

SKRIPSI

POTENSI PENGEMBANGAN TANAH LEMPUNG CAMPURAN BENTONITE BERDASARKAN VARIASI KADAR BENTONITE DAN TINGKAT KEPADATAN

Disusun dan diajukan oleh:

**JOIS NANDE
D011 19 1105**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

POTENSI PENGEMBANGAN TANAH LEMPUNG CAMPURAN BENTONITE BERDASARKAN VARIASI KADAR BENTONITE DAN TINGKAT KEPADATAN

Disusun dan diajukan oleh

JOIS NANDE
D011 19 1105

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D

NIP. 196007301986031003

Pembimbing Pendamping,



Ir. Ariningsih Suprapti, ST, MT

NIP. 197307122000032002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng

NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Jois Nande
NIM : D011191105
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{POTENSI PENGEMBANGAN TANAH LEMPUNG CAMPURAN
BENTONITE BERDASARKAN VARIASI KADAR BENTONITE DAN
TINGKAT KEPADATAN}

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, 30 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Jois Nande

ABSTRAK

JOIS NANDE. *Potensi Pengembangan Tanah Lempung Campuran Bentonite Berdasarkan Variasi Kadar Bentonite Dan Tingkat Kepadatan* (dibimbing oleh Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D dan Ir. Ariningsih Suprpti, S.T., M.T)

Tanah ekspansif memiliki daya dukung yang rendah dan mudah mengalami pengembangan jika kadar air bertambah, dan menyusut jika kadar air berkurang. Sehingga berpotensi merusak konstruksi diatasnya. Dalam penelitian ini akan dilakukan pencampuran tanah lempung dengan bentonit, yang di indikasi merupakan tanah ekspansif yang kemudian dilakukan pengujian karakteristik tanah dan potensi pengembangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik tanah campuran bentonit dan mengetahui potensi pengembangan tanah dengan variasi kadar bentonite terhadap variasi tingkat kepadatan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Sampel yang digunakan adalah tanah kohesif dengan variasi campuran bentonite. Untuk mengetahui karakteristik tanah dilakukan pengujian berat jenis, analisa granular dan batas-batas atterberg, sedangkan untuk potensi pengembangan diuji dengan alat konsolidasi, dengan variasi kadar campuran 50% bentonit 50% tanah asli, 75% bentonit 25% tanah asli, 25% bentonit 75% tanah asli, 100% tanah asli dan 100% bentonit dengan variasi tingkat kepadatan sebesar 80%, 90% dan 100% dari nilai berat kering maksimum pengujian kompaksi standar. Dari hasil pengujian menurut USCS sampel 100% tanah, 75% bentonit 25% tanah asli, 50% bentonit 50% tanah asli, dan 25% bentonit 75% tanah asli termasuk tanah MH (*inorganic silts with high plasticity*), sedangkan 100% bentonit merupakan tanah CH (*clay with high plasticity*). Menurut AASHTO semua sampel termasuk kategori A-7-5 (*clayey soils*). Sampel tanah yang memiliki kadar bentonit yang tinggi memiliki nilai potensi pengembangan yang tinggi juga, begitupun sebaliknya. Tingkat kepadatan juga mempengaruhi besarnya potensi pengembangan.

Kata Kunci: Potensi Pengembangan, Bentonite, Tanah ekspansif

ABSTRACT

JOIS NANDE. *Swelling Potential of Bentonite Mixed Clay Based on Variations in Bentonite Content and Density Levels* (supervised by Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D dan Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T)

Expansive soil has a low carrying capacity and is easy to develop if the moisture content increases, and shrinks if the moisture content decreases. So that it has the potential to damage the construction on it. In this study, clay soil with bentonite will be mixed, which is indicated to be an expansive soil which is then tested for soil characteristics and development potential. The purpose of this study is to determine the characteristics of bentonite mixed soil and determine the swelling potential for soil with variations in bentonite levels against variations in density levels. This research was conducted at the Soil Mechanics Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The sample used was a cohesive soil with variations of bentonite mixture. To determine the characteristics of the soil, specific gravity testing, granular analysis and atterberg boundaries were carried out, while for the development potential tested with consolidation tools, with variations in the mixture content of 50% bentonite 50% , soil, 75% bentonite 25% soil, 25% bentonite 75% soil, 100% soil, and 100% bentonite with density level variations of 80%, 90% and 100% of the maximum dry weight value of standard compaction testing. From the test results according to USCS samples 100% soil, 75% bentonite 25% native soil, 50% bentonite 50% native soil, and 25% bentonite 75% original soil including MH soil (inorganic silts with high plasticity), while 100% bentonite is CH (clay with high plasticity) soil. According to AASHTO, all samples belong to category A-7-5 (clayey soils). Soil samples that have high bentonite levels have high development potential values as well, and vice versa. The level of density also affects the magnitude of development potential.

Keywords: Development Potential, Bentonite, Expansive Soil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian dan Klasifikasi Tanah	4
2.2 Potensi Pengembangan	10
2.3 Bentonite	12
2.4 Kadar Air	13
2.5 Berat Jenis.....	13
2.6 Analisis Ukuran Butiran	14
2.7 Batas-Batas Atterberg.....	16
2.8 Pemadatan Tanah (Kompaksi).....	19
2.9 Konsolidasi	20
2.10 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	24
3.1 Lokasi Penelitian	24
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	24
3.3 Kerangka Alir Penelitian	25
3.4 Material.....	26
3.5 Peralatan Laboratorium	27
3.6 Standar Pengujian	28
3.7 Pengujian Karakteristik Tanah Asli + Bentonite	30
3.8 Proses Pembuatan Benda Uji Konsolidasi.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah dengan Campuran Bentonite	32
4.2 Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Asli dengan Variasi Campuran Bentonite	32
4.3 Potensi Pengembangan	41
BAB V.....	62
KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran	63

DAFTAR PUSTAKA	64
----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Batas Cair dan Indeks Plastisitas.	8
Gambar 2. Bentonite.....	12
Gambar 3. Grafik penentuan gradasi butiran.....	15
Gambar 4. Kurva distribusi ukuran butiran – analisa saringan dan analisa hidrometer	16
Gambar 5. Kurva penentuan batas cair.....	17
Gambar 6. Definisi batas susut	19
Gambar 7. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering.	20
Gambar 8. Kurva hasil uji pengembangan konsolidasi.	21
Gambar 9. Lokasi pengambilan sampel tanah.....	24
Gambar 10. Tanah asli.....	26
Gambar 11. Bentonit.	26
Gambar 12. Sampel yang telah dicetak	31
Gambar 13. Kurva gradasi butiran 100% tanah asli.....	33
Gambar 14. Kurva gradasi butiran 100% bentonite.	33
Gambar 15. Kurva gradasi butiran 75% bentonite 25% tanah asli.....	34
Gambar 16. Kurva gradasi butiran 50% bentonite 50% tanah asli.....	34
Gambar 17. Kurva gradasi butiran 25% bentonite 75% tanah asli.....	34
Gambar 18. Grafik hasil pengujian batas cair 100% tanah asli.....	35
Gambar 19. Grafik hasil pengujian batas cair 100% bentonite.	35
Gambar 20. Grafik hasil pengujian batas cair 75% bentonite 25% tanah asli.....	35
Gambar 21. Grafik hasil pengujian batas cair 50% bentonite 50% tanah asli.....	36
Gambar 22. Grafik hasil pengujian batas cair 25% bentonite 75% tanah asli.....	36
Gambar 23. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering	39
Gambar 24. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering	39
Gambar 25. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering	40
Gambar 26. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering	40
Gambar 27. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering	41
Gambar 28. Kurva pengembangan 100% tanah asli terhadap waktu ditinjau dari tingkat kepadatan	43

