

TUGAS AKHIR

**STUDI NILAI CBR TANAH SEDIMEN BENDUNGAN DENGAN
STABILISASI MENGGUNAKAN CAMPURAN SEMEN-EPS**

**STUDY OF CBR VALUES OF SEDIMENT SOIL WITH
STABILIZATION USING CEMENT-EPS MIXTURE DAM**

**MUHAMMAD RAFLI FADRI
D011 17 1809**



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

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**STUDI NILAI CBR TANAH SEDIMEN BENDUNGAN DENGAN STABILISASI
MENGUNAKAN CAMPURAN SEMEN-EPS**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD RAFLI FADRI

D011 17 1809

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 14 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



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 : Muhammad Rafli Fadri
NIM : D011 17 1809
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

STUDI NILAI CBR TANAH SEDIMEN BENDUNGAN DENGAN STABILISASI MENGGUNAKAN SEMEN-EPS

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 12 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rafli Fadri
NIM: D011 17 1809

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**STUDI NILAI CBR TANAH SEDIMEN BENDUNGAN DENGAN STABILISASI MENGGUNAKAN SEMEN-EPS**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ibunda **Kasmawati** dan ayahanda **Baso Samuel Amir**, serta segenap keluarga atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun materil karena penulis tidak akan mampu sampai di titik ini jika tanpa nasihat, motivasi dan doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng**, selaku Ketua dan Bapak **Dr. Eng. Bambang Bakri, S.T., M.T**, selaku Sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T**, selaku dosen pembimbing I, atas segala arahan dan bimbingan serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
5. Ibu **Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T** selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak **Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku Kepala Laboatorium Mekanika Tanah yang telah memberikan wawasan tambahan selama penulis menjadi asisten laboratorium.
7. **Kak Fuah** yang telah membimbing dan mendampingi selama pengujian tugas akhir hingga selesainya.
8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah banyak membantu dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.

9. Teman-teman KKD Geoteknik, 2017 yang senantiasa menemani, memberi dukungan dan motivasi, serta bertukar pikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.
10. Saudara-saudariku **PLASTIS** Angkatan 2017 Teknik Sipil dan Teknik.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan, dan dukungan hingga terselesainya skripsi ini.
12. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

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

Gowa, November 2022

Penulis

ABSTRAK

Fenomena sedimentasi yang terjadi di Waduk Bili-Bili semakin mengkhawatirkan karena dapat mengancam keberlanjutan fungsi waduk. Hal ini merupakan masalah yang perlu segera ditangani secara serius agar tidak semakin parah di kemudian hari. Dengan demikian, diperlukan suatu penelitian pada tanah sedimen waduk bili-bili untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanis serta pengaruh stabilisasi terhadap tanah sedimen tersebut sebagai parameter penentuan daya dukung sebagai bentuk pemanfaatan limbah sedimentasi waduk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen-EPS terhadap nilai Kuat Tekan Bebas tanah sedimen, serta pengaruh masa pemeraman terhadap nilai Kuat Tekan Bebas tanah terstabilisasi semen-EPS. Untuk mengetahui pengaruh penambahan semen-EPS terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas maka dilakukan variasi penambahan semen sebesar 3%, 5%, 7%, dan 9%, dan penambahan EPS sebesar 0,5% dan 0,75% setiap variasi penambahan semen. Tanah sedimen yang digunakan adalah tanah sedimen hasil pengerukan pada Waduk Bili-bili yang berlokasi di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Pencampuran tanah sedimen dengan semen-EPS dilakukan dengan masa pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh penambahan semen-EPS dan masa pemeraman pada tanah sedimen Waduk Bili-bili dapat meningkatkan daya dukung tanah. Dimana semakin tinggi persentase kadar semen yang di tambahkan dan lamanya masa pemeraman mengakibatkan nilai Kuat Tekan Bebas makin meningkat.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	1
BAB 1. PENDAHULUAN.....	3
A. Latar Belakang	3
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Sistematika Penulisan	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Definisi Tanah	8
B. Klasifikasi Tanah	9
B.1 Sistem Klasifikasi Berdasarkan Tekstur.....	10
B.2 Sistem Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian.....	12
C. Karakteristik Lanau	23
D. Stabilisais Tanah.....	24
E. Semen.....	28
F. California Bearing Ratio.....	34
G. Penelitian Terdahulu	35
BAB 3. metode penelitian	40
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	40
B. Metode Pengumpulan Data	40
C. Kerangka Alir Penelitian	41
D. Material	43
D.1. Tanah Asli	43

D.2. Semen	44
D.3. Expanded Polystyrene (EPS)	44
E. Standar Pengujian.....	45
F. Pengujian Karakteristik Tanah Asli	46
G. Optimalisasi Bahan Stabilisator	47
H. Pengujian Sampel	50
H.1. Uji Sifat Fisis	50
H.2. Uji Sifat Mekanis	50
I. Pembuatan Benda Uji Untuk California Bearing Ratio Test	50
J. Pengujian Sampel	54
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Karakteristik Material	55
B. Karakteristik Tanah Terstabilisasi Semen dan Semen-EPS.....	87
C. Pengaruh Penambahan Semen dan Semen-EPS Terhadap Nilai CBR (<i>Soaked</i>)	69
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	79
A. Kesimpulan	84
B. Saran	84

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah didefinisikan sebagai bahan yang tersusun dari mineral padat (butiran) tidak ada perekat (ikatan kimia) antara satu samalain, juga tidak diisi dengan bahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai dengan cairan dan gas, yang mengisi area kosong di antara partikel padat tersebut.

