

TUGAS AKHIR

**STUDI CAMPURAN TANAH LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI
DENGAN VARIASI KANDUNGAN *BENTONITE* TERHADAP
NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR)**

Disusun dan diajukan oleh:

**LA ODE AGUNG MUNAJAT
D011 19 1038**



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

TUGAS AKHIR

STUDI CAMPURAN TANAH LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI DENGAN VARIASI KANDUNGAN *BENTONITE* TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR)

Disusun dan diajukan oleh:

**LA ODE AGUNG MUNAJAT
D011 19 1038**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI CAMPURAN TANAH LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI DENGAN VARIASI KANDUNGAN *BENTONITE* TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR)

Disusun dan diajukan oleh

La Ode Agung Munajat
D011 19 1038

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 21 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D
NIP. 196007301986031003

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng., Sc
NIP. 197607072005011002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng
NIP. 198605292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : La Ode Agung Munajat

NIM : D011191038

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Studi Campuran Tanah Lempung Plastisitas Tinggi dengan Variasi Kandungan Bentonite Terhadap Nilai *California Bearing Ratio* (CBR)”

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

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.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 Februari 2024

Yang Menyatakan



La Ode Agung Munajat

ABSTRAK

LA ODE AGUNG MUNAJAT. *Studi Campuran Tanah Lempung Plastisitas Tinggi dengan Variasi Kandungan Bentonite Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)* (dibimbing oleh Achmad Bakri Muhiddin dan Ardy Arsyad)

Tanah lempung ekspansif merupakan salah satu tanah yang sangat mudah dipengaruhi oleh air. Hal ini menyebabkan tanah lempung ekspansif mempunyai beberapa sifat buruk seperti sifat pengembangan dan penyusutan yang besar serta memiliki nilai indeks plastisitas tinggi yang mengakibatkan pada kondisi air tertentu tanah dapat mengalami perubahan volume. Dengan perubahan volume tanah akibat kadar air yang rendah dapat mengakibatkan penurunan pada bangunan di atasnya (*Settlement*). Selain penurunan, akibat kadar air yang tinggi dalam tanah dapat pula mengakibatkan tanah mengembang sehingga dapat menyebabkan bangunan terangkat (*Uplift*). Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki daya dukung dari tanah lempung ekspansif, dalam hal ini nilai CBR tanah yang diuji pada dua kondisi yaitu tak terendam (*Unsoaked*) dan terendam (*Soaked*). Selain itu dapat diketahui juga besar pengembangan dari pengujian CBR terendam (*Soaked*). Untuk menunjang penelitian utama tersebut dilakukan penelitian indeks properti untuk menjelaskan perilaku tanah lempung ekspansif. Pada penelitian ini digunakan *bentonite* untuk memperoleh karakteristik tanah ekspansif yang dibutuhkan dengan komposisi 25%, 50%, 75% dan 100% *bentonite*. *Bentonite* diketahui memiliki kemampuan mengembang yang besar, mudah menyerap air, dan indeks plastisitas tinggi karena mengandung mineral *montmorillonite*. Hasil penelitian menunjukkan nilai CBR sampel tanah timbunan, *bentonite*, dan campuran *bentonite* termasuk kategori baik untuk digunakan sebagai *subgrade*. Sedangkan dari hasil pengujian CBR terendam (*Soaked*) nilai CBR sampel tanah timbunan, *bentonite*, dan campuran *bentonite* termasuk kategori buruk untuk digunakan sebagai *subgrade* karena memiliki nilai CBR yang rendah dan pengembangan yang besar.

Kata Kunci: Tanah Ekspansif, *Bentonite*, CBR.

ABSTRACT

LA ODE AGUNG MUNAJAT. *Study of High Plasticity Clay Mixture with Bentonite Content Variation to California Bearing Ratio (CBR) Value* (supervised by Achmad Bakri Muhiddin and Ardy Arsyad)

Expansive clay soil is one of the soils that is very easily affected by water. This causes the expansive clay soil has some bad properties such as the nature of the development and shrinkage of the large and has a high plasticity index value that resulted in certain water conditions the soil can undergo changes in volume. With changes in soil volume due to low water content can lead to a decrease in the building on it (Settlement). In addition to the decrease, due to the high water content in the soil can also cause the soil to expand so that it can cause the building to lift (Uplift). This study aims to investigate the carrying capacity of expansive clay soils, in this case the CBR value of the soil tested in two conditions, namely Unsoaked and Soaked. In addition, it can also be noted the great development of submerged CBR testing (Soaked). To support the main research, a property index study was conducted to explain the behavior of expansive clay soils. In this study, bentonite was used to obtain expansive soil characteristics required with a composition of 25%, 50%, 75% and 100% bentonite. Bentonite is known to have a great ability to expand, easily absorb water, and a high plasticity index because it contains the mineral montmorillonite. The results showed the CBR value of soil samples, bentonite, and bentonite mixture including good category for use as subgrade. While the results of the CBR test submerged (Soaked) CBR value of soil samples, bentonite, and bentonite mixture including bad category to be used as a subgrade because it has a low CBR value and a large development.