Gambar 29. Kurva pengembangan 100% bentonite terhadap waktu ditinjau dari tingkat kepadatan	44
Gambar 30. Kurva pengembangan 75% bentonite 25% tanah asli terhadap waktu ditinjau dari tingkat kepadatan	45
Gambar 31. Kurva pengembangan 50% bentonite 50% tanah asli terhadap waktu ditinjau dari tingkat kepadatan	46
Gambar 32. Kurva pengembangan 25% bentonite 75% tanah asli terhadap waktu ditinjau dari tingkat kepadatan	47
Gambar 33. Kurva penurunan angka pori sampel 50% bentonite 50% tanah asli.	48
Gambar 34. Grafik angka pori 100% tanah asli dengan kepadatan 80%.	49
Gambar 35. Grafik angka pori 100% tanah asli dengan kepadatan 90%.	50
Gambar 36. Grafik angka pori 100% tanah asli dengan kepadatan 100%.	50
Gambar 37. Perbandingan angka pori 100% tanah asli dengan variasi kepadatan.....	51
Gambar 38. Grafik angka pori 100% bentonite dengan kepadatan 80%.....	52
Gambar 39. Grafik angka pori 100% bentonite dengan kepadatan 90%.....	52
Gambar 40. Grafik angka pori 100% bentonite dengan kepadatan 100%.....	53
Gambar 41. Perbandingan angka pori 100% bentonite dengan variasi kepadatan.....	53
Gambar 42. Grafik angka pori 75% bentonite 25% tanah asli dengan kepadatan 80%.	54
Gambar 43. Grafik angka pori 75% bentonite 25% tanah asli dengan kepadatan 90%.	55
Gambar 44. Grafik angka pori 75% bentonite 25% tanah asli dengan kepadatan 100%.	55
Gambar 45. Perbandingan angka pori 75% bentonite 25% tanah asli dengan variasi kepadatan.	56
Gambar 46. Grafik angka pori 50% bentonite 50% tanah asli dengan kepadatan 80%.	57
Gambar 47. Grafik angka pori 50% bentonite 50% tanah asli dengan kepadatan 90%.	57

Gambar 48. Grafik angka pori 50% bentonite 50% tanah asli dengan kepadatan 100%.	58
Gambar 49. Perbandingan angka pori 50% bentonite 50% tanah asli dengan variasi kepadatan.	58
Gambar 50. Grafik angka pori 25% bentonite 75% tanah asli dengan kepadatan 80%.	59
Gambar 51. Grafik angka pori 25% bentonite 75% tanah asli dengan kepadatan 90%.	60
Gambar 52. Grafik angka pori 25% bentonite 75% tanah asli dengan kepadatan 100%.	60
Gambar 53. Perbandingan angka pori 25% bentonite 75% tanah asli dengan variasi kepadatan.	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO.....	7
Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Menurut USCS	10
Tabel 3. Nilai berat jenis	14
Tabel 4. Nilai indeks plastisitas.....	18
Tabel 5. Alat yang digunakan dalam pengujian sifat fisis.....	27
Tabel 6. Alat yang digunakan dalam pengujian sifat mekanis	28
Tabel 7. Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah.....	29
Tabel 8. Standar Pengujian Mekanis Tanah.....	30
Tabel 9. Jumlah benda uji untuk tiap kombinasi campuran.	30
Tabel 10. Rekapitulasi pemeriksaan karakteristik tanah asli + bentonite	32
Tabel 11. Hasil pengujian sifat fisik tanah asli dengan variasi campuran bentonite	33
Tabel 12. Rekapitulasi Klasifikasi Tanah Campuran Bentonite.	36
Tabel 13. Hasil Pengujian Kompaksi	38
Tabel 14. Hasil pengujian <i>free swelling</i>	41
Tabel 15. Hasil uji potensi pengembangan 100% tanah asli ditinjau dari tingkat kepadatan.....	42
Tabel 16. Hasil uji potensi pengembangan 100% bentonite ditinjau dari tingkat kepadatan.....	43
Tabel 17. Hasil uji potensi pengembangan 75% bentonite 25% tanah asli ditinjau dari tingkat kepadatan	44
Tabel 18. Hasil uji potensi pengembangan 50% bentonite 50% tanah asli ditinjau dari tingkat kepadatan	45
Tabel 19. Hasil uji potensi pengembangan 25% bentonite 75% tanah asli ditinjau dari tingkat kepadatan	47
Tabel 20. Hasil uji tekanan pengembangan 100% tanah asli.	48
Tabel 21. Hasil uji tekanan pengembangan 100% bentonite.	51
Tabel 22. Hasil uji tekanan pengembangan 75% bentonite 25% tanah asli.	54
Tabel 23. Hasil uji tekanan pengembangan 50% bentonite 50% tanah asli.	56
Tabel 24. Hasil uji tekanan pengembangan 25% bentonite 75% tanah asli.	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengujian.....	65
Lampiran 2. Dokumentasi	125

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkatNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan program studi sarjana di departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini menempuh proses yang tidak mudah dan tidak singkat. Segala hal yang dilalui penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun moril. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada :

1. Kedua orang tua, yaitu mama dan juga papa atas doa, dukungan, dan perhatian selama ini. Karena penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa nasihat dan doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Tuhan Yesus.
2. **Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.,** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng., dan Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.,** selaku ketua dan sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D** selaku dosen pembimbing I, yang telah memberi bimbingan dan arahan serta waktu yang telah diluangkan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya tugas akhir ini
5. **Ibu Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T** selaku dosen pembimbing II, atas segala arahan dan bimbingannya hingga terselesaikannya tugas akhir 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 memberi izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.
7. **Bapak Hairullah** selaku mahasiswa S3 yang telah membantu dalam penelitian di laboratorium dan membimbing dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Kepada anggota **Grup Pasimbungki** yaitu Angi, Cindy, Ersi, Anne, dan Sara terimakasih atas dukungan, bantuan dan semangat yang diberikan selama mengerjakan tugas akhir ini.

9. **Teman-teman seperjuangan KKD Geoteknik 2019**, yang selalu setia membantu dan menyemangati selama penelitian dilaboratorium.

10. semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan hingga terselesainya penyusunan tugas akhir ini.