Tanah memegang peran yang sangat penting dalam konstruksi yaitu pada bangunan gedung, jalan raya, jembatan, bendungan dan bangunan lainnya, sehingga dibutuhkan tanah dengan sifat teknis yang memadai. Stabilisasi konstruksi perkerasan jalan akan dipengaruhi secara langsung oleh kemampuan dasar jalan untuk menerima dan meneruskan beban kerja. Namun, tidak semua lapisan tanah dasar dapat menahan beban di atasnya. Hanya tanah dengan klasifikasi baik yang dapat menggunakan daya dukungnya. Oleh karena itu diperlukan stabilisasi tanah yang merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat fisik tanah.

Stabilisasi tanah dapat dilakukan secara mekanis dan kimia. Berbagai upaya telah dilakukan untuk memperbaiki sifat tanah, termasuk memadatkan atau mencampur bahan kimia yang dapat meningkatkan kekuatan tanah. Peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan bahan kimia tertentu tidak hanya dapat mengurangi sifat pengembangan dan plastisitas, tetapi juga meningkatkan kekuatan dan mengurangi besarnya penurunan pada tanah.

Secara umum tanah lanau memiliki karakteristik yang kurang baik yaitu kuat geser yang rendah setelah dibebani, kapilaritas yang tinggi, permeabilitas rendah, kepadatan relatif rendah dan sulit untuk dipadatkan. Dengan adanya permasalahan tersebut maka alternatif usaha perbaikan yang dilakukan adalah stabilisasi tanah menggunakan bahan aditif yaitu semen (*Portland Cement*). Semen merupakan *stabilizing agents* yang baik, karena kemampuannya mengeras dan mengikat butir-butir agregat yang sangat baik sebagai usaha untuk mendapatkan massa tanah yang kokoh terhadap deformasi. Semen juga dapat membantu meningkatkan kekuatan tanah. Kekuatan tanah akan meningkat dengan bertambahnya waktu pemeraman (*curing*). Jika tanah telah diperam maka akan bereaksi dengan semen sehingga peningkatan dan pengerasan yang dihasilkan akan lebih baik pada masa pemeraman.

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

**“STUDI NILAI CBR TANAH SEDIMEN BENDUNGAN DENGAN
STABILISASI MENGGUNAKAN CAMPURAN SEMEN-EPS”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik tanah sedimen bendungan yang digunakan pada penelitian?

2. Bagaimana pengaruh variasi campuran semen-EPS dengan tanah sedimen bendungan tersebut?
3. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap nilai CBR tanah sedimen bendungan terstabilisasi semen-EPS?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis karakteristik dan klasifikasi tanah sedimen yang digunakan pada penelitian.
2. Menganalisis pengaruh campuran semen-EPS dengan tanah sedimen bendungan tersebut.
3. Menganalisis pengaruh masa pemeraman terhadap nilai CBR tanah sedimen bendungan yang terstabilisasi semen semen-EPS.

D. Batasan Masalah

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

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah sedimen Waduk Bili-bili yang berlokasi di Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan stabilisasi semen-EPS.
3. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium bukan pada skala lapangan.

4. Penelitian ini hanya meneliti sifat-sifat fisis dan mekanis, dan tidak meneliti unsur kimia tanah tersebut.
5. Sifat fisis dan mekanis yang dianalisis ialah:
 - Pengujian berat jenis
 - Pengujian kadar air
 - Pengujian batas-batas Atterberg
 - Pengujian Analisa saringan dan hidrometer
 - Pengujian kepadatan (kompaksi)
 - Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) *Soaked*
6. Persentase berat campuran yang diuji adalah 3%, 5%, 7% , dan 9% terhadap berat tanah dengan kadar air mula-mula. Adapun persentase berat campuran EPS yang digunakan adalah 0,5% dan 0,75%.
7. Waktu pemeraman setelah pencampuran tanah sampel adalah 0, 7, 14 dan 28 hari dengan kondisi laboratirium.

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 berisi 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 pengolahandata hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alur 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. Definisi Tanah

Tanah adalah kumpulan mineral, bahan organik, dan sedimen yang relatif lepas di atas batuan dasar. Pembentukan tanah dari batuan induk dapat melalui proses fisik atau kimia. Proses pembentukan fisik tanah yang mengubah batuan menjadi partikel yang lebih kecil terjadi karena erosi, angin, air, es, pengaruh manusia, atau kerusakan partikel tanah karena perubahan suhu atau cuaca. Tanah mengalami pelapukan oleh reaksi kimia untuk menghasilkan sekelompok partikel koloid dengan ukuran partikel kurang dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung (Hardiyatmo, 2001).