Keywords: Expansive Soil, Bentonite, CBR.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Definisi Tanah	6
2.2 Klasifikasi Tanah.....	7
2.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur	8
2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian	10
2.3 Tanah Ekspansif	20
2.4 Identifikasi Tanah Ekspansif	21
2.5 <i>Bentonite</i>	26
2.6 <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	27
2.7 Penelitian Terdahulu	29
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	32
3.2 Metode Pengumpulan Data	33
3.3 Kerangka Alir Penelitian	33
3.4 Material	35
3.5 Alat Pengujian	36
3.6 Standar Pengujian.....	38
3.7 Pengujian Karakteristik Tanah, <i>Bentonite</i> , dan Campuran	38
3.8 Prosedur Pengujian Tanah.....	39
3.8.1 Pengujian Sifat Fisis Tanah.....	39
3.8.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah.....	42
3.9 Pembuatan Benda Uji.....	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Karakteristik Fisis Tanah Timbunan, <i>Bentonite</i> , dan Campuran	45
4.1.1 Kadar Air	45
4.1.2 Berat Jenis	45
4.1.3 Analisa Saringan dan Hidrometer	46
4.1.4 Batas-Batas Atterberg	49
4.2 Klasifikasi Tanah.....	53
4.2.1 <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	53
4.2.1 <i>American Association of State Highway and Transportation</i> <i>Officials (AASHTO)</i>	54
4.3 Identifikasi Tanah Ekspansif	56
4.3.1 Identifikasi Langsung	56
4.3.1 Identifikasi Tidak Langsung.....	56
4.4 Pengujian Kompaksi (<i>Standard Proctor Compaction</i>)	58
4.5 Pengujian <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	63
4.5.1 Pengujian CBR Tak Terendam (<i>Unsoaked</i>).....	63
4.5.2 Pengujian CBR Terendam (<i>Soaked</i>)	67
4.6 Pengembangan	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN.....	82
Lampiran 1. Dokumentasi	83
Lampiran 2. Data Hasil Pengujian	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA).....	9
Gambar 2	Rentang (<i>range</i>) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7	13
Gambar 3	Grafik hubungan antara persentase tanah dan aktivitas.....	25
Gambar 4	Lokasi pengambilan sampel tanah.....	32
Gambar 5	Diagram alir tahapan pelaksanaan penelitian	34
Gambar 6	Sampel pengujian CBR.....	44
Gambar 7	Kurva gradasi butiran tanah timbunan 100%	47
Gambar 8	Kurva gradasi butiran 25% <i>bentonite</i> – 75% tanah	47
Gambar 9	Kurva gradasi butiran 50% <i>bentonite</i> – 50% tanah	47
Gambar 10	Kurva gradasi butiran 75% <i>bentonite</i> – 25% tanah	48
Gambar 11	Kurva gradasi butiran <i>bentonite</i> 100%	48
Gambar 12	Grafik rekapitulasi analisa gradasi butiran	48
Gambar 13	Grafik hasil pengujian batas cair tanah timbunan 100%	50
Gambar 14	Grafik hasil pengujian batas cair 25% <i>bentonite</i> – 75% tanah	50
Gambar 15	Grafik hasil pengujian batas cair 50% <i>bentonite</i> – 50% tanah	50
Gambar 16	Grafik hasil pengujian batas cair 75% <i>bentonite</i> – 25% tanah	51
Gambar 17	Grafik hasil pengujian batas cair <i>bentonite</i> 100%	51
Gambar 18	Grafik pengaruh penambahan <i>bentonite</i> terhadap nilai <i>liquid limit</i>	51
Gambar 19	Grafik pengaruh penambahan <i>bentonite</i> terhadap nilai <i>plastic limit</i>	52
Gambar 20	Grafik pengaruh penambahan <i>bentonite</i> terhadap nilai <i>plasticity index</i>	52
Gambar 21	Grafik rekapitulasi pengaruh penambahan <i>bentonite</i> terhadap hasil uji batas-batas Atterberg.....	52
Gambar 22	Hubungan batas cair dan indeks plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS.....	54
Gambar 23	Hubungan batas cair dan indeks plastisitas untuk klasifikasi tanah AASHTO.....	55
Gambar 24	Grafik hubungan antara kadar air dengan berat isi kering tanah timbunan 100%	59
Gambar 25	Grafik hubungan antara kadar air dengan berat isi kering 25% <i>bentonite</i> dan 75% tanah.....	60
Gambar 26	Grafik hubungan antara kadar air dengan berat isi kering 50% <i>bentonite</i> dan 50% tanah.....	60
Gambar 27	Grafik hubungan antara kadar air dengan berat isi kering 75% <i>bentonite</i> dan 25% tanah.....	61

Gambar 28	Grafik hubungan antara kadar air dengan berat isi kering <i>bentonite</i> 100%	61
Gambar 29	Grafik pengaruh penambahan <i>bentonite</i> terhadap nilai berat isi kering maksimum	62
Gambar 30	Grafik pengaruh penambahan <i>bentonite</i> terhadap kadar air optimum.....	62
Gambar 31	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering tanah timbunan 100%	63
Gambar 32	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 25% <i>bentonite</i> dan 75% tanah.....	64
Gambar 33	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 50% <i>bentonite</i> dan 50% tanah.....	65
Gambar 34	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 75% <i>bentonite</i> dan 25% tanah.....	65
Gambar 35	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 100% <i>bentonite</i> ...	66
Gambar 36	Grafik rekapitulasi nilai CBR <i>Unsoaked</i>	67
Gambar 37	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering tanah timbunan 100%	68
Gambar 38	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 25% <i>bentonite</i> dan 75% tanah.....	68
Gambar 39	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 50% <i>bentonite</i> dan 50% tanah.....	69
Gambar 40	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 75% <i>bentonite</i> dan 25% tanah.....	70
Gambar 41	Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering 100% <i>bentonite</i> ...	70
Gambar 42	Grafik rekapitulasi nilai CBR <i>Soaked</i>	71
Gambar 43	Grafik nilai pengembangan sampel tanah timbunan 100%	72
Gambar 44	Grafik nilai pengembangan sampel 25% <i>bentonite</i> dan 75% tanah.....	73
Gambar 45	Grafik nilai pengembangan sampel 50% <i>bentonite</i> dan 50% tanah.....	73
Gambar 46	Grafik nilai pengembangan sampel 75% <i>bentonite</i> dan 25% tanah.....	74
Gambar 47	Grafik nilai pengembangan sampel <i>bentonite</i> 100%	75
Gambar 48	Grafik rekapitulasi nilai pengembangan (<i>Swelling</i>).....	76
Gambar 49	Grafik hubungan nilai pengembangan dengan <i>platicity index</i> (PI)	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir kasar)	12
Tabel 2	Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir halus)	13
Tabel 3	Sistem klasifikasi <i>Unified</i> (USCS)	18
Tabel 4	Korelasi nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan	24
Tabel 5	Korelasi nilai fraksi lempung lolos saringan No. 200, LL, dan N uji SPT dengan tingkat pengembangan	24
Tabel 6	Hubungan nilai aktivitas dengan tingkat keaktifan	25
Tabel 7	Klasifikasi potensi pengembangan	26
Tabel 8	Klasifikasi tanah berdasarkan nilai CBR.....	28
Tabel 9	Klasifikasi perubahan volume tanah-dasar untuk tanah timbunan.....	29
Tabel 10	Penelitian terdahulu tentang tanah ekspansif dan pengujian CBR	30
Tabel 11	Variasi tanah penelitian	35
Tabel 12	Alat-alat pengujian sifat fisis tanah	36
Tabel 13	Alat-alat pengujian sifat mekanis tanah.....	37
Tabel 14	Standar metode pengujian	38
Tabel 15	Jumlah sampel pengujian sifat fisis	38
Tabel 16	Jumlah sampel pengujian sifat mekanis	39
Tabel 17	Rekapitulasi hasil pengujian kadar air.....	45
Tabel 18	Rekapitulasi hasil pengujian berat jenis	46
Tabel 19	Rekapitulasi hasil pengujian analisa saringan dan hidromter.....	46
Tabel 20	Rekapitulasi hasil pengujian batas-batas Atterberg.....	49
Tabel 21	Rekapitulasi klasifikasi tanah timbunan, <i>bentonite</i> , dan campuran.....	55
Tabel 22	Rekapitulasi nilai pengembangan bebas sampel tanah timbunan, <i>bentonite</i> , dan campuran.....	56
Tabel 23	Rekapitulasi identifikasi tanah ekspansif metode Chen	57
Tabel 24	Rekapitulasi identifikasi tanah ekspansif metode Skempton	57
Tabel 25	Rekapitulasi identifikasi tanah ekspansif metode Seed.....	58
Tabel 27	Rekapitulasi hasil pengujian kompaksi tanah timbunan, <i>bentonite</i> , dan campuran.....	59
Tabel 28	Rekapitulasi hasil pengujian CBR <i>Unsoaked</i> tanah timbunan, <i>bentonite</i> , dan campuran.....	66
Tabel 29	Rekapitulasi hasil pengujian CBR <i>Soaked</i> tanah timbunan, <i>bentonite</i> , dan campuran.....	71
Tabel 30	Rekapitulasi nilai pengembangan pengujian CBR terendam (<i>Soaked</i>).....	75

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia.