Tiada kata yang dapat mendeskripsikan rasa terimakasih penulis selain memohon kepada Tuhan Yang Maha Esa agar selalu melimpahkan berkatNya kepada kita semua. Akhir kata, penulis menyadari setiap karya manusia tiada yang sempurna. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun diharapkan penulis untuk pengembangan penelitian di masa mendatang. Semoga karya ini dapat bermanfaat.

Gowa, Agustus 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam konstruksi bangunan sipil banyak hal yang perlu diperhatikan sebelum membangun, salah satunya adalah kondisi tanah atau jenis tanah. Tanah yang kurang baik untuk bangunan sipil adalah tanah ekspansif. Tanah ekspansif memiliki sifat fisik dan teknis yang kurang cocok untuk pembangunan struktur bangunan sipil. Beberapa sifat kurang baik dari tanah ekspansif adalah kekuatannya yang rendah dan kemampuannya untuk mengembang (*swelling*) secara signifikan ketika terkena air dan penyusutan saat kadar air menurun. Sifat pengembangan ini adalah salah satu dari sifat fisik yang dimiliki oleh tanah ekspansif, sehingga tanah dengan sifat ekspansif tersebut kurang memenuhi persyaratan untuk pembangunan bangunan, serta berpotensi menyebabkan kerusakan pada konstruksi di atasnya.

Tanah ekspansif dapat menimbulkan dampak yang bervariasi pada pembangunan struktur sipil. Kerusakan yang sering terjadi berupa retakan akibat penurunan yang tidak merata dan pengembangan yang signifikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyelidikan terhadap karakteristik dan sifat-sifat tanah yang mempengaruhi daya dukung tanah dalam menahan beban konstruksi di atasnya, dan tingkat kepadatan dan kadar air dalam suatu tanah perlu diteliti untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap potensi pengembangan tanah.

Hasil pengujian potensi pengembangan tanah tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam penanganan tanah ekspansif, nantinya akan dilakukan peningkatan kualitas tanah yang dapat memperbaiki stabilitas tanah dan meningkatkan karakteristiknya. Untuk meningkatkan sifat geoteknis tanah, perbaikan dapat dilakukan dengan menambahkan bahan, yang dapat berfungsi sebagai penyaring, pemisah, dan isolator atau dengan mengompaksi tanah itu sendiri, sehingga struktur akan aman. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian sampel tanah dengan campuran bentonite di laboratorium untuk mengetahui potensi pengembangan tanah ditinjau dari tingkat kepadatan. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian potensi pengembangan dan penurunan

satu dimensi tanah kohesif menggunakan SNI 6424-2008 (Metode B). Pengujian ini akan menentukan besarnya pengembangan dan penurunan pada tekanan vertikal (aksial) atau menentukan besarnya tekanan vertikal yang diperlukan supaya tidak terjadi perubahan volume dari benda uji.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tugas akhir dengan judul **“POTENSI PENGEMBANGAN TANAH LEMPUNG CAMPURAN BENTONITE BERDASARKAN VARIASI KADAR BENTONITE DAN TINGKAT KEPADATAN”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, berikut rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik tanah lempung dengan variasi bentonit ?
2. Bagaimana potensi pengembangan tanah lempung dengan variasi bentonit terhadap tingkat kepadatan tanah ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik tanah lempung dengan variasi bentonit.
2. Untuk mengetahui potensi pengembangan tanah lempung dengan variasi bentonit terhadap tingkat kepadatan tanah.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat berupa :

1. Dapat mengetahui karakteristik tanah lempung dengan variasi bentonit.
2. Dapat mengetahui potensi pengembangan tanah lempung campuran bentonit.
3. Dapat dijadikan bahan referensi dalam pengujian potensi pengembangan dengan alat konsolidasi.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

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

1. Penelitian ini adalah penelitian skala laboratorium.
2. Tanah yang digunakan adalah tanah asli yang berlokasi di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.
3. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bentonite.

4. Penelitian hanya meneliti sifat fisis dan sifat mekanis.
5. Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah yang di analisis adalah :
 - a. Kadar air.
 - b. Pengujian berat jenis.
 - c. Pengujian analisa saringan dan hidrometer.
 - d. Pengujian batas-batas atterberg.
 - e. Pengujian pemadatan (kompaksi).
 - f. Pengujian Konsolidasi.
6. Persentase campuran tanah dengan bentonit adalah :
 - a. 100 % tanah asli.
 - b. 100 % bentonit.
 - c. 50 % bentonit dan 50% tanah asli.
 - d. 75 % bentonit dan 25 % tanah asli.
 - e. 75 % tanah asli dan 25 % bentonit.
7. Variasi tingkat kepadatan 80%, 90%, dan 100%.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Klasifikasi Tanah

Tanah terbentuk dari pelapukan fisika dan kimiawi yang terjadi pada batuan. Pelapukan fisika terbagi menjadi dua jenis. Pelapukan fisika jenis pertama adalah penghancuran yang disebabkan karena pembasahan dan pengeringan yang berlangsung secara terus-menerus ataupun karena pengaruh salju dan es. Sedangkan pelapukan fisika jenis kedua adalah pengikisan yang disebabkan oleh air, angin, atau sungai es (*glacier*). Proses pelapukan menghasilkan butiran yang berukuran kecil hingga berukuran besar, meskipun ukurannya berbeda-beda tetapi komposisinya tetap akan sama dengan batuan asalnya. Untuk tanah jenis lanau dan pasir pada umumnya terdiri atas satu jenis mineral. Untuk butiran yang lebih kasar terdiri dari beberapa jenis mineral. Namun perlu diingat bahwa pada pelapukan fisika tanah yang terbentuk tidak bersifat lempung meskipun ukuran tanah yang terbentuk memiliki ukuran yang sama dengan butiran lempung. Maka untuk menghasilkan tanah lempung diperlukan pelapukan kimiawi (Wesley, 2012).

Pelapukan kimia memiliki proses pelapukan yang lebih rumit daripada pelapukan fisika. Pada proses pelapukan kimiawi diperlukan air, oksigen, dan karbon dioksida. Dalam proses pelapukan yang terjadi kandungan mineral pada batuan akan diubah menjadi jenis mineral lain yang memiliki sifat berbeda. Jenis mineral baru yang terbentuk disebut mineral lempung (*clay mineral*) seperti *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*. Pada umumnya berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang menghasilkan sifat lempung khusus, yaitu kohesi dan plastisitas. Selain pelapukan fisika dan kimiawi, faktor lain yang dapat memengaruhi pembentukan tanah adalah pengangkutan butir tanah dan pengendapan (Wesley, 2012).

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi

ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das & Sobhan, 2018).

Tanah merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Yang memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Dokuchaev (1870) dalam (Fauziek & Suhendra, 2018), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan.

Pengelompokkan jenis tanah berdasarkan campuran butir yaitu:

- Tanah berbutir kasar : pasir dan kerikil.
- Tanah berbutir halus : lempung dan lanau.
- Tanah organik : tanah dengan kandungan bahan-bahan organik.