Selain itu, dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai bahan yang terdiri dari agregat (partikel) dan mineral padat yang tidak disemen (berikat secara kimia) dan bahan organik yang membusuk (partikel padat) dan cairan dan gas yang mengisi rongga antar partikel padat. Tanah dapat digunakan sebagai bahan bangunan dalam berbagai teknik sipil, dan juga dapat digunakan sebagai penipang pondasi bangunan (Das, 1995).

Adapula menurut (Santoso, Suprianto, & HS, 1998) pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan campuran butir menjadi 3 macam yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang Sebagian besar butir-butir dalam tanahnya adalah pasir dan kerikil.

- b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang hampir semua butir-butir dalam tanahnya berupa lempung atau lanau.
- c. Tanah organik adalah tanah yang mengandung banyak bahan-bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatnya, tanah dikelompokkan menjadi:

- a. Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya seperti tanah lempung.
- b. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung misal pasir.

B. Klasifikasi Tanah

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 pamakaiannya. Sistem klasifikasi berfungsi sebagai penjelasan singkat dari sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sistem klasifikasi yang sudah ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana (Das, 1995).

Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi.

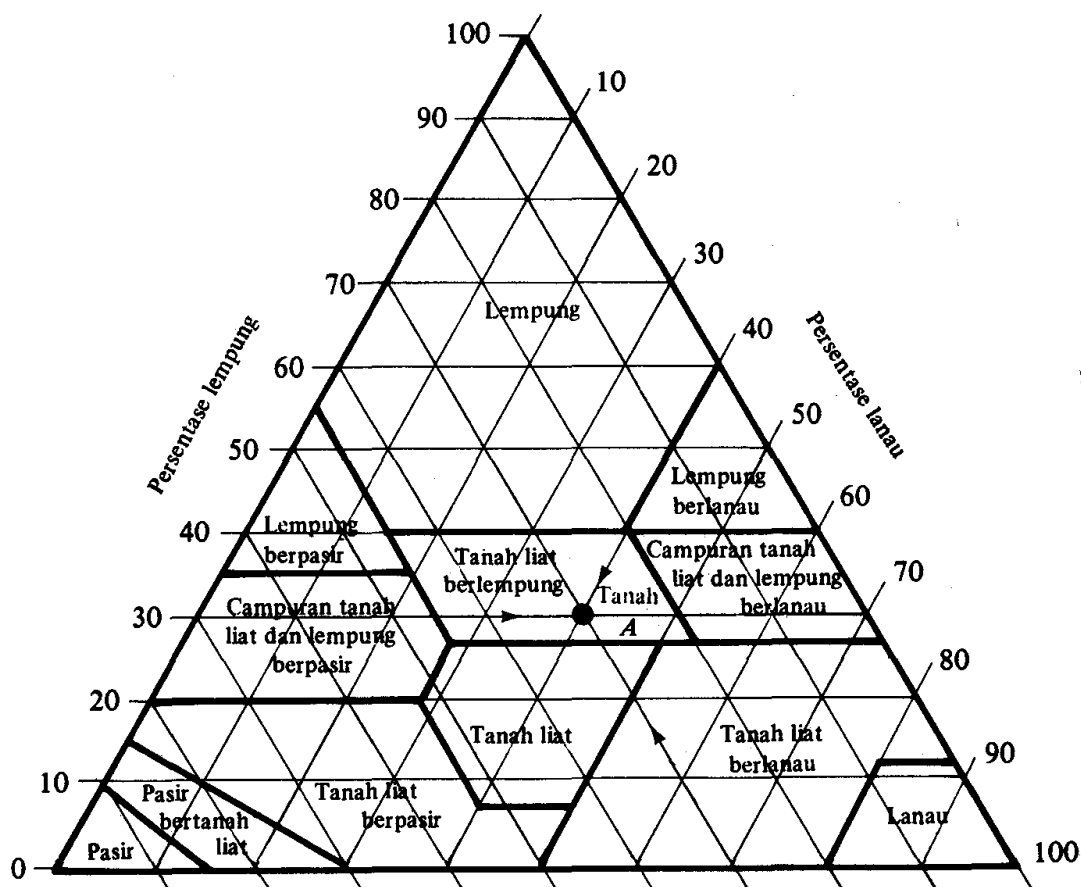
B.1 Sistem Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Tekstur adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan yang dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Tanah dikelompokkan menjadi pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) atas dasar ukuran butiran. 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.

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 dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA).

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

1. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.
2. Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai 0,02 mm.
3. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,02 mm.



