II,



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

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196803292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Charlie Efrein, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul " **Evaluasi Nilai Kuat Geser Tanah Ekspansif Dengan Stabilisasi Bahan 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, Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Charlie Efrein

NIM: D011 18 1006

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 tantangan 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. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua dan **Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I sekaligus Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan **Ibu Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua ibu tercinta, yaitu Ibu **Christien Yulwaty L.** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. Teman-teman KKD Geoteknik, **Asmud, Bara, Chandra, Egi, Rahul, Shafwan, Sopian, Ana, Asti, Feby, Ipa, Meca, Novi**, dan **Upe** yang selalu menjadi teman diskusi yang luar biasa dan menghasilkan masukan-masukan demi rampungnya tugas akhir ini.

3. **Radix, Fikri dan Fiqih** sebagai rekan dan sahabat penulis yang selalu memberikan bantuan dan dukungan baik di dunia perkuliahan ataupun diluar perkuliahan.
4. Kepada Grup Warna-Warni **Asih, 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
5. Saudara-saudari **TRANSISI 2019** atas waktu, cerita, kenangan, dan semangatnya yang tak lekang oleh masa, semoga tetap solid dan maju, terima kasih karena telah menjadi salah satu pendukung setia dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas semua dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Januari 2023
Hormat Saya,

Charlie Efrein

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang memiliki potensi pengembangan dan penyusutan yang sangat tinggi akibat perubahan kadar air. Potensi ini sering menyebabkan kerusakan struktur bangunan dan jalan seperti jalan bergelombang, retak dan lainnya. Oleh karena itu diperlukan metode stabilisasi tanah untuk mengatasi masalah pengembangan dan susut yang ditemui pada tanah lempung ekspansif. Permasalahan tanah ekspansif dapat diatasi dengan melakukan stabilisasi baik menggunakan bahan kimia ataupun dengan bahan alami yang lebih ramah lingkungan

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik tanah ekspansif yang akan digunakan dalam penelitian, untuk mengetahui pengaruh variasi campuran *fly ash* terhadap karakteristik tanah ekspansif, untuk mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap peningkatan nilai parameter kuat geser tanah ekspansif terstabilisasi *fly ash*.

Pengujian *Direct Shear Test* dipilih sebagai metode untuk menguji nilai kuat geser tanah yang telah distabilisasi pada penelitian ini. Stabilisasi tanah ekspansif dilakukan dengan variasi penambahan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 20% dan 25% terhadap berat sampel, dimana dilakukan masa pemeraman 0 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, kemudian diuji dengan alat *Direct Shear Test*.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan *fly ash* dan masa pemeraman memiliki efek terhadap peningkatan daya dukung tanah. Dalam hal ini, terbukti nilai kohesi terus meningkat dari nilai kohesi tanah asli sebesar 0,22 kg/cm² menjadi 1,75 kg/cm² pada campuran 10% *fly ash* dengan masa pemeraman 28 hari. Untuk nilai sudut geser dalam tanah juga terjadi peningkatan dari sudut geser tanah asli 20,1° menjadi 29,5° pada campuran 10% *fly ash* dengan masa pemeraman 28 hari.

Kata kunci: Tanah Ekspansif, *Fly Ash*, Kohesi, Sudut Geser

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
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 dan Klasifikasi Tanah	6
B. Tanah Lempung Ekspansif.....	15
C. Stabilisasi Tanah	20
D. Fly Ash	25
E. Berat Jenis Tanah	25
F. Batas-Batas Atterberg	26
G. Analisa Ukuran Butir	27
H. Geser Langsung (Direct Shear)	28
I. Penelitian Terdahulu	31
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	35
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	35
B. Metode Pengumpulan Data.....	35
C. Kerangka Alir Penelitian	36
D. Material.....	38
E. Metode Analisis Tanah Ekspansif	39