Berdasarkan sifat lekatannya, tanah dibagi menjadi :

- Tanah kohesif : tanah yang memiliki sifat lekatan antar butiran (mengandung banyak lempung).
- Tanah non kohesif : tanah yang tidak mempunyai atau hanya sedikit lekatan diantara butiran (hampir tidak memiliki lempung).

Untuk mendapatkan gambaran mengenai sifat dan kelakuan dari tanah, diperlukan klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah sendiri merupakan cara untuk menentukan atau mengelompokkan jenis tanah ke dalam suatu kelompok atau subkelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Klasifikasi tanah secara ringkas memberikan gambaran atau penjelasan singkat mengenai karakteristik suatu tanah. Akan tetapi, klasifikasi tanah tidak begitu memberikan penjelasan yang detail dan tegas mengenai sifat-sifat tanah dikarenakan sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi (Das & Sobhan, 2018).

Menurut Das & Sobhan (2018), tanah diklasifikasikan menjadi dua jenis klasifikasi yaitu klasifikasi tanah berdasarkan tekstur distribusi ukuran partikel pasir, lanau dan lempung yang terdapat pada suatu tanah dan klasifikasi tanah berdasarkan pada perilaku rekayasa tanah dengan memperhatikan distribusi ukuran dan plastisitas.

2.1.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

Klasifikasi tekstur tanah relative sederhana didasarkan distribusi ukuran partikel. Pada tanah berbutir halus jumlah dan jenis mineral lempungnya sangat mempengaruhi sifat fisik tanah tersebut. Oleh sebab itu, plastisitas pada mineral lempung tanah perlu dipertimbangkan. Klasifikasi tanah yang berdasarkan tekstur saja tidak dapat memperhitungkan plastisitas dan sifat-sifat tanah lainnya maka diperlukan klasifikasi tanah untuk kebutuhan rekayasa. Hingga saat ini, terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang lebih rumit dari sebelumnya yang dapat digunakan dalam rekayasa tanah. Klasifikasi tanah ini mempertimbangkan distribusi ukuran partikel dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi tanah ini adalah sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan sistem klasifikasi Unified.

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

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dikembangkan pada tahun 1929 yang digunakan sebagai sistem klasifikasi administrasi jalan raya. Klasifikasi AASHTO yang digunakan hingga saat ini dapat dilihat pada Tabel 1, tanah diklasifikasikan dalam tujuh kelompok utama : A-1 hingga A-7. Tanah yang masuk dalam kelompok A-1, A-2, A-3 merupakan material yang 35% atau kurang dari jumlah butirannya lolos saringan no. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% partikelnya lolos saringan no. 200 masuk dalam kelompok A-4, A-5, A-6, A-7. Sebagian besar tanah ini mengandung material jenis lanau dan lempung. Sistem klasifikasi tanah ini berdasarkan kriteria berikut :

- Ukuran butiran

Kerikil : tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No.10 (2 mm)

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

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

- **Plastisitas**

Istilah lanau digunakan saat fraksi tanah berbutir halus memiliki index plastisitas 10 atau kurang dari 10. Istilah lempung digunakan saat fraksi tanah berbutir halus memiliki index plastisitas 11 atau lebih.

- Jika ukurannya lebih dari 75 mm maka dikecualikan sebagai sampel tanah untuk membuat klasifikasi. Namun persentase materialnya tetap dicatat.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

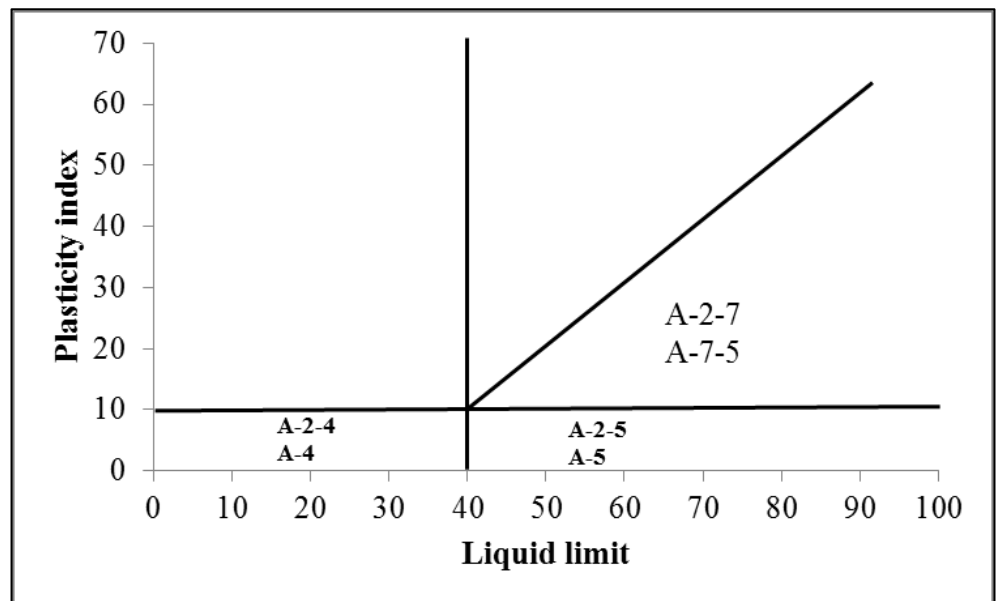
General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No.200)							
Group classification	A-1		A-3	A-2				
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	
Sieve analysis (percentage passing)								
No. 10	50 max							
No. 40	30 max	50 max	51 min					
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	
Characteristics of fraction passing No. 40								
Liquid limit				40 max	41 min	40 max	41 min	
Plasticity index	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	
Usual types of significant constituent materials	Stone, fragments, gravel and sand		Fine sand	Silt or clayey gravel, and sand				
General subgrade rating	Excellent to good							
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No.200)							
Group classification							A-7	
							A-7-5	
	A-4		A-5		A-6		A-7-6	
Sieve analysis (percentage passing)								
No. 10								
No. 40								
No. 200	36 min		36 min		36 min		36 min	
Characteristics of fraction passing No. 40								
Liquid limit	40 max		40 min		40 max		41 min	
Plasticity index	10 max		10 max		11 min		11 min	
Usual types of significant constituent materials	Silty soil				Clayey soils			
General subgrade rating	Fair to poor							

*For A-7-5, PI < LL - 30

*For A-7-6, PI > LL - 30

Sumber : Das, 2018.

Gambar 1 menunjukkan kisaran batas cair dan indeks plastisitas untuk tanah kategori kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, A-7.



Gambar 1. Batas Cair dan Indeks Plastisitas.