Gambar 1. Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

Pemakaian bagan dalam Gambar 1 ini dapat diterangkan secara jelas dengan menggunakan sebuah contoh. Apabila distribusi ukuran butir tanah A adalah : 30% pasir, 40% lanau, dan 30% butiran dengan ukuran lempung ($< 0,002$ mm), klasifikasi tekstur tanah yang bersangkutan dapat ditentukan dengan cara seperti yang ditunjukkan dengan anak panah pada Gambar 1. Jenis tanah A termasuk dalam daerah lempung tanah liat. Perhatikan bahwa bagian ini hanya didasarkan pada bagian tanah yang lolos ayakan No. 10. Oleh karena itu, apabila tanahnya mengandung butiran

berdiameter lebih besar dari 2 mm dalam persentase tertentu, maka perlu diadakan koreksi.

B.2 Sistem Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Selain klasifikasi berdasarkan tekstur, terdapat pula sistem lain yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah misalnya berdasarkan pemakaian. Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastis tanah, dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk Sebagian besar dari keperluan teknik. Sistem klasifikasi tanah yang banyak digunakan oleh ahli teknik sipil pada saat ini memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi Unified.

a. Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification Sistem. Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi 7 kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 merupakan tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butiran lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 yang

Sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi dibawah 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 (2mm).
- Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 20 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075mm).
- 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.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan

dengan angka-angka yang sesuai. Table 1 menunjukkan suatu gambar dari senjang 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.

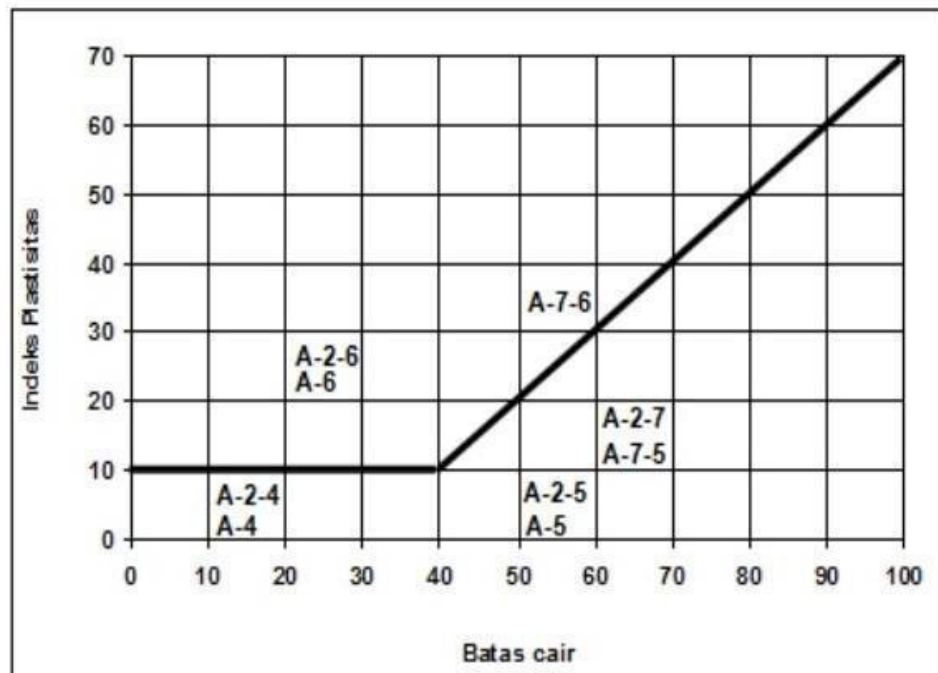
Klasifikasi tanah		Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)					
Klasifikasi kelompok	A - 1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Analisa ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks.50 Maks.30 Maks.15	Maks.50 Maks.25	Maks.51 Maks.10	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, $PI > LL - 30$

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO

Sumber : (Das, 1995)



Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO

Table 2 merupakan 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. Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (subgrade) dari suatu jalan raya, suatu angka yang dinamakan indeks grup (group index, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Harga GI ini dituliskan dalam kurung setelah nama kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti di bawah ini :

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01(F - 15) (PI - 10) \dots \dots \dots (1)$$

di mana :

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

200 LL = Batas cair (liquid limit)

PI = Indeks plastisitas

Suku utama persamaan (1), yaitu $(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu $0,01 (F - 15) (PI - 10)$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup :

1. Apabila Persamaan (1) menghasilkan nilai GI yang negative, maka harga GI dianggap nol.
2. Indeks grup yang dihitung menggunakan Persamaan (1) dibulatkan keangka yang paling dekat (sebagai contoh: GI = 3,4 dibulatkan menjadi 3,0; GI = 3,5 dibulatkan menjadi 4,0).
3. Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
4. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1 a, A-1 b, A- 2-4, A- 2-5, dan A-3 selalu sama dengan nol.
5. Untuk tanah yang masuk kelompok A- 2-6 dan A- 2-7, hanya bagian dari indek grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu :

$$GI = 0,01 (F - 15) (PI - 10) \dots \dots \dots (2)$$

Pada umumnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar yang dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga indeks grup.