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

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **La Ode Leo Irawan** dan ibunda **Rosmah** atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materiil, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Saudara tercinta **La Ode Malik Ibrahim** dan **Wa Ode Nur Amalia** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. Bapak **Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen dan **Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Bapak **Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D.**, selaku dosen pembimbing I dan bapak **Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc.**, selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
6. **Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. **Bapak Hairullah** selaku mahasiswa S3 yang telah membantu dalam penelitian dan membimbing dalam menyelesaikan tugas ini.

10. Saudara **Ihramsyah** yang selalu memberikan bantuan dan masukan dalam menyelesaikan tugas ini.
11. Seluruh rekan-rekan **Mahasiswa S1, S2, dan S3** di Laboratorium **Mekanika Tanah**, yang senantiasa berbagi wawasan yang sangat bermanfaat, memberikan semangat, dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini yang akan terkenang sepanjang hayat.
12. Saudara-saudari **Portland 2020** selaku keluarga kedua yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, kebersamaan yang tidak akan terlupakan, dukungan yang tiada henti, semangat, dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
13. 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 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, Februari 2024

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah memegang peranan yang sangat penting dalam konstruksi sipil, seperti pada bangunan gedung, jalan raya, jembatan, bendungan dan bangunan lainnya, sehingga dibutuhkan tanah dengan sifat teknis yang memadai. Stabilitas 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. Pengetahuan mengenai Mekanika Tanah sangat diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat tanah, cara menganalisis sifat-sifat tersebut dan untuk menentukan metode yang digunakan dalam memperhitungkan sifat-sifat tanah dalam perencanaan suatu konstruksi.

Tanah lempung ekspansif merupakan salah satu tanah yang sangat mudah dipengaruhi oleh air. Hal ini menyebabkan tanah lempung ekspansif mempunyai beberapa sifat buruk seperti sifat pengembangan dan penyusutan yang besar serta memiliki nilai indeks plastisitas tinggi yang mengakibatkan pada kondisi air tertentu tanah dapat mengalami perubahan volume. Tanah ekspansif dapat menimbulkan masalah dalam suatu proyek konstruksi khususnya untuk pekerjaan timbunan tanah dasar suatu bangunan. Dengan perubahan volume tanah akibat kadar air yang rendah dapat mengakibatkan penurunan pada bangunan di atasnya (*Settlement*) terlebih jika penurunannya tidak seragam (*Non-uniform Settlement*). Penurunan tersebut dapat terjadi pada masa konstruksi maupun selama operasional bangunan tersebut. Selain penurunan, akibat kadar air yang tinggi dalam tanah dapat pula mengakibatkan tanah mengembang sehingga dapat menyebabkan bangunan terangkat (*Uplift*).

Tanah dasar merupakan tanah pondasi yang mendukung beban secara langsung berupa berat lapisan perkerasan dan beban kendaraan yang melintas di atas permukaan jalan. Karakteristik tanah asli dari tanah dasar sangat menentukan kekuatan konstruksi jalan dalam menjamin kestabilan dan keamanan

berkendaraan. Lapisan perkerasan dan permukaan jalan sebagai pelindung untuk tanah dasar berfungsi untuk mendistribusikan beban roda kendaraan ke tanah dasar. Tanpa dukungan yang cukup dari tanah dasar, perkerasan akan mudah mengalami kerusakan. Daya dukung tanah dasar pada perkerasan jalan dipengaruhi oleh karakteristiknya. Tanah dasar yang dipilih seharusnya memiliki karakteristik yang memadai dan memenuhi syarat dan ketentuan. Namun masih banyak tanah dasar yang mempunyai karakteristik kurang baik sebagai tanah dasar (*subgrade*).

Karakteristik yang perlu diketahui pada tanah dasar jalan adalah nilai CBR tanah. Permasalahan yang sering dijumpai pada tanah dasar jalan adalah masalah daya dukung tanah rendah yang ditandai dengan rendahnya nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Batasan nilai CBR untuk tanah dasar minimal 6%, agar lapisan perkerasan tidak mudah mengalami retak dan runtuh akibat terjadinya penurunan badan jalan (Soedarsono, 1985). Menurut Bowles (1992), tanah dengan nilai CBR < 3% diklasifikasikan sebagai tanah dengan CBR rendah, 3-7% sebagai tanah dengan CBR rendah sampai sedang, 7-20% sebagai tanah dengan CBR sedang, dan > 20% sebagai tanah dengan CBR baik. Nilai CBR tanah dasar menjadi acuan pada perencanaan perkerasan jalan raya, oleh karena itu nilai CBR tanah dasar seharusnya memenuhi persyaratan nilai tertentu, selain persyaratan lainnya.

Dari uraian yang telah dikemukakan di atas, penulis tertarik untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul:

**“STUDI CAMPURAN TANAH LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI
DENGAN VARIASI KANDUNGAN *BENTONITE* TERHADAP
NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR)”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik tanah yang digunakan pada penelitian?

2. Bagaimana pengaruh campuran tanah dengan *bentonite* terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) pada kondisi tak terendam (*Unsoaked*) dan terendam (*Soaked*)?
3. Bagaimana pengaruh campuran tanah dengan *bentonite* terhadap nilai pengembangan tanah?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian.
2. Untuk mengetahui pengaruh campuran tanah dengan *bentonite* terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) pada kondisi tak terendam (*Unsoaked*) dan terendam (*Soaked*).
3. Untuk mengetahui pengaruh campuran tanah dengan *bentonite* terhadap nilai pengembangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisis tanah yang digunakan dalam penelitian dan pengaruh campuran *bentonite* terhadap sifat mekanis tanah serta nilai pengembangannya yang diukur dengan parameter *California Bearing Ratio* (CBR) pada kondisi tak terendam (*Unsoaked*) dan terendam (*Soaked*).

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan lebih terarah, diperlukan batasan dalam penulisan laporan akhir ini. Adapun ruang lingkup yang dijadikan batasan dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.
2. Pencampuran tanah asli dengan *bentonite* dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik tanah ekspansif.

3. Penelitian ini menggunakan 5 variasi benda uji yaitu 100% tanah asli, 25% *bentonite* – 75% tanah, 50% *bentonite* – 50% tanah, *bentonite* 75% – 25% tanah, dan 100% *bentonite*.
4. Penelitian ini tidak meninjau kandungan mineralogi sample tanah yang digunakan.
5. Penelitian ini menguji sifat-sifat fisis dan mekanis benda uji.
6. Sifat fisis dan mekanis yang teliti ialah:
 - a. Pengujian berat jenis.
 - b. Pengujian kadar air.
 - c. Pengujian analisa saringan dan hidrometer.
 - d. Pengujian batas-batas Atterberg.
 - e. Pengujian pemadatan (kompaksi).
 - f. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) *Soaked* dan *Unsoaked*.
7. Pengujian CBR *Unsoaked* dilakukan langsung setelah pemadatan.
8. Pengujian CBR *Soaked* diuji setelah perendaman dalam waktu 4 x 24 jam dengan kondisi laboratorium.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan 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 memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah terdiri dari lapisan partikel yang berbeda dari bahan aslinya dalam sifat fisik, mineralogi, dan kimia, karena interaksi antara atmosfer dan hidrosfer atau sebab lainnya. Partikel tanah terbentuk dari batuan yang pecah yang telah berubah karena efek kimia dan lingkungan, termasuk cuaca dan erosi. Partikel tanah tersusun secara longgar, menciptakan formasi tanah yang terdiri dari ruang pori. (Darwis, 2018).

Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain (Hardiyatmo H. C., 2002).

Tanah menurut Bowles (1989) adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan batu besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm dan untuk kisaran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Kerikil (*gravel*) adalah batuan yang berukuran 5 mm sampai 15 mm.
3. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0.074 mm – 5 mm, yang berkisar dari kasar (3 mm – 5 mm) sampai halus (<1 mm).

4. Lanau (*silt*) adalah batuan yang berukuran dari 0.002 mm – 0.074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan pada deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai ke dalam sungai.
5. Lempung (*clay*) adalah partikel yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm, partikel ini merupakan sumber utama kohesi dari tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam, berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.

Ada pula menurut Santoso et al (1998) pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan butirnya dibagi menjadi 3 macam yaitu:

1. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya adalah pasir dan kerikil.
2. Tanah berbutir halus adalah tanah yang hampir semua butir-butir dalam tanahnya berupa lempung dan lanau.
3. Tanah organik adalah tanah yang mengandung banyak bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatannya, tanah dikelompokkan menjadi:

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

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. 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. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari

sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah secara sistematis guna menentukan penyesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai kondisi tanah dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis serta karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1991).

Klasifikasi tanah dapat dilakukan secara sistematis yang didasarkan pada hasil-hasil percobaan laboratorium atau dilakukan secara visual. Dalam kedua cara ini, prinsip-prinsipnya sama, dan akan menghasilkan deskripsi atau klasifikasi yang sama pula. Insinyur geoteknik umumnya mengklasifikasikan tanah berdasarkan karakteristik tekniknya dan hubungannya dalam membangun pondasi dan bangunan di atasnya. Sistem klasifikasi modern didesain untuk memudahkan perkiraan sifat dan perilaku tanah berdasarkan observasi di lapangan (Darwis, 2018).

Menurut Das (1995), dasar pengklasifikasian tanah dapat dibagi menjadi dua sistem, yaitu sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dan sistem klasifikasi tanah berdasarkan pemakaian.

2.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

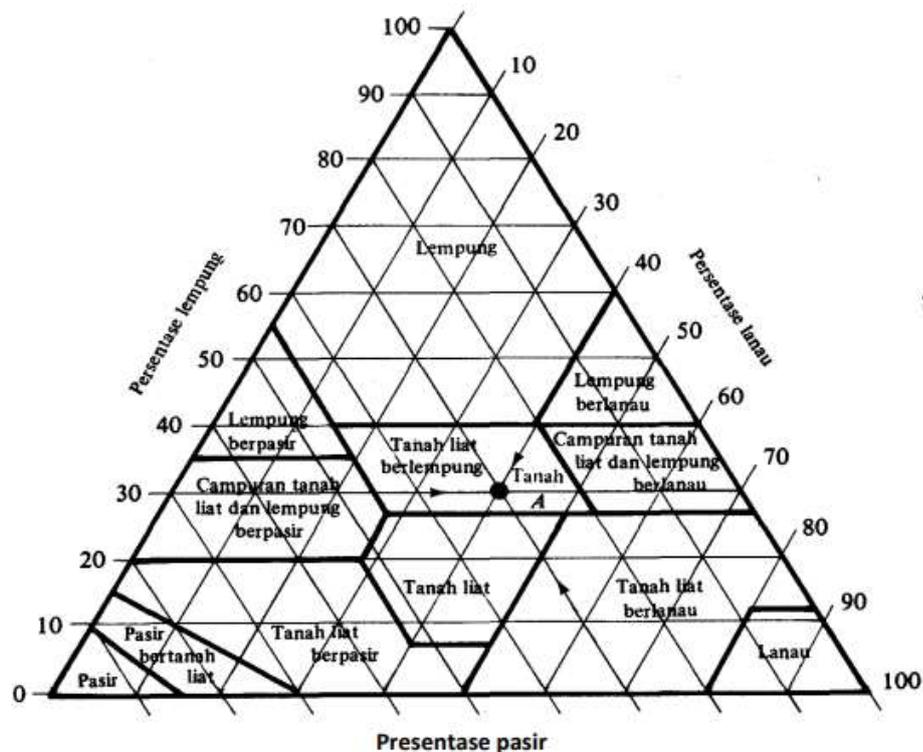
Secara umum tekstur tanah adalah perbandingan antara fraksi-fraksi golongan partikel penyusun tanah dalam bentuk persen sehingga mengindikasikan tingkat kehalusan atau kekasaran tanah. Tekstur tanah juga dapat mempengaruhi kekerasan, permeabilitas, dan plastisitas dari tanah. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur mengacu pada ukuran partikel yang menyusun tanah tersebut sehingga terdapat tanah yang bertekstur halus, sedang, dan kasar.

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur telah dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA) yang mengklasifikasikan tanah atas dasar ukuran butirannya sebagai berikut:

- a. Pasir: ukuran butiran antara 2,0 – 0,05 mm.
- b. Lanau: ukuran butiran 0,05 – 0,002 mm.
- c. Lempung: ukuran butiran < 0,002 mm.

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. Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur yang masih digunakan sampai saat ini adalah sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah. Sistem klasifikasi tanah ini lebih banyak menekankan pada morfologi dan kurang menekankan pada faktor-faktor pembentuk tanah (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA) dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



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

Sumber: USDA (1987)

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 dalam Gambar 1 di atas. Jenis tanah A termasuk dalam daerah lempung tanah liat. Perhatikan bahwa bagan ini hanya didasarkan pada bagian tanah yang lolos lewat ayakan No. 10. Oleh karena itu, apabila tanahnya mengandung butiran berdiameter lebih besar dari 2 mm dalam persentase tertentu, maka perlu diadakan koreksi (Das, 1995).

2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah 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 (Das, 1995).

Dalam dunia keteknikan klasifikasi yang paling sering digunakan adalah klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS). Sistem tanah untuk keteknikan lainnya yaitu AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

a. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO)

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah ke dalam tujuh kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali

perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945. Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagan AASHTO, sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut yang terpenuhi. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan, sesuai dengan kelompok tanah, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan partikel butiran tanah (Darwis, 2018).

Menurut Das (1995), 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 (2mm).
 - Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm). Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.
- b. Plastisitas:
 - Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [*plasticity index* (PI)] se besar 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.

Tabel 1 berikut merupakan tabel klasifikasi tanah sistem AASHTO untuk tanah berbutir kasar (*granular soil*).

Tabel 1 Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir kasar)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 20)						
	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) batas plastisitas (<i>PI</i>)	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 Yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasat	Baik Sekali sampai Baik						

Sumber: AASHTO (1986)

Menurut sistem di atas tanah dibagi menjadi 7 kelompok, dan diberi nama dari A-1 sampai A-7. Semakin kecil angkanya, semakin baik untuk bahan *subgrade* jalan, dan sebaliknya semakin besar angkanya semakin jelek untuk *subgrade*. Kecuali pada tanah dalam grup A-3, lebih baik dari pada semua jenis tanah dalam grup A-2 sebagai bahan untuk *subgrade* jalan (Darwis, 2018).