Sumber : Das, 2018

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

Casagrande yang pertama kali mengusulkan bentuk sistem klasifikasi ini pada tahun 1942 digunakan dalam pekerjaan pembangunan bandara oleh korps insinyur perang dunia kedua bekerja sama dengan *US Bureau of Recovery*, dan sistem ini diubah pada tahun 1952 yang saat ini banyak digunakan oleh insinyur (*ASTM Test Designation D-2487*). Sistem klasifikasi unified dapat dilihat pada tabel 2. sistem klasifikasi ini terbagi menjadi dua kategori:

- Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*), yaitu berkerikil dan berpasir dengan kurang dari 50% yang lolos saringan No. 200. Simbol diawali dengan huruf G atau S. G adalah *gravel* atau tanah berkerikil, dan S adalah *sand* atau tanah berpasir.
- Tanah berbutir halus (*finer-grained soils*), yaitu tanah yang terdapat lebih dari 50% dari total contoh tanah lolos saringan No. 200. Simbol diawali huruf M untuk lanau

(*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Untuk simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah yang memiliki kadar organik tinggi.

Adapun simbol-simbol lain yang digunakan pada klasifikasi tanah USCS (*unified soil classification system*) adalah :

W : *Well graded* (tanah gradasi baik)

P : *Poorly graded* (tanah gradasi buruk)

L : *Low plasticity* (plastisitas rendah $LL < 50$)

H : *High plasticity* (plastisitas tinggi $LL > 50$)

Tanah yang berbutir kasar dengan simbol GW, GP, GM, GC, SC, SP, SM, dan SC. Agar klasifikasi benar perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu :

- Persentase butiran lolos saringan No. 200
- Persentase fraksi kasar lolos saringan No. 40
- Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient* atau C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient* atau C_c) tanah lolos saringan No. 200 sebanyak 0-12%.
- Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) tanah yang lolos saringan No.40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos saringan No. 200).

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Menurut USCS

Klasifikasi Umum		Symbol klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria klasifikasi			
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % tertahan pada ayakan 74 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada saringan 4.76 mm	Kerikil Bersih	GW	Krikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3		
			GP	Krikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	Tidak sesuai dengan kriteria GW		
		Kerikil Berikut butiran halusya	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau <u>Index plastisitas < dari 4</u> Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsirdari diagramdibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3		
	50 % atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4.76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan krikil, tanpa atau sedikit butiran halus	Tidak sesuai dengan kriteria SW		
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan krikil, tanpa atau sedikit butiran halus			
		Pasir berikut butiran halusya	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau <u>Index plastisitas < dari 4</u> Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsirdari diagramdibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung			
			Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % lolos pada ayakan 74 μ	Lanau dan lempung LL ≤ 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	
					CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah	
OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik						
MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae) lanau elastis						
CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi						
OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi						
Lanau dan lempung LL > 50	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar organik tinggi lainnya		Dapat dibedakan dengan mata dan tangan, ASTM D 2488 - 66 T			

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

2.2 Potensi Pengembangan

Potensi pengembangan (*swelling potential*) tanah dapat diperoleh dari uji pengembangan langsung dengan alat konsolidasi untuk mendapatkan gambaran sifat tanah ekspansif. Potensi pengembangan menyatakan persentase perubahan tinggi terhadap tinggi awal benda uji tanah yang diuji dengan alat konsolidasi. Potensi pengembangan bergantung pada tiga faktor yaitu; kadar air awal, berat

volume kering, dan tekanan. Untuk persentase pengangkatan dapat dilihat pada rumus dibawah ini.

$$\text{Heave} = \frac{e_{vo} - e_o}{1 + e_o} \times 100\%$$

Keterangan :

Heave = pengangkatan/pengembangan (%)

$$e_o = \text{angka pori awal, } e_o = \frac{G_s \times \gamma_w}{\gamma_{do}}$$

e_{vo} = angka pori setelah pengembangan

G_s = berat jenis

γ_w = berat volume air (g/cm^3)

γ_{do} = berat volume kering (g/cm^3)

Menurut Seed et al (1962), potensi pengembangan sebagai persentase perubahan volume pada contoh tanah yang dipadatkan pada kadar air optimum dan berat volume kering maksimum standar AASHTO, yang dijenuhkan pada tekanan 6,9 kPa (1 psi). Meskipun pengujian laboratorium sangat berguna, tetapi tidak begitu akurat untuk menggambarkan pengembangan tanah dilapangan. Hal ini dikarenakan tanah dalam laboratorium digenangi air, sedangkan kondisi lapangan terkadang hanya sedikit yang dipengaruhi atau berhubungan dengan air.

Uji pengembangan pada umumnya dilakukan dengan menggunakan alat konsolidasi dan oedometer. Prosedur yang sudah ada, umumnya bervariasi yang bergantung pada : kondisi pembebanan, tekanan yang bekerja, waktu lamanya pengujian untuk memberikan tanah untuk mengembang, dan interpretasi hasil uji. Beberapa tipe uji pengembangan, antara lain :

- Uji pengembangan konsolidasi (*consolidation swell test*).
- Uji tekanan pengembangan volume konstan (*constant volume swell, CVS*).
- Uji oedometer dobel dan oedometer disederhanakan.

Adapun faktor-faktor yang perlu diperhatikan saat melakukan pengujian pengembangan menurut Chen (1995) dalam Hardiyatmo (2014):

- 1) Jika contoh tanah adalah tanah asli atau *undisturbed*, yang perlu diperhatikan adalah :

- Tekanan vertikal atau beban terbagi rata.
- Ukuran dan tebal benda uji.
- Waktu yang diberikan untuk pengujian.
- Kadar air awal dan berat volume kering atau kepadatan harus mewakili atau sesuai kondisi lapangan.

2) Jika contoh tanah adalah tanah yang dicetak atau *disturbed* yang perlu diperhatikan adalah :

- Berat volume kering awal atau kepadatan awal.
- Kadar air awal.
- Metode pemadatan.
- Tekanan vertikal atau beban terbagi rata.
- Ukuran dan tebal benda uji.
- Waktu yang diberikan dalam pengujian.
- Waktu perawatan.

2.3 Bentonite

Bentonite merupakan tanah liat alami yang memiliki tekstur halus dan lembut. Bentonite memiliki kemampuan untuk membengkak jika terdispersi dalam air. Batu bentonite memiliki kandungan mineral seperti, *montmorillonite*, *kaolinite* dan *illite*. Bentonite terbentuk dari bahan dasar abu vulkanik.



Gambar 2. Bentonite.

Bentonite memiliki beberapa manfaat seperti, untuk bahan pengikat pada pasir cetak pengecoran, bahan baku pembuatan semen, keramik dan lain sebagainya. Bentonite terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu :

- Sodium bentonit (*swelling bentonite*) mengandung lebih banyak ion Na^+ dibandingkan Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang dapat mengembang 8-15 kali bila diberikan air.
- Calcium bentonit (*nonswelling bentonite*) mengandung lebih banyak ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dibandingkan Na^+ Ca^{2+} dan Mg^{2+} . bentonite jenis ini kurang menyerap air.

2.4 Kadar Air

Kadar air (w) merupakan perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) pada tanah yang dinyatakan dalam persen. Rumus kadar air dapat dilihat pada persamaan (1).