b. Sistem Klasifikasi Unified

Sistem yang diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 ini mulanya dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineer* selama Perang Dunia II. Sistem ini disempurnakan Kembali dalam rangka bekerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli Teknik. Sistem Klasifikasi Unified dimuat pada Tabel 2 di bawah. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

- Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- Tanah berbutir halus (*fine-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

$W = \textit{Well graded}$ (tanah dengan gradasi baik)

$P = \textit{Poorly graded}$ (tanah dengan gradasi buruk)

$L = \textit{Low plasticity}$ (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

$H = \textit{High plasticity}$ (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti: GW, GP, GM, GC, SW, 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 (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 dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200)

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM DAN SP-SC diperlukan. Rincian klasifikasi ini diberikan dalam Tabel 2.

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapatkan dengan cara menggambar batas cair dan indeks

plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagian plastisitas (Casagrande, 1948) yang diberikan dalam Tabel 2. Garis diagonal pada bagian plastisitas dinamakan garis A (sebelumnya sudah diperkenalkan dalam Gambar 2), dan garis A tersebut diberikan dalam persamaan :

$$PI = 0,73 (LL - 20).....(3)$$

Untuk tanah gambut (*peat*), identifikasi secara visual mungkin diperlukan (Das, 1995).

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Unified

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Umum
Tanah Berbutir kasar Lebih dari 50% atau lenih lolos ayakan No. 200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No.4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir - lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lenih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL Lanau- organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomase, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah - tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : (Das, 1995)

	Kriteria klasifikasi	
<p>Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus</p> <p>Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP</p> <p>Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC</p> <p>5% sampai 12% lolos ayakan No. 200</p> <p>Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol</p>	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$		
<p>Bagan Plastisitas</p> <p>Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar</p> <p>Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</p> <p>Persamaan garis A $PI = 0,73(LL - 20)$</p> <p>Indeks plastisitas</p> <p>Batas cair</p>		
<p>Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488</p>		

Tabel 3. Sistem Klasifikasi Unified (Lanjutan)

C. Karakteristik Lanau

Tanah lanau biasanya terbentuk oleh dekomposisi kristal kuarsa berukuran pasir. Beberapa perpustakaan Indonesia menyebut benda ini sebagai debu. Lanau dapat membentuk sedimen yang mengapung di atas permukaan air atau tenggelam. Pembelahan alami melibatkan pelapukan kimia batuan dan batuan lapuk dan pelapukan fisik melalui es garam. Proses utama termasuk abrasi oleh padatan (gletser), cairan (endapan sungai) atau angin. Di daerah semi-kering, produksi lumpur biasanya tinggi.

Lanau yang terbentuk secara glasial (oleh gletser) dalam Bahasa Inggris biasanya disebut *rock flour* atau *stone dust*. Dalam komposisi mineral, lanau terdiri dari feldspar kuarsa. Sifat fisik lanau umumnya antara lempung dan pasir. Selain itu, lanau adalah tanah berbutir halus kurang dari 0,074 mm (No. 200). Ada dua jenis lanau, yaitu lanau anorganik, yang merupakan tanah berbutir halus yang berplastisitas kecil, yang mengandung partikel kuarsa sedimen, semacam mikroplastisitas dengan campuran partikel tanah berbutir halus. Bahannya dipisahkan dengan halus, dan warna tanah bervariasi dari abu-abu muda hingga abu-abu gelap. Lanau adalah tanah berbutir halus yang batas cair dan indeks plastisitasnya lebih rendah dari garis A, dan tanah liat lebih tinggi dari garis A. kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai tanah lanau pasiran, lanau lempung atau lanau anorganik dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubur batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung (Darwis, 2017).

D. Stabilisais Tanah

Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser.

Menurut (Bowles, 1991) beberapa Tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasi tanah adalah sebagai berikut : meningkatkan kerapatan tanah, menambahkan material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi atau tahanan gesek yang timbul, menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah, menurunkan muka air (drainase tanah), mengganti tanah yang buruk.

Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain :

1. Menurut (Krebs & Walker, 1971) dalam arti luas, tujuan stabilisasi tanah meliputi perlakuan tanah dimana dibuat lebih stabil.
2. Menurut (Hardiyanto, 2010) dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara mekanis atau dengan menambahkan suatu bahan tambahan (*additive*) kedalam tanah.

3. Menurut (Ingles & Metcalf, 1972) bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Menurut (Punmia, 1962) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya. Dalam hal ini menurut Punmia bahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilisasi tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.
5. Menurut (Winterkorn & Fang, 1975) menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisi, 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 di atas, masih banyak lagi terminology yang dikemukakan beberapa ahli lain. 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 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 kedalam lapisan tanah (fisik).
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksud kan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sesepan 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, yaitu :

1. Stabilisasi Kimia, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampuran, yang akan menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
2. Stabilisasi Fisik, yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau bebas statis kedalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
3. Stabilisasi Mekanis, yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan kedalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah yang sesuai dengan tujuan Tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan kedalam 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 tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Adapun sifat tanah yang telah diperbaiki tersebut meliputi, kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

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 alamiah (*natural material*) dan akan mengubah struktur dan komposisi dan material alamiah tersebut (Darwis, 2017).

E. Semen

Semen merupakan material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan suatu bahan pengikat yang mengeras jika beraksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air, seperti semen Portland, semen putih dan sebagainya. Sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Pebbaikan tanah dengan semen adalah suatu campuran dari tanah yang dihancurkan, semen dan air kemudian dilakukan proses pemadatan yang menghasilkan suatu bahan baru yang disebut material tanah-semen. Reaksi semen dengan material tanah dan air, akan membuat senyawa yang mengeras sehingga memperbaiki kekuatan tanah dan sifat-sifat teknis tanah tersebut menjadi kuat dan lebih tahan terhadap air. Semen Portland sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung

silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3), dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips, untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung cepat. Berdasarkan pengalaman jenis semen yang paling efektif dipergunakan sebagai *stabilizer* dalam pekerjaan tanah adalah semen Portland. Dalam hal ini ukuran partikel semen Portland relatif halus (± 20 micron), sehingga proses hidrasi lebih cepat. Menurut Ingles & Metcalf (1972), bahwa penggunaan semen yang memiliki partikel lebih halus dari saringan No. 200, akan memberikan tambahan kuat geser lebih dari 40%. Oleh karena itu dalam spesifikasi yang ditentukan dalam SNI 03 – 3438 – 1994, disyaratkan jenis tanah dalam pekerjaan tanah adalah semen Portland.

- a. Tipe I : Adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah 49% (C_3S), 25% (C_2S), 12% (C_3A), 8% (C_4AF), 2,8% (MgO), 2,9% (SO_3). Semen Portland tipe I dipergunakan untuk pengerasan jalan, Gedung, jembatan, dan lain-lain jenis konstruksi yang tidak ada kemungkinan mendapatkan serangan sulfat dari tanah dan timbulnya panas hidrasi yang tinggi.
- b. Tipe II : Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Komposisinya : 46%

(C₃S), 29% (C₂S), 6% (C₃A), 11% (C₄AS), 2,9% (MgO), 2,5% (SO₃).

Semen Portland tipe II dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi, atau beton masa yang membutuhkan hidrasi rendah.

- c. Tipe III : Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi peningkatan. kadar C₃S-nya sangat tinggi dan butirannya sangat halus. semen pPortland tipe III dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti, jembatan-jembatan dan pondasi-pondasi berat.
- d. Tipe IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah, sehingga kadar C₃S dan C₃A rendah. Semen Portland tipe IV dipergunakan untuk kebutuhan pengecoran yang tidak menimbulkan panas, pengecoran dengan penyemprotan (setting time lama).
- e. Tipe V : Semen Portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah : 43% (C₃S), 36% (C₂S), 4% (C₃A), 12% (C₄AF), 1,9%(MgO), 1,8% (SO₃). Semen Portland tipe V dipergunakan untuk instalasi pengolahan.

Mekanisme reaksi antara mineral tanah dengan bahan semen, hampir sama dengan mekanisme pada kapur-tanah, yang diawali dengan pembentukan ion (*ionic change reaction*), dan akan berlanjut

dengan reaksi sementasi. Proses absorpsi air dan reaksi pertukaran ion segera terjadi bila semen ditambahkan pada tanah dengan air, dimana ion kalsium (Ca^{2+}) yang dilepaskan melalui proses hidrolis pertukaran ion akan berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Dengan reaksi ini, partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

Tabel 4. Variasi Kadar Semen Sesuai Jenis Tanah Untuk Perkerasan Jalan (*Pavement Construction*)

Jenis Tanah	Kebutuhan Semen (%)
Batuan pecah (<i>fine crushed rock</i>)	0,5 – 2,0
Lempung berpasir – berkerikil (<i>well graded sandy clay gravel</i>)	2,0 – 4,0
Pasir gradasi baik (<i>well graded sand</i>)	2,0 – 4,0
Lempung berpasir (<i>sandy clay</i>)	4,0 – 6,0
Lempung berlanau (<i>silty clay</i>)	6,0 – 8,0
Lempung (<i>heavy clay</i>)	8,0 – 12,0
Lumpur (<i>very heavy clay</i>)	12,0 – 15,0
(Tanah organik (<i>organic soils</i>))	10,0 – 15,0
Pasir gradasi buruk (<i>poorly graded sand</i>)	4,0 – 6,0

Sumber : (Ingles & Metcalf, 1972)

Mekanisme reaksi antara semen dengan material tanah, dapat diurutkan sebagai berikut :

a. Reaksi Pertukaran Ion

Reaksi pertukaran ion akan menghasilkan pembentukan kalsium silikat ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan/atau kalsium aluminat ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$).

Proses reaksi tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :



Dari reaksi kimia yang berlangsung seperti diatas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan adalah hidrasi dari A-lite ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan B-lite ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), membentuk senyawa-senyawa kalsium silikat dan melalui hidrasi tadi. Senyawa hidrat yang terbentuk di dalam campuran tergantung dari jenis mineral dalam tanah asli, dan senyawa-senyawa hidrat yang dapat terbentuk dalam stabilisasi semen-tanah seperti kalsium silikat dan/atau kalsium aluminat.

b. Reaksi Sementasi

Reaksi sementasi yang terjadi pada campuran semen-tanah adalah merupakan reaksi *pozzolanic*. Dengan bertambahnya waktu reaksi, maka unsur silika (SiO_2) dan unsur alumina (Al_2O_3) yang terkandung di dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan/atau kalsium aluminat hidrat ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). pembentukan senyawa kimia ini terus-menerus berlangsung untuk waktu yang amat lama dan menyebabkan tanah menjadi keras dan kuat serta awet, karena ia berfungsi sebagai *binder* (pengikat).

Hal lain yang memerlukan perhatian di dalam pekerjaan perbaikan tanah dengan semen, adalah kualitas air pencampur. Pengalaman dari beberapa penelitian membuktikan bahwa air yang mengandung bahan organik dan garam sulfat, akan memberikan hasil yang kurang baik dalam stabilisasi tanah-semen. Oleh karena itu air pencampur yang digunakan, sebaiknya air yang sekuualitas dengan air minum. Dalam penerapan semen-tanah, desain campuran sangat penting memperhatikan tiga hal, yakni :

1. Kondisi tanah asli secara menyeluruh
2. Karakteristik semen yang digunakan
3. Tujuan Tindakan perbaikan tanah yang diinginkan

Ketiga faktor tersebut akan mempengaruhi jumlah (kadar) semen yang diperlukan di dalam Tindakan perbaikan yang akan dilakukan (Darwis,2017).

F. California Bearing Ratio (CBR)

Metode pengukuran daya dukung tanah yang relative rendah mudah untuk dilakukan dan dimengerti adalah *California Bearing Ratio Test*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah, metode ini pertama kali dikembangkan oleh Departemen Jalan Raya California pada tahun 1920. CBR merupakan perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan (*Test Load*) terhadap beban standar (*Standard Load*) dan dinyatakan dalam persentase. Semakin keras suatu bahan atau

mineral yang digunakan maka semakin tinggi nilai CBR yang dihasilkan.

Berikut merupakan table nilai CBR pada masing-masing jenis tanah.

CBR	General Rating	Uses	Classification System	
			Unified	AASHTO
0 - 3	Very poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Poor to fair	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Good	Base, sub base	GM, GC, SW, SM, SP, GI	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excellent	Base, sub base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Sumber : (Das, 1995)

Tabel 5. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai CBR

Klasifikasi tanah Braja M. Das ini sering dijadikan acuan untuk menentukan standar perkerasan. Dimana apabila nilai CBR suatu bahan atau tanah yang digunakan memiliki nilai yang rendah dengan kualitas *Very Poor* maka bahan ini wajib distabilisasi, baik itu dengan cara stabilisasi mekanis, kimiawi maupun termal. Penentuan perlakuan stabilisasi ini tentu harus didasari dengan faktor-faktor yang telah diuraikan pada poin 2.3.2 ataupun beberapa pertimbangan lainnya.

G. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah dengan penambahan semen telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh :

1. Roni Indra Lesmana, Muhandi, dan Soewigono Agus Nugroho (2016) : Stabilisasi Tanah Plastis Tinggi dengan Semen.

Adapun maksud dari pengujian ini adalah menentukan kuat tekan bebas tanah kohesif. Dari hasil pengujian Analisa butiran tanah ini termasuk dalam lanau berlempung. Dimana mengandung pasir 5,38% lanau 58,12%, lempung 36,5% dan lolos saringan No. 200 sebanyak 94,62%. Berdasarkan klasifikasi tanah USCS tanah ini termasuk tanah berbutir halus, sedangkan berdasarkan ASSHTO tanah ini termasuk dalam tanah berlempung (A-7-5). Disimpulkan bahwa tanah tanah ini merupakan tanah lanau berlempung plastisitas tinggi. Dapat dilihat bahwa adanya kecenderungan bertambahnya berat jenis seiring bertambahnya kadar semen. Dimana berat jenis awal tanah asli 2,63 dan setelah penambahan semen OPC kenaikan maksimum berat jenis terjadi pada campuran 10%, yakni 2,69, sedangkan pada penambahan semen PCC terjadi pada campuran 10%, yakni 2,67. Hal ini terjadi karena bercampurnya berat jenis yang berbeda antara berat jenis semen dengan berat jenis tanah asli. Menurut (Adriani, dkk, 2012) terjadinya kenaikan berat jenis tanah ini dikarenakan semen bercampur dengan tanah mengakibatkan terjadinya proses pertukaran kation alkali (Na^+ dan K^+) dari tanah digantikan oleh kation semen sehingga butiran lempung semakin besar (flokulasi). Bertambahnya ukuran butiran ini akan mengakibatkan mikropori dan mikropori yang ada pada tanah lempung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar bahan stabilisasi. Penambahan semen mengakibatkan nilai Berat volume