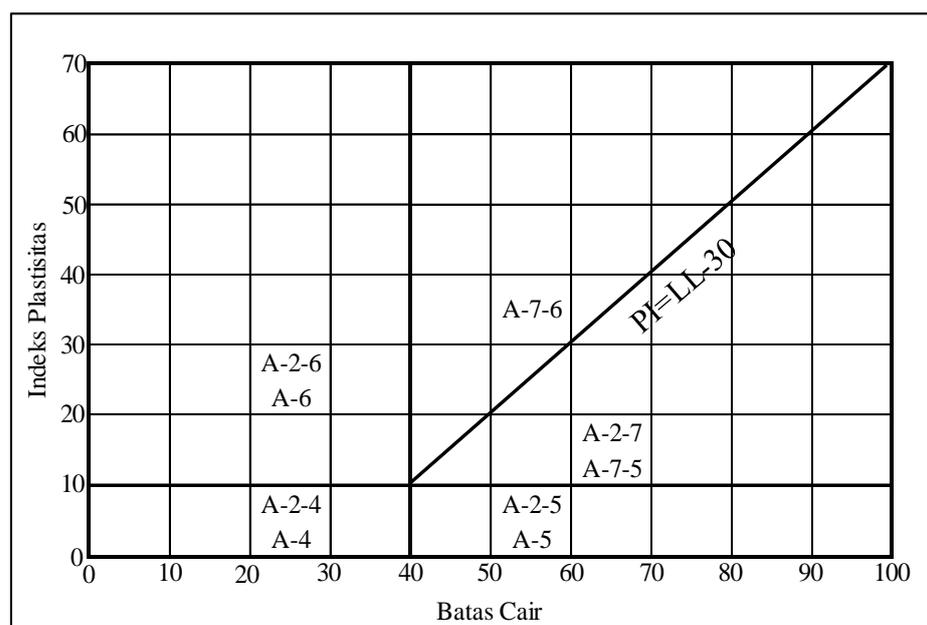
Adapun untuk tanah berbutir halus (*finer soils*) yaitu tanah yang termasuk tanah lanau dan lempung dengan persentasi tanah yang lolos saringan No. 200 lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah yang diuji. Menurut sistem AASHTO tanah berbutir halus terbagi menjadi empat kelompok dan diberi nama mulai dari A4 sampai A7 seperti yang terlihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir halus)

Klasifikasi Umum	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'
Klasifikasi kelompok				
Analisis 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) Batas plasti (PI)	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			

*untuk A-7-5, $PI \leq LL-30$ ' untuk A-7-6, $PI > LL-30$

Sumber: AASHTO (1986)

**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

Pengujian tanah yang diperlukan dalam klasifikasi ini adalah analisis saringan dan uji batas-batas Atterberg. Selanjutnya dihitung indeks kelompok (*group index – GI*), yang digunakan untuk mengevaluasi pengelompokan tanah. 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 di dalam kurung setelah nama kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti di bawah ini:

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

dimana:

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No.200

LL = Batas cair (*liquid limit*)

PI = Indeks plastisitas.

Suku pertama persamaan di atas, 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:

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

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

Pada umumnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga indeks grup. Apabila nilai indeks kelompok semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam pemilihan penggunaan tanah tersebut (gradasi jelek). Tanah granular diklasifikasikan dalam A1 sampai A3. Sedangkan tanah berbutir halus diklasifikasikan dalam A4 sampai A7.

Tanah klasifikasi A1, adalah tanah granular bergradasi “baik”, dan tanah klasifikasi A3, merupakan pasir bersih yang bergradasi “buruk”. Sedangkan klasifikasi A2 adalah tanah granular (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tapi masih mengandung lanau dan lempung (Darwis, 2018).

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

Klasifikasi tanah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM), telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok. Digunakan simbol-simbol dalam sistem USCS sebagai berikut:

G = *gravel* (kerikil)

S = *sand* (pasir)

C = *anorganic clay* (lempung)

M = *anorganic silt* (lanau)

O = lanau atau lempung organik

Pt = *peat* (tanah gambut atau tanah organik tinggi)

W = *well-graded* (gradasi baik)

P = *poorly-graded* (gradasi buruk)

H = *high-plasticity* (plastisitas tinggi)

L = *low-plasticity* (plastisitas rendah)

Prosedur penentuan klasifikasi tanah dengan sistem *Unified* sebagai berikut:

1. Tentukan tanah apakah berbutir “halus” atau “kasar” (secara visual atau saringan No. 200).
2. Untuk tanah berbutir kasar, maka lakukan ;
 - a. Saringan tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Hitung persen lolos saringan No. 4; bila persentase lolos < 50% klasifikasikan tanah sebagai “kerikil”; bila persentase lolos > 50% klasifikasikan tanah sebagai “pasir”.
 - c. Hitung persen lolos saringan No. 200; bila persentase lolos < 5% maka hitung Cu dan Cc; bila termasuk bergradasi baik, klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) dan klasifikasikan sebagai SW (bila pasir); bila termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) dan klasifikasikan sebagai SP (bila pasir).
 - d. Apabila persentase butiran yang lolos saringan No. 200 diantara 5% sampai 12%, maka tanah akan memiliki symbol ganda dan mempunyai sifat plastisitas (GW-GM atau SW-SM, dan lain-lain).
 - e. Apabila persentase butiran yang lolos saringan No. 200 > 12%, maka harus dilakukan uji batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal pada saringan No. 40. Kemudian dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
3. Untuk tanah berbutir halus, maka:
 - a. Lakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran yang tinggal di atas saringan No. 40. Bila batas cari (LL) > 50, klasifikasikan tanah tersebut sebagai H

- (plastisitas tinggi); bila $LL < 50$ klasifikasikan tanah sebagai L (plastisitas rendah).
- b. Untuk tanah H, bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada di bawah garis A, tentukanlah apakah masuk kategori OH (organik) atau MH (anorganik). Dan bila plottingnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai tanah CH (organik plastisitas tinggi).
 - c. Untuk tanah L, bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukanlah apakah masuk kategori OL (organik) atau ML (anorganik) berdasarkan warna, bau atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
 - d. Bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada pada area yang diarsir, dekat dengan garis A, atau nilai LL sekitar 50, maka gunakan simbol ganda.