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

2.5 Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) di temperatur tertentu. (Hardiyatmo,2002). Rumus berat jenis dapat dilihat pada persamaan (2).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2)$$

Keterangan :

G_s = berat jenis

γ_s = berat volume partikel tanah

γ_w = berat volume air

Berat jenis tidak memiliki dimensi, nilai berat jenis tanah berkisar antara 2,65-2,75. Untuk nilai berat jenis tanah dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai berat jenis

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

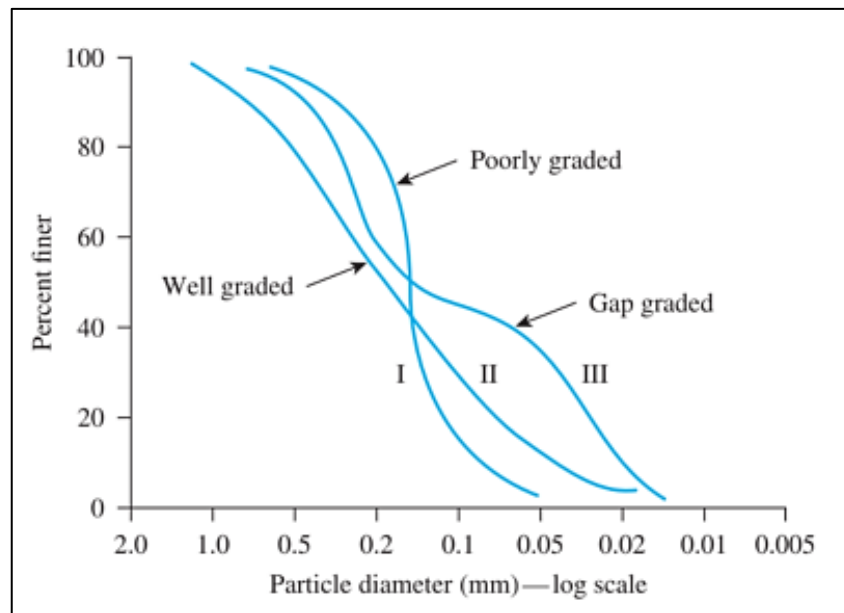
(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

2.6 Analisis Ukuran Butiran

Sifat tanah dipengaruhi juga oleh ukuran butirannya. Ukuran butiran dapat dijadikan dasar dalam menentukan nama dan klasifikasi jenis tanah, analisis ukuran butiran merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan diameter lubang tertentu (Hardiyatmo, 2002). Metode yang digunakan adalah metode analisa saringan dan metode analisa hidrometer.

1. Analisa saringan

Menurut Das (2018) analisa saringan merupakan proses yang menggetarkan sampel tanah melalui satu set saringan yang memiliki diameter lubang yang berbeda-beda. Setelah proses analisa saringan selesai, tanah yang telah tertahan di tiap nomor saringan di timbang satu per satu. Hasil dari analisa saringan akan dinyatakan dalam persentase dari berat total contoh sampel tanah tersebut.



(Sumber : Das, 2018)

Gambar 3. Grafik penentuan gradasi butiran

2. Analisa hidrometer

Menurut Das (2018), analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran tanah yang ada dalam air. Tujuan dari analisis hidrometer untuk mengetahui pembagian ukuran butiran tanah berbutir halus. Partikel tanah yang berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendapnya dinyatakan dalam persamaan (3) dengan menggunakan hukum Stokes sebagai berikut :

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \quad (3)$$

Keterangan :

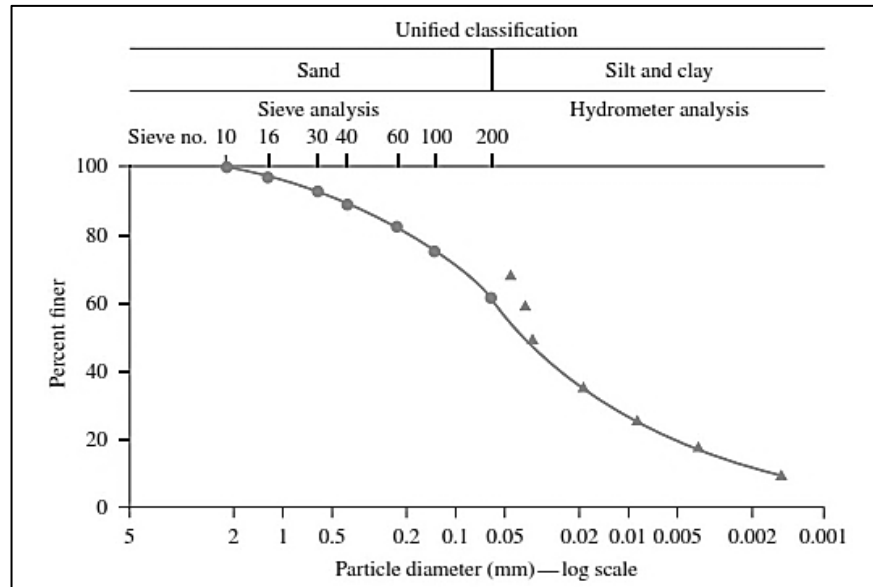
v = kecepatan pengendapan

γ_s = berat volume partikel tanah

γ_w = berat volume air

η = kekentalan air

D = diameter partikel tanah



(Sumber : Das, 2018)

Gambar 4. Kurva distribusi ukuran butiran – analisa saringan dan analisa hidrometer

2.7 Batas-Batas Atterberg

Salah satu hal penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Sifat plastisitas ini ada dikarenakan partikel mineral lempung yang ada dalam tanah. Plastisitas sendiri menggambarkan kemampuan suatu tanah yang menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak. Tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, dan padat tergantung dari kadar air dalam tanah tersebut.

Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kadar air didalam tanah. Batas-batas yang dimaksud adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

2.7.1 Batas cair (*liquid limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair dapat ditentukan dengan uji Casagrande (1948), hubungan kadar air dan jumlah pukulan akan digambarkan dalam gambar 5. *Waterways Experiment Station* di Vicksburg, Mississippi (1949), membuat persamaan seperti pada persamaan (4) sebagai berikut :