kering tanah menurun dibandingkan dengan ranah tanpa campuran semen, namung seiring penambahan semen nilai berat volume kering tanah meningkat. Kepadatan maksimum terbesar terjadi pada penambahan kadar semen sebesar 10% untuk semen OPC dan PCC. Pada campuran tanah-semen OPC memiliki nilai kenaikan maksimum berat volume kering pada persentase 10% semen PCC yaitu 1,548, sedangkan pada tanah-semen PCC memiliki nilai kenaikan berat volume kering pada persentase 10% semen PCC yaitu 1,517. Hal ini terjadi karena adanya proses sementasi antara semen OPC ataupun semen PCC dengan partikel tanah asli. Diketahui bahwa campuran antara tanah dan semen OPC ataupun PCC pada pemeraman 28 hari mampu meningkatkan nilai kuat tekan (q_u) dan C_u . Dimana setiap penambahan persentase campuran nilai kuat tekan (q_u) dan C_u juga akan meningkat. Pada semen OPC nilai q_u maksimum terdapat pada campuran 10% yaitu 1,44 MPa, sedangkan pada semen PCC nilai q_u maksimum terdapat pada campuran 10% yaitu 2,43 MPa. Hal ini terjadi akibat proses sementasi yang maksimal dan membentuk butiran baru yang lebih keras dan kaku serta mampu menahan beban yang lebih keras dibandingkan tanah lanau asli. Peningkatan UCS ini juga disebabkan meningkatnya ikatan antara butiran karna proses sementasi, rongga-rongga pori yang ada akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras, sehingga butiran tidak mudah hancur atau berubah bentuk.

Semakin bertambahnya persentase kadar semen OPC ataupun PCC dalam campuran tanah uji, maka nilai kadar air optimum (OMC) akan semakin menurun dan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dry} maks) mengikat seiring bertambahnya kadar semen namun menurun dibandingkan nilai kadar air optimum (OMC) dengan tanah uji tanpa semen. Dari hasil pengujian CBR dan UCS untuk variasi semen OPC ataupun PCC, dapat disimpulkan bahwa semen PCC lebih efektif digunakan sebagai subbase struktur jalan, karena sudah memenuhi syarat kebutuhan, lebih mudah didapat dan harganya lebih murah.

2. Miwardi, Makmur R. Rizali, Olandri Wijaya : Nilai CBR pada Stabilisasi Tanah dengan Semen Jalan Budi Utomo UNIB Depan. Penelitian adalah penelitian eksperimental di Laboratorium. Tempat pengujian di Laboratorium Geoteknik, Prodi Teknik Sipil, UNIB. Bahan berupa sampel benda uji berupa tanah lunak dari jalan Budi Utomo UNIB Depan, dan semen *Portland* tipe I sesuai dengan standar SNI merk Tiga Roda, yang dijual di toko bangunan di Kota Bengkulu. Rangkaian pengujian penelitian ini adalah pengujian sifat fisis tanah asli dan pengujian CBR laboratorium. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah asli yang dicampur semen dengan persentase penambahan semen sebesar : 0%, 4%, 8%, 12% dari berat kering tanah asli. Penelitian CBR pada tanah dengan semen di jalan Budi Utomo UNIB Depan untuk mendapatkan pengaruh

properties tanah dan nilai CBR tanah asli, setelah dilakukan stabilisasi dengan semen. Pengujian dilakukan di Laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik UNIB. Tes properties tanah di laboratorium mencakup : Berat jenis, Kadar air, Analisis saringan, Pengujian pemadatan *Proctor standard*, Batas-batas atterberg , dan percobaan Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) laboratorium. Stabilisasi tanah lunak yang dilakukan dengan semen dengan penambahan kadar semen sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12%. Berdasarkan hasil pengujian properties tanah dan nilai CBR laboratorium nilai CBR maksimum pada penambahan kadar semen sebesar 12%, nilai CBR terjadi kenaikan sebesar 144,21% dari kondisi tanah asli, berat volume kering naik 3,85% dari tanah asli, kadar optimum turun 13,75% dari tanah asli, Nilai PI turun 50,42% dari tanah asli, nilai Gs tanah naik 1,93% dari tanah aslinya. Stabilisasi dengan semen mengakibatkan nilai CBR, yang meningkatkan daya dukung tanah q_u . Kenaikan stabilitas tanah dan daya dukung tanah sebanding dengan kenaikan nilai CBR sebesar 144,21%, hal ini dikarenakan adanya silika, lempung dan kapur yang terkandung dalam semen yang merupakan pengikat hidrolis.