Rincian sistem klasifikasi *Unified* (USCS) ini diberikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Sistem klasifikasi *Unified* (USCS)

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama umum
Tanah berbutir kasar lebih dari 50% butiran tertahan pada 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
		kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lanau
	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
		pasir dengan butiran halus	SP Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200'	lanau dengan lempung Batas cair 5% 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 clay)
OL Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
Lanau dan lempung Batas Cair lebih dari 50%		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanai diatomae, lanau yang elastis	
		CH lempung anorganik, dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH lempung anorganik, dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
		PT Peat (gambut), muck, dan tanah tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

*Menurut ASTM (1983)

berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)

Sumber: ASTM International (2006)

Tabel 3 Sistem klasifikasi *Unified* (lanjutan)

	Kriteria Klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 klasifikasi pembatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 4	
	$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 sampai 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 atau $PI > 7$	
	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 6	
	$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 sampai 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 atau $PI > 7$	

Indeks Plastisitas

Batas Cair

manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam
ASTM Designation D-2488

Sumber: ASTM International (2006)

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas. Tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas yang diberikan dalam Tabel 3. Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A, dan garis A tersebut diberikan dalam persamaan berikut:

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

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

2.3 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif (*expansive soil*) adalah istilah yang digunakan untuk tanah yang memiliki potensi pengembangan atau penyusutan yang tinggi karena pengaruh kadar air. Tanah ekspansif akan menyusut pada saat kadar air berkurang, dan akan mengembang jika kadar air bertambah. Di alam, umumnya tanah yang memiliki potensi pengembangan, juga mempunyai potensi menyusut oleh perubahan kadar air tersebut.

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 *montmorillonite* (Hardiyatmo, 2017)

Menurut Sneath et al. (1975), mineral lempung berasal dari pelapukan atau perubahan diagenetik (*diagenetic alteration*) mineral yang sudah ada sebelumnya, sehingga mempunyai ukuran butiran yang sangat kecil, namun dengan luas permukaannya besar. Pemanasan secara fisik dalam periode yang panjang, dan perubahan secara kimiawi material sebagai hasil dari perubahan tekanan *overburden* atau kondisi lingkungan air tanah, diistilahkan sebagai faktor diagenetik. Faktor diagenetik umumnya digambarkan dalam fenomena ikatan antar partikel akibat kristalisasi ulang dari kontak antara mineral-mineral lempung pada tekanan *overburden* yang besar, atau oleh sementasi partikel sebagai hasil pengendapan bahan perantara dari air tanah.

Menurut Chen (1975), partikel lempung berbentuk lembaran-lembaran yang mempunyai permukaan tertentu. Mineral lempung terbentuk melalui proses yang kompleks dari berbagai macam material atau batuan induknya, antara lain: felspar, mika dan batugamping (*limestone*). Mineral yang terbentuk tersebut bergantung pada batuan induknya, topografi, iklim, tumbuh-tumbuhan di dekatnya, waktu lamanya pelapukan dan faktor-faktor lainnya. Proses perubahan yang terjadi, jika di permukaan tanah disebut pelapukan, dan jika di dasar laut disebut *halmyrolysis*. Proses perubahan meliputi disintegrasi, oksidasi, hidrasi dan lelehan.

Sifat-sifat yang paling penting dari tanah-tanah berbutir halus adalah komposisi mineralnya. Tiga susunan kelompok mineral lempung yang penting adalah (Nelson dan Miller, 1992):

1. Kelompok mineral lempung tidak ekspansif. Mineral lempung ini tidak ekspansif karena adanya ikatan hidrogen kuat yang menjaga ikatan setiap partikel lempung secara bersama-sama. Kelompok *kaolinite* termasuk tidak ekspansif.
2. Kelompok 'seperti mika' (*mica-like*), contohnya *illite* dan *vermiculite*, yang bisa ekspansif, tapi umumnya tidak mengakibatkan banyak masalah. *Illite* mengandung ikatan potasium yang lemah yang memungkinkan adanya sedikit pengembangan.
3. Kelompok *smectite*, termasuk *montmorillonite*, yang sangat mudah mengembang atau ekspansif, merupakan mineral lempung yang banyak mengakibatkan masalah, karena partikel-partikel hanya terikat secara lemah.

2.4 Identifikasi Tanah Ekspansif

Di alam, indikasi tanah yang ekspansif dapat dilihat dari kenampakannya. Tanah sangat ekspansif biasanya mempunyai sifat retak yang spesifik. Permukaan tanah yang ekspansif memperlihatkan area susut yang berbentuk poligon dan banyak retakan. Kondisi ini mencerminkan banyaknya kadar lempung dan kemungkinan adanya mineral yang mudah mengembang. Ukuran poligon mengindikasikan banyaknya kandungan lempung: bila poligon semakin kecil, maka semakin banyak kandungan lempungnya. Pada kasus yang ekstrem, dimana

tanah banyak mengandung mineral sodium *montmorillonite*, ukuran dan tekstur retakan mirip berondong jagung. Tekstur berondong jagung tersebut sangat umum dijumpai pada permukaan lapisan *bentonite* dan batuan yang mengandung *montmorillonite* (Snethen et al., 1975).

Tanah ekspansif mempunyai sifat yang berbeda dengan tanah-tanah lain, terutama kemampuannya dalam menyerap air yang besar sehingga berakibat perubahan volume yang besar. Umumnya, bila dalam pembangunan, perubahan volume tanah menjadi masalah, maka dibutuhkan cara untuk mengidentifikasi, menguji dan mengevaluasi potensi pengembangannya. Untuk mengevaluasi perilaku tanah ekspansif, maka perlu dilakukan pekerjaan-pekerjaan:

1. Penyelidikan tanah (pengambilan contoh tanah).
2. Identifikasi potensi pengembangannya.
3. Estimasi perilaku perubahan volume tanah di tempat.

Didasarkan pada informasi tersebut, dapat dilakukan alternatif penanganan yang sesuai. Tujuannya adalah untuk menentukan penanganan tanah yang sesuai dengan kondisinya.

Penyelidikan tanah di laboratorium berguna untuk mendefinisikan sifat-sifat fisik tanah dan kepekaannya terhadap perubahan volume bila terjadi perubahan kadar air. Maksud dari identifikasi dan pengujian tanah ekspansif adalah untuk menggambarkan sifat-sifat perubahan volume tanah secara kualitatif dan kuantitatif. Identifikasi secara kualitatif dibutuhkan untuk mengetahui gambaran perilaku tanah ekspansif yang terkait dengan potensi perubahan volume yang dapat merusak bangunan. Sifat-sifat kuantitatif diperlukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan volume yang akan terjadi. Dari sini, kemudian dapat dipikirkan alternatif cara penanganannya (Hardiyatmo, 2017).

Mineral yang terdapat pada tanah ekspansif adalah *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*. Ketiganya merupakan bentuk kristal *hidros aluminium silikat*, tetapi sifat dan struktur ketiganya memiliki perbedaan. Perbedaan sifat dan struktur kristal yang ada pada mineral memberikan kelemahan untuk mengalami pengembangan. Pengembangan akan terjadi pada lempung ketika air masuk diantara partikel lempung yang mengakibatkan terjadinya pemisah partikel (Gunarso, Nuprayogi, & Pardoyo, 2017).

Ada tiga kategori 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.

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 dengan cara tidak langsung adalah sebagai berikut:

- a) Cara Chen (1975)

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 *Standard Penetration Test* (SPT) di lapangan.

Tabel 4 di bawah menunjukkan hubungan antara nilai PI dengan potensi pengembangan yang dibagi menjadi 4 bagian, yaitu: potensi pengembangan rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Tanah ekspansif dengan tingkat sangat tinggi yaitu nilai *plasticity index* > 55%. Sedangkan Tabel 5 menunjukkan korelasi nilai fraksi lempung lolos saringan No. 200, LL, dan N uji SPT dengan tingkat pengembangan.

Tabel 4 Korelasi nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan

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

Sumber : (Chen, 1975).