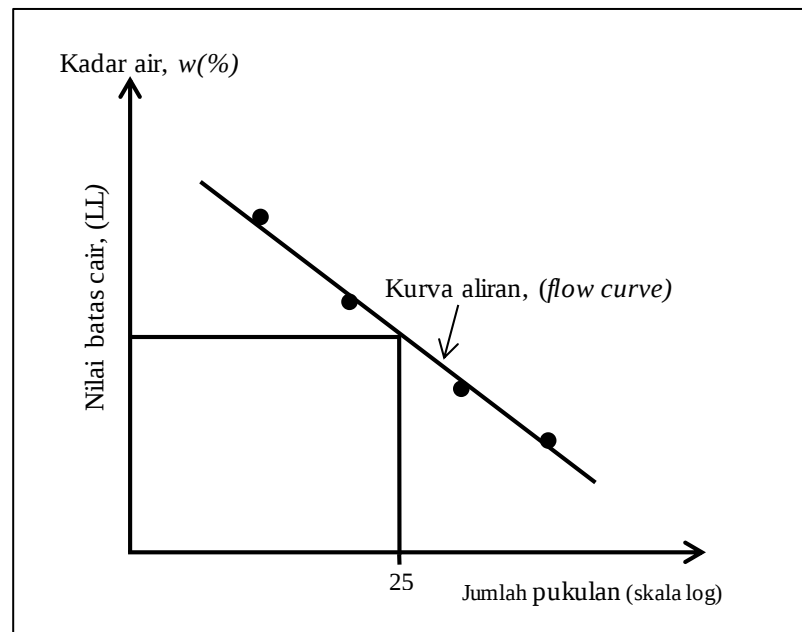
$$LL = W_N (\%) \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad (4)$$

Keterangan :

LL = Batas cair tanah

w_N = Kadar air pada N tumbukan

N = Jumlah ketukan



(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Gambar 5. Kurva penentuan batas cair

2.7.2 Batas plastis (*plastic limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika dipilin. Perhitungan batas plastis dapat dilihat pada persamaan (5).

$$PL = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100 \% \quad (5)$$

Untuk melihat sifat keplastisan tanah diperlukan indeks plastisitas (PI) yang merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Jika nilai indeks plastisitas tinggi maka tanah mengandung mineral lempung, begitupun sebaliknya jika nilai indeks plastisitasnya rendah maka tanah tersebut adalah lanau atau pasir. Untuk menentukan nilai PI dapat menggunakan persamaan (6).

$$PI = LL - PL \quad (6)$$

Keterangan :

PI = Indeks plastisitas

PL = Batas plastis

LL = Batas cair

W_1 = Berat tinbox kosong

W_2 = Berat tinbox + tanah basah

W_3 = Berat tinbox + tanah kering

Tabel 4. Nilai indeks plastisitas

PI	Description
0	Nonplastic
1-5	Slightly plastic
5-10	Low plasticity
10-20	Medium Plasticity
20-40	High plasticity
> 40	Very high plasticity

(Sumber : Das, 2018)

2.7.3 Batas susut (*shrinkage limit*)

Batas susut (SL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut menggunakan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. batas susut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

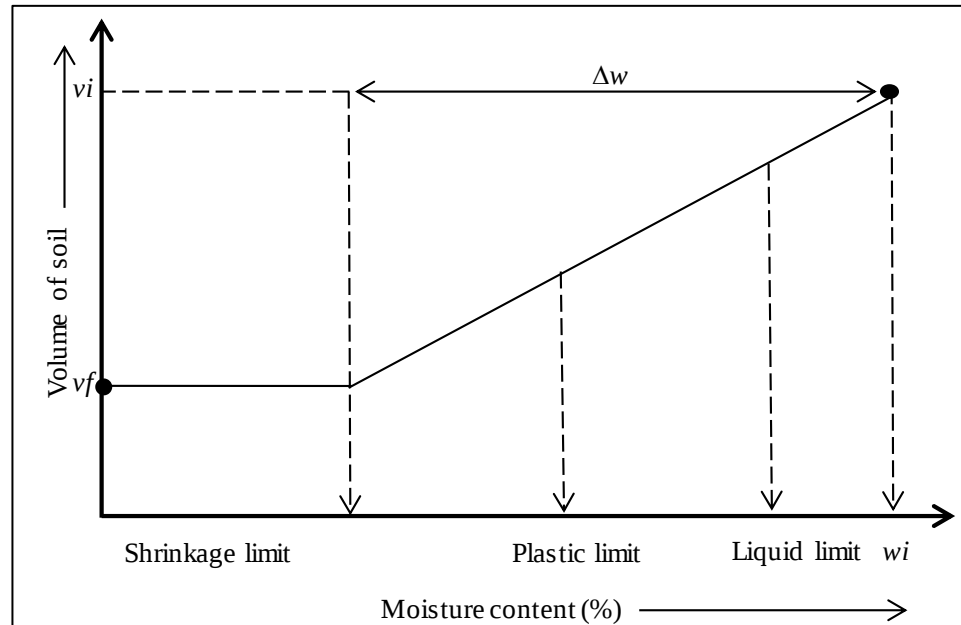
$$SL = w_i (\%) - \Delta w (\%) \quad (7)$$

Keterangan :

SL = Batas susut

$w_i (\%)$ = Kadar air

$\Delta w (\%)$ = Perubahan kadar air sebelum pengurangan volume



(Sumber : Das, 2018)

Gambar 6. Definisi batas susut

2.8 Pemadatan Tanah (Kompaksi)

Selain berfungsi sebagai pendukung pondasi, tanah juga digunakan sebagai bahan timbunan. Tetapi, saat tanah yang berada dilapangan membutuhkan perbaikan tanah untuk mendukung bangunan yang akan dibangun diatasnya, maka perlu pemadatan tanah. Tujuan dari pemadatan tanah sendiri antara lain :

- Mempertinggi kuat geser tanah.
- Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
- Mengurangi permeabilitas.
- Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Kepadatan tanah sendiri bergantung pada nilai kadar air, saat penambahan air dalam uji pemadatan, air akan melunakkan partikel-partikel tanah dan bergerak pada posisi yang lebih rapat. Teori pemadatan pertama kali diperkenalkan oleh R.R. Proctor, empat variabel pemadatan yang didefinisikan oleh Proctor adalah usaha pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel), kadar air, dan berat isi kering. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan (8).

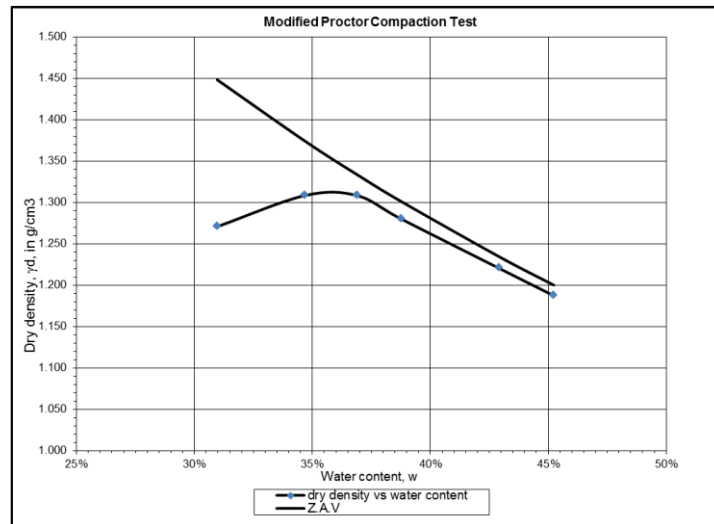
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (8)$$

Keterangan :

γ_d = Berat volume kering

γ_b = Berat volume basah

w = Kadar air



Gambar 7. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering.