F. Standar Pengujian	41
G. Pengujian Karakteristik Tanah Asli	42
H. Optimalisasi Bahan Stabilisator	43
I. Pengujian Sampel	44
J. Proses Pembuatan Benda Uji	46
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah	48
B. Karakteristik Sifat Mekanis Tanah Dengan Stabilisasi Fly Ash.....	59
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	64
A. Kesimpulan.....	64
B. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) (Das, 1995).....	8
Gambar 2. Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7 (Das, 1995)....	11
Gambar 3. Struktur Dasar Mineral Lempung	16
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Persentase Tanah dan Aktifitas	19
Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.....	35
Gambar 6. Bagan Alir Penelitian.....	37
Gambar 7. Tanah Asli	38
Gambar 8. Fly Ash (ukuran < 0,075 mm).....	38
Gambar 9. Pengembangan bebas tanah ekspansif	39
Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	49
Gambar 11. Grafik Gradasi Butiran.....	50
Gambar 12. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS	51
Gambar 13. Grafik Klasifikasi Potensi Pengembangan	55
Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO	11
Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS).....	14
Tabel 3. Korelasi nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan	17
Tabel 4. Hubungan nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan	18
Tabel 5. Klasifikasi Potensi Pengembangan.....	20
Tabel 6. Nilai Berat Jenis Partikel Tanah	26
Tabel 7. Standar Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Berdasarkan ASTM	42
Tabel 8. Jumlah Benda Uji untuk Pengujian Tanah Asli	42
Tabel 9. Variasi Penambahan Bahan Stabilisasi	43
Tabel 10. Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah	44
Tabel 11. Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).....	52
Tabel 12. Klasifikasi Keandalan tanah Berdasarakan AASHTO	53
Tabel 13. Rekapitulasi Identifikasi Tanah Ekspansif.....	56
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Sifat Fisis dan Sifat Mekanis Tanah Asli.....	59

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fungsi tanah sebagai tempat berdirinya bangunan memerlukan kondisi tanah yang stabil sehingga apabila ada kondisi tanah yang buruk maka diperlukan adanya perbaikan yang lebih dikenal dengan istilah soil stabilization. Tanah yang tersedia di alam seringkali memiliki sifat fisik dan mekanik yang terbatas, sehingga beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan tanah, salah satunya adalah sifat ekspansif tanah.

Tanah lempung ekspansif dapat dilihat berdasarkan indeks plastisitas yang tinggi dan sangat sensitif terhadap perubahan kadar air, menjadikannya lengket dan mengembang pada kondisi basah serta keras dan retak pada kondisi kering. Oleh karena itu, diperlukan upaya stabilisasi yang bertujuan untuk menurunkan indeks plastisitas dan meningkatkan kuat geser. Kerusakan akibat tanah ekspansif dapat diatasi dengan proses stabilisasi.

Stabilisasi tanah adalah suatu tindakan yang dilakukan guna memperbaiki sifat-sifat fisis dan mekanis tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan dua cara, yakni stabilisasi mekanis yang dilakukan dengan cara memadatkan tanah dengan menggunakan peralatan mekanis, dan stabilisasi kimiawi dengan menggunakan bahan pencampur yang dilakukan dengan cara mencampurkan tanah dengan bahan stabilisasi

seperti semen, kapur, limbah batu bara (*fly ash* dan *bottom ash*), serbuk marmer, atau bahan lainnya yang bersifat menimbulkan reaksi kimiawi.

Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi kimiawi dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan campuran. Pemanfaatan *fly ash* ini untuk stabilisasi tanah adalah karena *fly ash* mempunyai sifat pozzolanik dan juga dapat mengurangi shrinkage dan cracking problem yang biasanya timbul pada penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah.

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **“Evaluasi Nilai Kuat Geser Tanah Ekspansif Dengan Stabilisasi Bahan 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 penambahan fly ash terhadap karakteristik mekanis tanah ekspansif?
3. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap peningkatan parameter kuat geser tanah ekspansif terstabilisasi fly ash?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik dan klasifikasi tanah ekspansif yang digunakan dalam penelitian.
2. Mengetahui pengaruh variasi campuran fly ash dengan karakteristik mekanis tanah ekspansif.
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 ini 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 ini hanya meneliti sifat fisis dan sifat 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 Pemadatan (Kompaksi)
- f. Pengujian *Direct Shear* (Uji Geser Langsung)
- 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 pencampuran tanah ekspansif dengan fly ash adalah 0 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari, 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:

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian dan Klasifikasi Tanah

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 di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Jadi seorang ahli teknik sipil harus juga mempelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain (Das, 1995).

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2002).

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam

kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das, 1995).

Das (1995) menjelaskan dua jenis klasifikasi tanah yaitu klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dan klasifikasi tanah berdasarkan pemakaian.

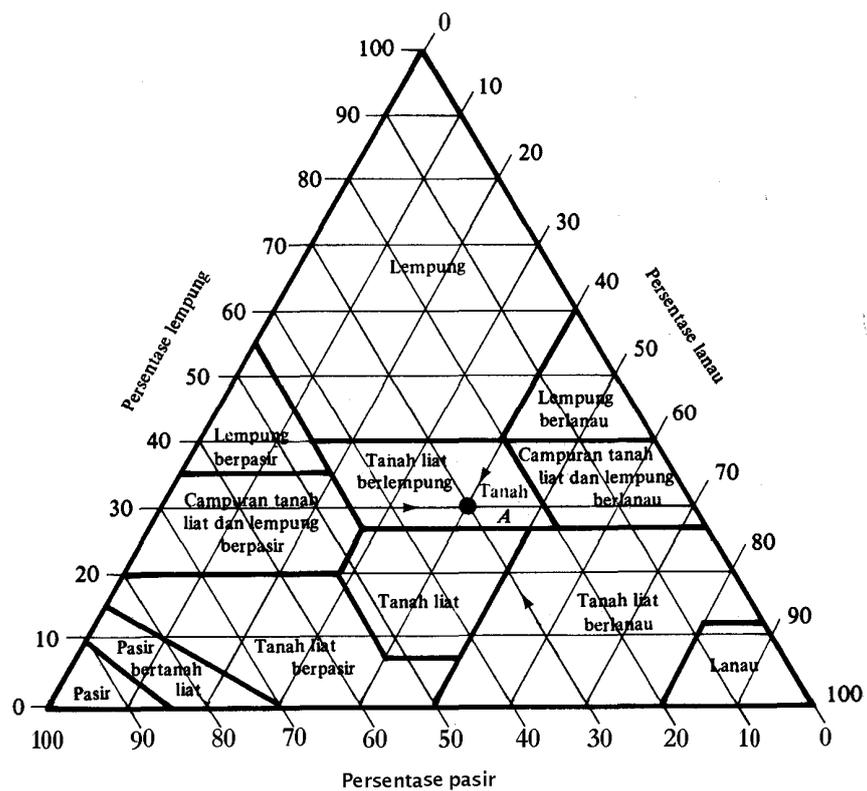
A.1. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Gambar 1 membagi tanah dalam beberapa kelompok: kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*), atas dasar ukuran butir-butirnya. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.

Gambar di bawah menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika

(USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA dalam Gambar 1, yaitu :

- pasir*: butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- lanau*: butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- lempung*: butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 1. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) (Das, 1995)

A.2. Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Karena sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah, dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik. Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli 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.

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

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam Tabel 1. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

a) Ukuran butir:

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

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

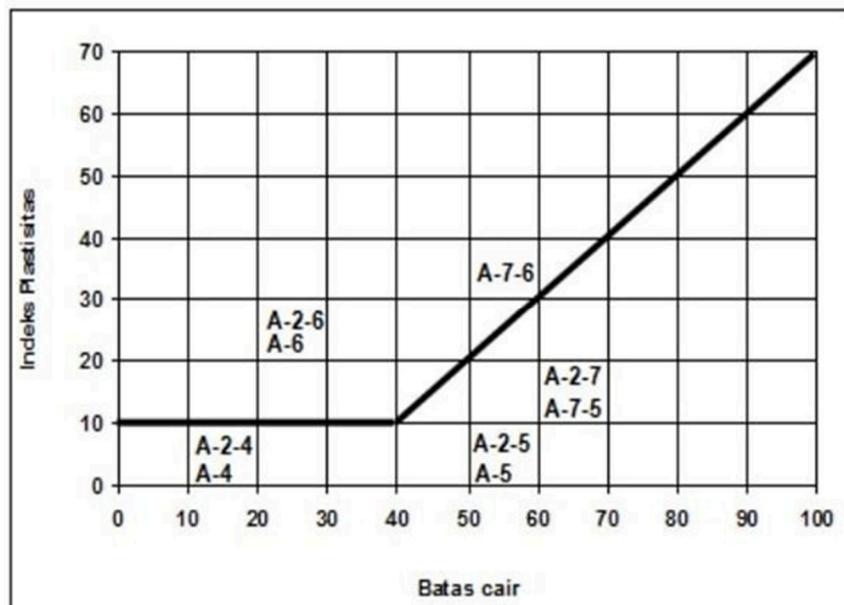
Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

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 suatu gambar dari senjang batas cair (liquid limit, *LL*) dan indeks plastisitas (*PI*) untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 2. Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7 (Das, 1995).

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Klasifikasi tanah	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
Klasifikasi kelompok	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)			
	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, $PI > LL - 30$

2. Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh The Army Corps of Engineers selama Perang Dunia II. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

- a) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **G** atau **S**. **G** adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan **S** adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b) Tanah berbutir halus (*finer-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol 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. Simbol **PT** digunakan untuk tanah gambut (peat), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

W = well graded (tanah dengan gradasi baik)

P = poorly graded (tanah dengan gradasi buruk)

L = low plasticity (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

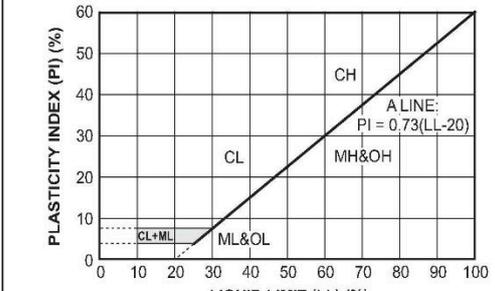
H = high plasticity (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

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

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

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

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS)

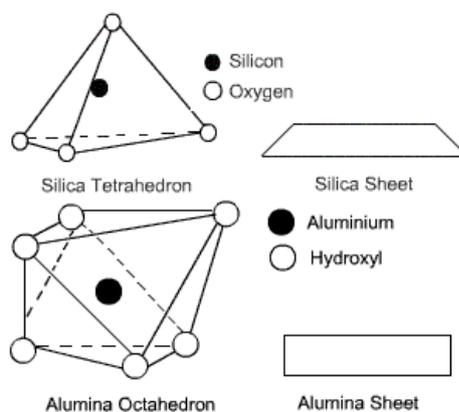
UNIFIED SOIL CLASSIFICATION AND SYMBOL CHART		LABORATORY CLASSIFICATION CRITERIA	
COARSE-GRAINED SOILS (more than 50% of material is larger than No. 200 sieve size.)			
Clean Gravels (Less than 5% fines)			
GRAVELS More than 50% of coarse fraction larger than No. 4 sieve size		GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
		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
		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
		SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines
	Sands with fines (More than 12% fines)		
		SM	Silty sands, sand-silt mixtures
		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
		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
		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
		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3	
		GW Not meeting all gradation requirements for GW	
		GM Atterberg limits below "A" line or P.I. less than 4	
		GC Atterberg limits above "A" line with P.I. greater than 7	
		SW $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3	
		SP Not meeting all gradation requirements for GW	
		SM Atterberg limits below "A" line or P.I. less than 4	
		SC Atterberg limits above "A" line with P.I. greater than 7	
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			
PLASTICITY CHART			
			

B. Tanah Lempung Ekspansif

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Tanah ekspansif (*expansive soil*) adalah istilah yang digunakan pada tanah yang mempunyai potensi pengembangan atau penyusutan yang tinggi oleh pengaruh perubahan kadar air. Tanah ekspansif akan menyusut bila kadar air berkurang, dan sebaliknya akan mengembang bila kadar air bertambah (Hardiyatmo, 2017).

Istilah tanah ekspansif dan potensi pengembangan (*swelling potential*) umumnya digunakan untuk menunjukkan tanah yang mudah mengalami kembang-susut tersebut. Tanah-tanah yang mudah berubah volumenya ini adalah tanah yang banyak mengandung lempung, terutama yang mengandung mineral *monmorillonite* (Hardiyatmo, 2017).

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 yangt di sebut substitusi isomorfis. Satuan-satuan dasar tersebut bergabung membentuk struktur lembaran yang secara simbolis terlihat pada Gambar 3 (Das, 1995).



Gambar 3. Struktur Dasar Mineral Lempung

Mineral yang terdapat pada tanah ekspansif yaitu *kaolinite*, *illite* dan *montmorillonite*. Ketiganya merupakan bentuk kristal Hidros Aluminium Silikat, namun sifat dan struktur ketiganya memiliki perbedaan. Perbedaan sifat dan struktur kristal pada mineral memberikan kelemahan untuk mengalami pengembangan. Pengembangan pada lempung terjadi ketika air masuk diantara partikel lempung yang menyebabkan terjadinya pemisahan partikel (Gunarso et al., 2017).

Ada beberapa cara untuk mengidentifikasi suatu tanah bersifat ekspansif, 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 cara 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 3 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 3. 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 (1998) dalam Das (1995)

b. Cara Skempton (1953)

Identifikasi lempung ekspansif juga sering dilakukan dengan memperhatikan nilai aktivitasnya. Skempton (1953) mendefinisikan aktivitas (A) sebagai:

$$A = \frac{PI}{C} \quad (1)$$

dimana,

A = aktivitas

PI = indeks plastisitas

C = persen fraksi ukuran lempung (diameter butiran $<0,002$ mm)

Tabel 4 dibawah menunjukkan hubungan antara potensi pengembangan dengan nilai aktivitas.

Tabel 4. Hubungan nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan

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

Sumber: Skempton (1953)

c. Cara Seeds (1962)

Cara ini menggunakan aktiviti Skempton yang dimodifikasi, yaitu:

$$A_c = \frac{PI}{C-10} \quad (2)$$

dimana,

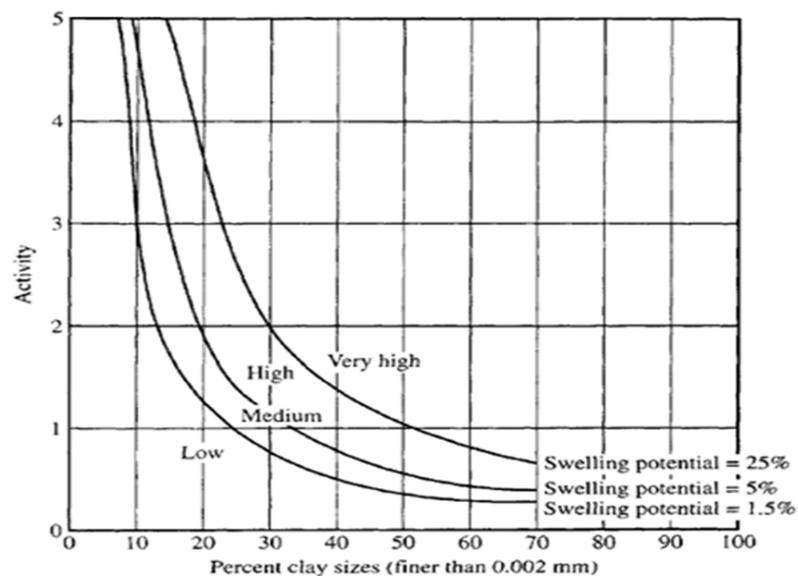
A_c = aktivitas

PI = indeks plastisitas (%)

C = persentase lolos saringan No. 200

angka 10 adalah faktor reduksi

Pada Gambar 4 dibawah ini menunjukkan grafik hubungan antara persentase tanah lolos saringan No. 200 dan aktivitas serta potensial swelling.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Persentase Tanah dan Aktifitas

Dalam Hardiyatmo (2014) Seed et al. (1962) juga mengusulkan hubungan empiris yang lain antara potensi pengembangan dan indeks plastisitas tanah:

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

dimana,

S = swell potential

PI = plasticity index

K = $3,6 \times 10^{-5}$

Tabel 5. Klasifikasi Potensi Pengembangan

Derajat Pengembangan	Potensi Pengembangan, S (%)
Rendah	0 – 1,5
Sedang	1,5 – 5
Tinggi	5,0 – 25
Sangat Tinggi	>25

3. Identifikasi Langsung

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

C. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah pada prinsipnya adalah untuk perbaikan mutu tanah yang kurang baik. Menurut Bowles (1986) apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau mudah tertekan, atau apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut:

- a) Meningkatkan kerapatan tanah.
- b) Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul.
- c) Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis pada tanah.

- d) Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
- e) Mengganti tanah yang buruk

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. Jon 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.

Menurut Darwis (2017), pengertian lebih luas dari stabilisasi tanah adalah “suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan”.

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.

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 minerologi 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*).

D. 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 mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan carbon (Apriyanti, 2014). Menurut ASTM C618 (ASTM 1980, Annual Books of ASTM Standards) fly ash dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua fly ash tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi dalam fly ash tersebut.

E. Berat Jenis Tanah

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 40°C (Hardiyatmo, 1992). Nilai berat jenis partikel tanah dapat dilihat pada Tabel 6 berikut :

Tabel 6. Nilai Berat Jenis Partikel Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
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)

F. 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).

G. 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.

H. Geser Langsung (Direct Shear)

Paramater kuat geser tanah diperlukan untuk menganalisis daya dukung tanah, stabilisasi lereng dan tegangan dorong untuk dinding penahan tanah. Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Atas dasar

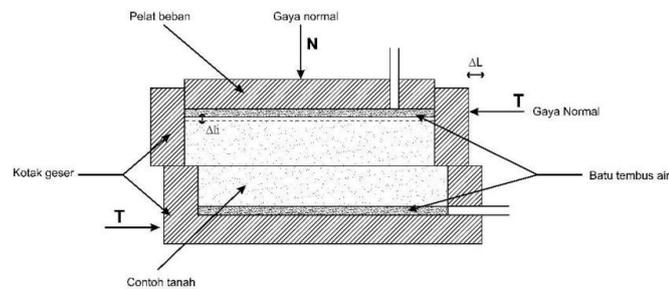
pengertian tersebut, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi dan gesekan tanah.

- a. Kohesi tanah tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang geserannya.
- b. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang geserannya.

Pengujian geser langsung adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk menentukan parameter kuat geser tanah yang berupa nilai kohesi dan sudut geser. Peralatan pengujian geser langsung yaitu kotak geser dari besi yang berfungsi sebagai wadah benda uji. Kotak geser tersebut terbagi menjadi dua bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atau dari bagian kotak geser untuk memberikan geseran pada bagian tengah-tengah benda uji (Hardiyatmo, 2010).

Peralatan pengujian geser langsung meliputi kotak geser dari besi, yang berfungsi sebagai tempat benda uji. Kotak geser tempat benda uji dapat berbentuk bujursangkar maupun lingkaran, dengan luas kira-kira $19,35 \text{ cm}^2$ sampai $25,8 \text{ cm}^2$ dengan tinggi $2,54 \text{ cm}^2$. Kotak terpisah menjadi 2 bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atas dari kotak geser, untuk memberikan geseran pada tengahahtengah benda uji. Skema

dari pengujian kuat geser pada uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Skema Pengujian Geser Langsung

Sumber: Hardiyatmo, 2002

Mohr pada tahun 1910 memberikan teori tentang kondisi keruntuhan suatu bahan. Keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Menurut Coulomb tahun 1776 kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam Persamaan 4 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

(4)

dengan:

τ = kuat geser tanah (kN/m^2),

c = kohesi tanah (kN/m^2),

φ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$), dan

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2).

I. Penelitian Terdahulu

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

1. 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%.

2. 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.

3. 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.