Tabel 5 Korelasi nilai fraksi lempung lolos saringan No. 200, LL, dan N uji SPT dengan tingkat pengembangan

< No. 200, %	LL, %	Standard Penetration Blows per Foot	Probable expansion, %	Degree of Expansion
< 30	< 30	< 10	< 1	Low
30 – 60	30 – 40	10 – 20	1 – 5	Medium
60 – 95	40 – 60	20 – 30	3 – 10	High
> 95	> 60	> 30	> 10	Very High

Sumber: (Snethen, Jhonson, & Patrick, 1977)

b) Cara Skempton (1953)

Identifikasi lempung ekspansif juga sering dilakukan dengan memperhatikan nilai aktivitasnya, Skempton (1953) mendefinisikan nilai *activity* (A) dengan persamaan:

$$A = \frac{PI}{C} \quad (4)$$

dimana,

A = aktivitas

PI = indeks plastisitas (%)

C = persen fraksi ukuran lempung (D butiran < 0,002 mm, %).

Tabel 6 di bawah menunjukkan hubungan antara nilai aktivitas dengan tingkat keaktifannya.

Tabel 6 Hubungan nilai aktivitas dengan tingkat keaktifan

Status	Range	Potential Swell
<i>Inactive clay</i>	<i>Activity < 0,75</i>	<i>Low</i>
<i>Normal clay</i>	<i>Activity 0,75 – 1.25</i>	<i>Medium</i>
<i>Active clay</i>	<i>Activity > 1,25</i>	<i>High</i>

Sumber : (Skempton, 1953)

c) Cara Seed, Woodward, dan Lundgren (1962)

Cara ini menggunakan persamaan *activity* dari Skempton yang dikembangkan menjadi:

$$A = \frac{PI}{C-10} \quad (5)$$

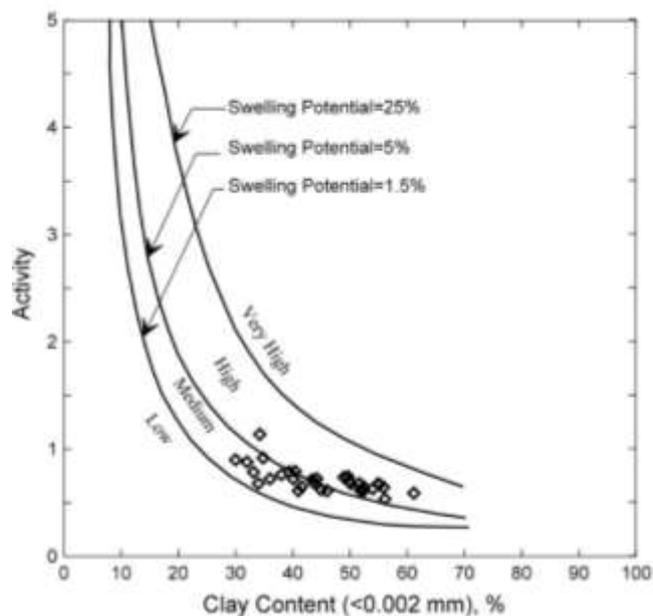
dimana,

A = aktivitas

PI = indeks plastisitas (%)

C = persen fraksi ukuran lempung (D butiran < 0,002 mm, %)

Angka 10 adalah faktor reduksi, pada Gambar 3 di bawah ini merupakan grafik hubungan persentase tanah lolos saringan No.200 dan aktivitas serta *swelling potential*.



Gambar 3 Grafik hubungan antara persentase tanah dan aktivitas

Sumber: (Seed , Woodward, & Lundgren, 1962)

Pada Tabel 7 Seed, Woodward, dan Lundgren juga mengusulkan hubungan empiris yang lain antara potensi pengembangan dan indeks plastisitas tanah, dengan persamaan:

$$SP = 60 K (PI)^{2,44} \quad (6)$$

Keterangan,

$SP = Swell\ potential\ (\%)$

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

$PI = Plasticity\ indeks\ (\%)$

Tabel 7 Klasifikasi potensi pengembangan

Derajat Pengembangan	Potensi Pengembangan, SP (%)
Rendah	0 – 1,5
Sedang	1.5 – 5
Tinggi	5 – 25
Sangat Tinggi	> 25

Sumber: (Seed , Woodward, & Lundgren, 1962)

3. Identifikasi langsung

Dilakukan test langsung pada tanah dengan cara uji pengembangan bebas dan uji oedometer (alat konsolidasi).

2.5 Bentonite

Bentonite adalah koloid alam dari silikat aluminium terhidrasi. *Bentonite* memiliki kemampuan mengembang, sifat penukar ion, luas permukaan yang besar, dan mudah menyerap air. Selain itu, adanya keasaman permukaan *bentonite* terkait dengan asam Bronsted dan asam Lewis memungkinkan penggunaan *bentonite* sebagai katalis. *Bentonite* merupakan salah satu jenis mineral yang memiliki beragam manfaat dalam kehidupan sehari-hari. *Bentonite* dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada pasir cetak pengecoran, bahan baku pembuatan semen, keramik, kosmetik, krayon serta sebagai absorben, bidang farmasi, dan lain sebagainya (Murray, 2007).

Bentonite didefinisikan sebagai lempung halus yang mengandung 80% lebih terdiri dari mineral *montmorillonite* $(\text{Na Ca})_{0,33} (\text{Al. Mg})_{12} \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$, bersifat lunak, terasa berlemak, mudah mengembang apabila kena air. Lempung tersebut biasa disebut menjadi lempung *montmorillonite* tetapi dalam dunia perdagangan lebih senang menyebutnya *bentonite* (Sukandarrumidi, 2009). *Bentonite* mempunyai plastisitas sangat tinggi. Bahan yang berasal dari hasil alterasi abu vulkanik ini sering digunakan saat pengeboran, yaitu dengan cara larutan *bentonite* diisikan ke dalam lubang bor agar lubang tidak longsor (menutup). *Bentonite* mempunyai batas cair (LL) 500% atau lebih (Hardiyatmo, 2017)

Menurut Sirait Makmur (2018), *bentonite* dapat dibedakan dari sifat mengembang (*swelling*) bila dicelupkan ke dalam air. Penggunaannya sangat tergantung pada tingkat ketersediaannya di alam dan terdiri atas dua jenis, yaitu: natrium *bentonite* dan kalsium *bentonite*.

1. Natrium *Bentonite*

Memiliki kemampuan mengembang delapan kali lipat bila dicelupkan ke dalam air dan membentuk suspensi kental setelah bercampur air dengan pH 8,5-9,8. Fungsinya adalah sebagai pengisi (*filler*) lumpur pemboran, bahan pencampur dalam pembuat cat, dan bahan baku farmasi.

2. Kalsium *Bentonite*

Daya mengembang rendah, bila dicelupkan dalam air dan suspensinya memiliki pH 3-7. Kalsium *bentonite* digunakan sebagai bahan pemucat warna (*bleaching earth*) pada industri minyak sawit, zat pemisah pada pengilang minyak bumi, dan perusahaan bir.

2.6 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio Test atau dikenal dengan pengujian CBR adalah pengujian yang dapat dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan dengan tujuan untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah. Dari pengujian ini akan didapatkan nilai CBR yaitu perbandingan antara beban penetrasi suatu material yang diuji dengan beban standar dalam bentuk persentase. Besarnya nilai CBR

menandakan tingkat kekerasan suatu material yang diuji, sehingga semakin keras suatu material yang diuji maka semakin tinggi pula nilai CBR yang didapatkan.

CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi tidak terendam disebut CBR *Unsoaked* dan pada kondisi terendam atau disebut CBR *Soaked*, pada umumnya harga CBR *Soaked* lebih rendah dari CBR *Unsoaked*. Namun demikian kondisi *Soaked* adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga didalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR *Soaked* yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan.

Dalam perkerasan jalan raya nilai CBR dapat digunakan sebagai parameter sesuai atau tidaknya penggunaan suatu material tanah untuk lapisan perkerasan karena besaran nilai CBR dapat menjadi parameter menentukan kemampuan tanah tersebut menerima dan meneruskan beban di atasnya. Nilai CBR setiap tanah berbeda-beda sesuai dengan tingkat kekerasan tanah tersebut. Tabel 8 berikut memperlihatkan klasifikasi tanah berdasarkan nilai CBR.

Tabel 8 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai CBR

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, subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GI	AIb, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excellent	Base, subbase	GW, GM	AIa, A2-4, A3

Sumber (Das, 1995)

Pada Tabel 8 di atas terlihat bahwa berdasarkan nilai CBR tanah diklasifikasikan menjadi 5 kelompok yaitu *very poor*, *poor to fair*, *fair*, *good*, dan *excellent*. Untuk penggunaan sebagai lapis pondasi perkerasan maka tanah harus tergolong dalam kelompok *fair*, *good*, dan *excellent*. Sedangkan untuk tanah *very poor* dan *poor* harus dilakukan stabilisasi terlebih dahulu agar dapat digunakan sebagai lapis pondasi perkerasan.

Uji modifikasi untuk tanah ekspansif dikembangkan untuk mengkaji pengaruh pengembangan tanah terhadap kepadatan dan kekuatannya, dan tidak dapat digunakan untuk identifikasi perilaku potensi pengembangan tanah.

Tabel 9 menunjukkan klasifikasi perubahan volume tanah-dasar untuk timbunan yang didasarkan pada derajat pengembangan yang terjadi saat dilakukan uji CBR terendam. Dalam tabel tersebut *Weighted Plasticity Index* adalah perkalian antara indeks plastisitas (PI) dan material lolos saringan 425 μm , atau

$$WPI = PI \times \text{persen material lolos saringan } 425 \mu\text{m (no.40)} \quad (8)$$

Nilai WPI dapat digunakan sebagai penilaian awal tanah-dasar. Disamping nilai CBR terendam yang juga memberikan indikator yang baik dalam menggambarkan potensi gerakan tanah. Tanah dengan derajat pengembangan rendah, cenderung mempunyai CBR lebih tinggi (Hardiyatmo, 2017).

Tabel 9 Klasifikasi perubahan volume tanah-dasar untuk tanah timbunan

<i>Weighted Plasticity Index, WPI (%)</i>	Pengembangan CBR terendam (%)	Klasifikasi perubahan volume tanah-dasar	Keterangan
< 1200	< 1	Sangat rendah	Bisa untuk <i>sub-base</i>
1200 – 2200	1 – 2	Rendah	Bisa untuk <i>capping layer</i>
2200 – 3200	2 – 3	Sedang	Dirancang untuk bergerak sedikit
3200 – 5000	3 – 5	Tinggi	Tidak cocok langsung di bawah perkerasan
> 5000	> 5	Sangat tinggi	Harus dibongkar dan diganti atau distabilisasi

Sumber (Look et al, 1994)

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai daya dukung tanah ekspansif dengan parameter pengujian CBR telah dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 Penelitian terdahulu tentang tanah ekspansif dan pengujian CBR

Penulis	Judul	Tujuan	Sumber
Cindy Rahayu	Analisis Pengaruh Campuran Kapur Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran kapur pada tanah lempung ekspansif terhadap indeks plastisitasnya, berat isi kering optimum, kadar air optimum, serta pengaruhnya terhadap nilai CBR. Kapur umumnya berasal dari batu kapur (<i>limestone</i>) atau <i>dolomite</i> . Dari hasil analisis pengaruh campuran kapur pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai CBR dapat disimpulkan bahwa nilai batas cair dan indeks plastisitas mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar kapur.	Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area, 2017
Alvin Amartya Nurul Hidayah	Studi Potensi Pengembangan Tanah Ekspansif yang Distabilisasi dengan <i>Ziolit</i>	Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati karakteristik fisis dari tanah dasar yang bersifat ekspansif yang selanjutnya menganalisis besarnya pengaruh perubahan nilai aktifitas dan tingkat pengembangan karena adanya variasi penambahan <i>ziolit</i> pada tanah ekspansif. Pada penelitian ini yang dilakukan adalah meninjau karakteristik fisik, aktifitas dan potensi pengembangan tanah ekspansif setelah distabilisasi dengan <i>ziolit</i> .	Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, 2021
Midina Destari	Stabilisasi Perubahan Nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>Unsoaked</i> Pada Tanah Lempung dengan Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Renolith</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan <i>fly ash</i> dan campuran <i>fly ash</i> dengan <i>renolith</i> terhadap nilai CBR <i>unsoaked</i> tanah lempung. Membandingkan nilai CBR <i>unsoaked</i> tanah lempung setelah dilakukan penambahan <i>fly ash</i> dan campuran <i>fly ash</i> dengan <i>renolith</i> . Variasi <i>fly ash</i> yang ditambahkan pada penelitian ini adalah 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat tanah, dan <i>renolith</i> konstan seberat 5% dari berat <i>fly ash</i> yang ditambahkan.	Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, 2019

Penulis	Judul	Tujuan	Sumber
Made Dwika Hutama Putra	Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif dengan Metode <i>Deep Soil Mixing</i> Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai CBR dan Pengembangan.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kadar air lapangan terhadap nilai CBR tanah dan nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif. Metode stabilisasi yang digunakan adalah <i>deep soil mixing</i> dengan konfigurasi tipe <i>panels</i> berdiameter 5 cm. selain itu <i>fly ash</i> ditambahkan sebagai bahan stabilisasi. Pengujian laboratorium yang digunakan adalah uji kekuatan CBR dan uji <i>swelling</i> . Percobaan CBR dilakukan dengan dua kondisi yaitu <i>Soaked</i> dan <i>Unsoaked</i> .	Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2017
Nadia Nada Nisrina	Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran <i>Bottom Ash</i> Pabrik Kertas dan Limbah Karbit Terhadap Nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan campuran <i>bottom ash</i> pabrik kertas dan limbah karbit terhadap peningkatan nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>Soaked</i> pada tanah lempung ekspansif. Menganalisis perbandingan nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>Soaked</i> tanah lempung ekspansif sebelum dan sesudah penambahan campuran <i>bottom ash</i> pabrik kertas dan limbah karbit. . Pada penelitian ini, pengujian yang dilakukan adalah pengujian propertis tanah dan pengujian mekanis berupa pengujian pemadatan tanah standar dan pengujian <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) <i>Soaked</i> .	Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, 2022