2.9 Konsolidasi

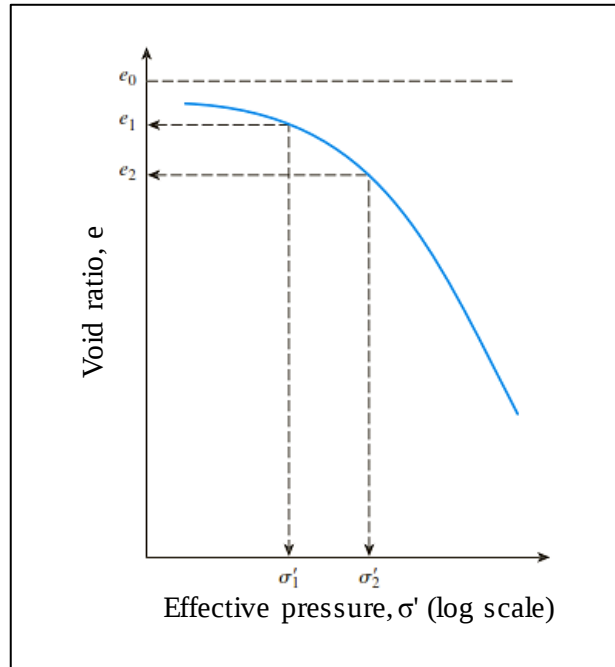
Konsolidasi merupakan proses mengalirnya air dari lapisan tanah yang jenuh air dan disertai dengan mengecilnya volume tanah akibat adanya penambahan beban vertikal di atasnya. Uji pengembangan konsolidasi dilakukan dengan menggunakan cincin besi berbentuk silinder. Kepadatan dan kadar air awal pada benda uji, dibebani tekanan terbagi rata yang akan direndam dan dibiarkan mengembang. Potensi pengembangan atau regangan pengembangannya didapatkan dari perubahan tinggi sampel dibagi tinggi awal sampel dan dikalikan 100 % yang dinyatakan dalam persen. Tekanan pengembangan (*swelling pressure*) adalah tekanan yang diperlukan untuk mengembalikan benda uji ke volume awalnya.

Pada pengujian di laboratorium, ada beberapa variabel yang mempengaruhi hasil pengujian menurut (Chen, 1975) :

- Kedudukan contoh tanah.
- Kadar air awal.
- Pembebanan benda uji.
- Waktu yang diberikan untuk mengembang.

- Dan tebal benda uji.

Kurva hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 8, dalam gambar tersebut e = angka pori, p_o' = tekanan *overburden*, dan p_s' = tekanan pengembangan.



(Sumber : Das, 2018)

Gambar 8. Kurva hasil uji pengembangan konsolidasi.

Berdasarkan SNI 6424 : 2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008), cara uji mencakup tiga cara uji laboratorium, yaitu :

- Cara A, cara uji ini dilakukan untuk mengukur :
 - Pengembangan bebas.
 - Persentase pengangkatan untuk tekanan vertikal terkekang sampai pada tekanan pengembangan.
 - Tekanan pengembangan.
- Cara B, cara uji ini dilakukan untuk mengukur :
 - Persentase pengangkatan atau penurunan pada tekanan vertikal yang biasanya diambil sama dengan tekanan lapangan atau tekanan vertikal lain yang sama dengan tekanan pengembangan.
 - Tekanan pengembangan.
- Cara C, cara uji ini dilakukan untuk mengukur :
 - Tekanan pengembangan.
 - Tekanan prakonsolidasi.

- Persentase pengangkatan atau penurunan dalam rentang tekanan vertikal yang digunakan.

2.10 Penelitian Terdahulu

Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Publikasi
Aklilu Fikadu (2015)	<i>Relationship Between Swelling and Consolidation Characteristic of Expansive Soils of Galan Town</i>	Diketahui bahwa tanah dari kota Galan, masuk dalam klasifikasi tanah <i>inorganic clay of high plasticity</i> , CH & A-7-5 menurut USCS dan AASHTO. Dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa kadar air dengan berat kering maksimum mempengaruhi besarnya potensi pengembangan. Tetapi, jika dilakukan <i>pre-wetting</i> maka potensi pengembangan tanah dapat berkurang.	Addis Ababa University
Agus Setyo Muntohar & Roslan Hashim (2003)	<i>Swelling Behaviour of Engineered Clays Soils</i>	Dari hasil pengujian didapatkan bahwa, potensi pengembangan, tekanan pengembangan dan kepadatan dipengaruhi oleh jumlah kadar bentonite. Pengembangan tanah yang terjadi terbagi menjadi 3 tahapan yaitu; pengembangan awal, pengembangan primer dan diakhiri dengan pengembangan sekunder.	2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology
Wahyudi Waskito Aji (2012)	Uji Tekanan Pengembangan Tanah Espansif Ditinjau dari Besarnya Kadar Air	Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar indeks plastisitas tanah maka semakin besar pula tekanan pengembangannya dan semakin rendah kadar air awal pada suatu tanah lempung maka tekanan pengembangannya semakin tinggi. Besar persentase pengembangan suatu tanah sebanding dengan tekanan pengembangannya.	Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta
Gati Sri Utami & Theresia Mca (2014)	Pengaruh Penambahan Bentonite dan Semen dalam Proses Stabilisasi Tanah Dasar (<i>subgrade</i>)	Hasil pengujian menunjukkan bahwa, penambahan bentonite terhadap campuran tanah, karakteristik fisik dan mekanis menjadi kurang baik. Terlihat dari nilai indeks plastisitas yang tinggi dan nilai <i>swelling</i> yang mengalami peningkatan 30% dari tanah asli. Penambahan bentonite tidak	Program Studi Teknik Sipil FTSP - UPN "Veteran" Jawa Timur

		membantu penstabilan tanah dikarenakan daya serap air yang tinggi yang mengakibatkan kembang susutnya tinggi.	
Handali & Gea (2013)	Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif Ngawi yang Dipadatkan	Hasil pengujian dengan menggunakan oedometer berdasarkan ASTM D 4546 menunjukkan bahwa potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dipengaruhi oleh kadar air awal dan kepadatan maksimum suatu tanah. Sampel tanah yang dekat dengan tanah dasar memiliki persentase pengembangan dan tekanan pengembangan yang tinggi.	Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2/th XVIII/2013
Wahyu, Eka & Aprianto (2013)	Analisa Deformasi Tanah Lempung Bentonite	Hasil yang didapat yaitu tanah lempung bentonite yang diamati merupakan tanah dengan kadar plastisitas tinggi. Nilai maksimum dari indeks plastisitas lempung sebesar 26,499 %. Mineral lempung yang terkandung pada tanah tersebut yaitu jenis montmorillonite dengan tingkat pengembangan yang tinggi. Pengukuran besarnya swelling dengan cara CBR rendam diperoleh swelling sebesar 8,532 %, serta pengukuran swelling pressure dengan menggunakan alat geonor swelling test diperoleh nilai sebesar 4,438 kg/cm ² .	Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura