

BAB I

PENDAHULUAN

3.1 Latar Belakang

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang terbentuk dari proses geologi dan biologis yang kompleks selama jutaan tahun. Tanah terdiri dari campuran partikel tanah itu sendiri, air tanah, dan udara yang ada dalam tanah serta bahan organik lainnya. Ukuran dan susunan partikel ini memengaruhi tekstur tanah yang akan berpengaruh pada sifat fisis dan mekanis tanah. Tanah yang ada di berbagai tempat bisa digunakan untuk berbagai hal, salah satunya dalam bidang konstruksi dengan menggunakan jenis tanah tertentu dan stabilisasi dari tanah tersebut.

Di Indonesia terdapat berbagai macam jenis tanah dari masing-masing tempat tanah itu berada. Tanah yang digunakan sebagai tempat dilaksanakan proyek konstruksi akan dilakukan stabilisasi terlebih dahulu sebelum mendirikan sesuatu di atasnya, salah satunya jenis tanah ekspansif. Tanah ekspansif merupakan tanah lempung yang mudah dipengaruhi oleh air, sehingga dalam penggunaannya diperlukan suatu usaha untuk menstabilkannya. Tanah ekspansif akan mengalami pengembangan yang sangat besar apabila mempunyai kadar air yang tinggi. Begitupun sebaliknya, apabila tanah ekspansif mempunyai kadar air yang sedikit akan mengakibatkan susut dan retak hingga volume tanah akan berubah yang akan menyebabkan penurunan, baik selama masa konstruksi berlangsung maupun selama masa operasional hasil konstruksi. Kedua hal tersebut dapat menimbulkan masalah dalam suatu proyek konstruksi pada pekerjaan timbunan tanah dasar.

Perilaku susut dari tanah ekspansif dapat berpengaruh terhadap konstruksi yang dibangun di atasnya karena akan mengakibatkan perubahan volume yang signifikan akibat berkurangnya kadar air yang terkandung. Terdapat pula rongga akibat dari retak yang mempunyai luasan yang berbeda-beda tiap permukaannya maupun di dalam tanah tersebut. Perubahan volume tersebut dapat mengakibatkan retakan pada struktur bangunan serta pergeseran letak pondasi bangunan yang ada di atasnya. Susut dan retaknya tanah ekspansif juga dipengaruhi dari kepadatan dari masing-masing tanah ekspansif tersebut.

Adapun judul yang diangkat oleh penulis berdasarkan uraian di atas yaitu: “PERILAKU SUSUT DAN RETAK TANAH EKSPANSIF DITINJAU DARI TINGKAT KEPADATANNYA”

3.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengklasifikasian jenis tanah yang digunakan dalam penelitian dengan metode USCS dan ASSHTO?
2. Bagaimana perilaku susut dari tanah ekspansif berdasarkan variasi kepadatannya?
3. Bagaimana perilaku retak dari tanah ekspansif berdasarkan variasi kepadatannya?

3.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengklasifikasikan jenis tanah yang digunakan dalam penelitian dengan metode USCS dan ASSHTO.
2. Untuk mengetahui perilaku susut dari tanah ekspansif berdasarkan variasi kepadatannya.
3. Untuk mengetahui perilaku retak dari tanah ekspansif berdasarkan variasi kepadatannya.

3.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi dari karakteristik tanah ekspansif yang digunakan dalam penelitian serta perilaku susut dan retak dari tanah ekspansif berdasarkan variasi kepadatannya.

3.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan dengan efektif dan terarah, diperlukan Batasan masalah penulisan laporan akhir ini. Adapun batasan masalah yang dijadikan pedoman dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.

2. Pencampuran tanah asli dengan *bentonite* dengan perbandingan 1:1 dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik tanah ekspansif.
3. Penelitian ini menggunakan 3 variasi kepadatan, yaitu kepadatan 80%, kepadatan 90%, dan kepadatan 100%.
4. Penelitian ini menguji sifat fisis dan mekanis sampel tanah yang digunakan yaitu sebagai berikut:
 - a. Pengujian kadar air
 - b. Pengujian berat jenis
 - c. Pengujian analisa saringan dan hidrometer
 - d. Pengujian batas-batas *Atterberg*.
 - e. Pengujian kompaksi
5. Pengujian susut (perubahan volume) dan retak sampel tanah dilakukan dengan menyimpan sampel tanah pada suhu luar ruangan

3.6 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 I 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 II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V 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

Secara teknik, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu dengan yang lainnya dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga di antara partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah terbentuk dari lapisan yang telah melalui proses fisik, kimia, dan biologi yang berasal dari jutaan tahun lalu yang menyusun kerak bumi. Penyusun kerak bumi ini dibagi menjadi dua tipe, yaitu tanah dan batuan. Tanah merupakan kumpulan butiran mineral alami yang bisa dipisahkan secara mekanis apabila mineral tersebut terpengaruh dengan air. Sedangkan batuan merupakan butiran mineral yang terikat oleh gaya kohesif dengan kuat dan permanen dan tidak dapat dipisahkan dengan cara mekanis yang sederhana (Darwis, 2018).

Semua jenis tanah secara umum terdiri atas tiga bagian, yaitu butiran tanahnya sendiri, serta air dan udara yang terdapat dalam ruang antara butir-butir tersebut yang disebut pori atau *voids*. Apabila tanah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya. Hal ini jarang ditemukan pada tanah yang masih dalam keadaan aslinya di lapangan karena air hanya dapat dihilangkan apabila telah dilakukan penangan khusus (Wesley, 2017).

2.2 Klasifikasi Tanah

Menurut Das (1995), sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem yang mengklasifikasikan berbagai jenis tanah dengan sifat-sifat yang berbeda namun serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan kegunaannya. Sistem klasifikasi ini dimaksudkan sebagai gambaran sederhana mengenai sifat-sifat tanah secara umum, tetapi sifat-sifat tersebut dapat bervariasi tanpa penjelasan rinci. Sistem klasifikasi yang ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat indeks tanah sederhana. Berbagai sistem klasifikasi lahan saat ini ada, namun tidak satupun dari sistem tersebut yang secara jelas menggambarkan semua kemungkinan penggunaan.

Sifat-sifat tanah yang diukur dalam bidang mekanika tanah dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu golongan pertama merupakan sifat yang memberikan Gambaran secara grafis besar tentang perilaku tanah seperti kadar air dan ukuran butiran tanah. Sedangkan golongan kedua merupakan sifat yang diperlukan untuk desain seperti kekuatan geser dan permeabilitas tanah (Wesley, 2017).

Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1989).

2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Menurut Das (1995), ukuran partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Partikel tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Batasan ukuran jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

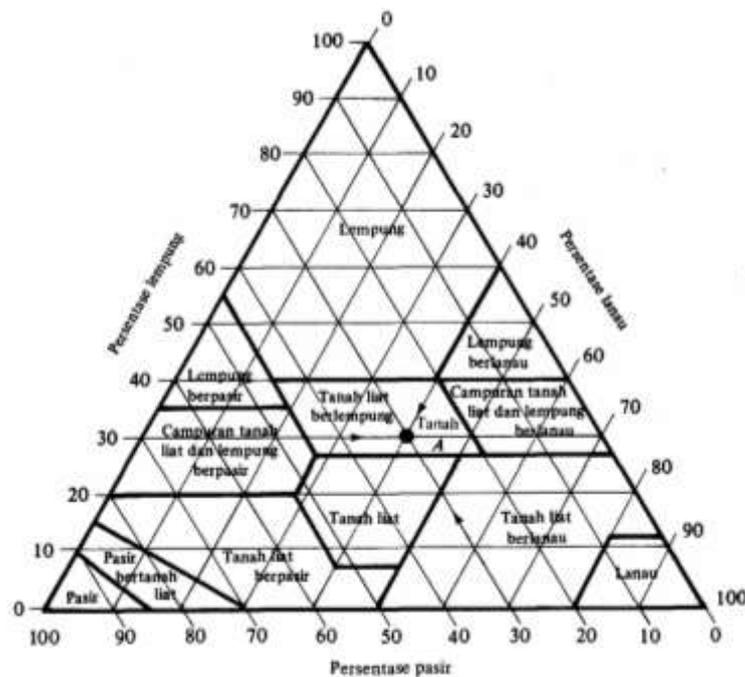
Tabel 1 Batasan ukuran butiran tanah.

Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO)</i>	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of reclamation)</i>	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075		<0,0075

Menurut Wesley (2017), tanah yang ukuran butirannya dibagi rata antara yang besar sampai yang kecil dapat dikatakan bergradasi baik (*well graded*). Sedangkan apabila terdapat kekurangan atau kelebihan dari salah satu ukuran butir tanah tertentu maka tanah dapat dikatakan bergradasi buruk (*poorly graded*) atau gradasi celah (*gap graded*). Jika besar butirnya semua hampir sama maka dapat dikatakan sebagai tanah bergradasi seragam (*Uniformly graded*),

Untuk tanah-tanah yang berbutir kasar, maka sifat sifatnya sangat tergantung pada ukuran butirnya, sehingga distribusi ukuran butir-butir itu adalah satu-satunya sifat yang dipakai untuk mengklasifikasikan tanah-tanah granular. Sedangkan pada tanah tanah yang berbutir halus diketahui bahwa tidak ada hubungan langsung antara sifat-sifatnya dengan ukuran butir-butirnya (Darwis, 2018)

Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri dan masih digunakan sampai saat ini. Gambar 1 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika atau *U.S. Department of Agriculture (USDA)* (Das, 1995).



Gambar 1 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) (Sumber: USDA, 1987).

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur telah dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA) yang mengklasifikasikan tanah atas dasar

ukuran butirannya sebagai berikut:

1. Pasir: ukuran butiran antara 2,0 – 0,05 mm.
2. Lanau: ukuran butiran 0,05 – 0,002 mm.
3. Lempung: ukuran butiran < 0,002 mm.

Menurut Das (1995), 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.

2.2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

Pada sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan mengenai sifat fisis tanah dan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting secara keseluruhan, maka dari itu dianggap tidak memadai untuk keperluan keteknikan. Untuk saat ini ada dua sistem klasifikasi tanah berdasarkan kegunaan yang biasa digunakan para ahli teknik tanah untuk memperhitungkan distribusi ukuran butiran tanah dan batas-batas Atterberg tanah tersebut. Sistem klasifikasi yang dimaksud ialah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) dan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) (Das, 1995).

Klasifikasi tanah dengan cara AASHTO bertujuan untuk mempermudah memilih material tanah untuk konstruksi *subgrade*. Pemilihan tanah tersebut, tentunya didasarkan atas hasil uji tanah dan apabila kita telah mempunyai pengalaman lapangan dalam pembuatan konstruksi subgrade maka pemilihan tanah sangat mudah dilakukan (Darwis, 2017).

Menurut Das (1995), sistem klasifikasi didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

Menurut Das (1995), untuk jenis tanah yang berbutir kasar (*granuler soils*), dibagi atas tujuh golongan/klasifikasi, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Klasifikasi tanah sistem ASSHTO (tanah butir kasar) (*Sumber: ASSHTO, 1986*).

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	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	Maks 50	-	-	-	-	-	-
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51	-	-	-	-
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolosayakan							
No. 40							
Batas cair (<i>LL</i>)	-	-	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Min 41
Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 6	Maks 6	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasat	Baik sekali sampai baik						

Semakin kecil angkanya, semakin baik untuk bahan subgrade jalan, dan sebaliknya semakin besar angkanya semakin jelek untuk *subgrade*. Kecuali pada tanah dalam kelompok A-3, lebih baik dari pada semua jenis tanah dalam kelompok A-2 sebagai bahan untuk *subgrade* jalan (Darwis, 2018).

Sedangkan untuk jenis tanah yang berbutir halus (*finer soils*), merupakan tanah yang termasuk lanau dan lempung dengan persentasi tanah yang lolos saringan No. 200 lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah yang diuji, yang terbagi atas empat kelompok seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Klasifikasi tanah sistem ASSHTO (tanah butir halus) (*Sumber: ASSHTO, 1986*).

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A4	A5	A6	A7 A7-5* A7-6**
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)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Biasa sampai jelek			

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

**untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

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.

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 (Das, 1995).

Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti di bawah ini:

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

dimana:

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No.200

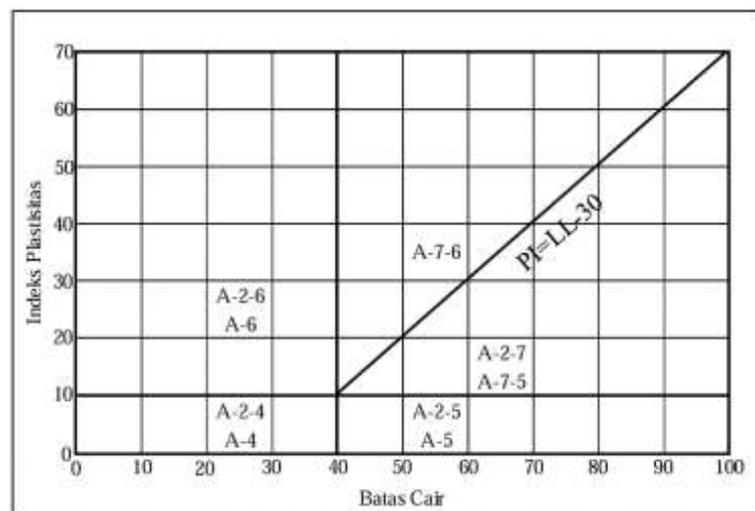
LL = Batas cair (*liquid limit*)

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:

1. Apabila Persamaan (1) menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
2. 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).
3. Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
4. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1 a, A-1 b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu sama dengan nol.
5. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu:

$$GI = 0,01 (F - 1,5)(PI - 10) \dots\dots(2)$$



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

Untuk sistem klasifikasi tanah USCS 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 Standard Testing of Materials (ASTM), telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah (Das, 1995).

Menurut Darwis (2018), dalam USCS suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. 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*).
2. 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	= <i>gravel</i> (kerikil)
S	= <i>sand</i> (pasir)
C	= <i>anorganic clay</i> (lempung)
M	= <i>anorganic silt</i> (lanau)
O	= lanau atau lempung organik
Pt	= <i>peat</i> (tanah gambut atau tanah organik tinggi)
W	= <i>well-graded</i> (gradasi baik)
P	= <i>poorly-graded</i> (gradasi buruk)
H	= <i>high-plasticity</i> (plastisitas tinggi)
L	= <i>low-plasticity</i> (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 distribusibutiran.

- 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 C_u dan C_c ; 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). 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).
 - b. 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.

- c. 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.

Berikut rincian sistem klasifikasi USCS berdasarkan ASTM-1982:

Tabel 4 Sistem klasifikasi USCS (*Sumber: ASTM International, 2006*).

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama umum		
Tanah berbuitir 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	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
			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%	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		
Tanah tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

'berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm

	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	

Bagan Plastisitas

Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar.

Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

Persamaan garis A
 $PI = 0,73(LL - 20)$

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

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:

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

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

2.3 Tanah Ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang yang besar. Apabila terjadi peningkatan kadar air tanah akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan dan sebaliknya apabila kadar air berkurang akan terjadi penyusutan. Beberapa mineral yang biasa terdapat pada tanah ekspansif adalah montmorilonite, kaolinite, dan illite (Darwis, 2018).

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).

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 (Chen, 1975).

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

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.

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 (Hardiyatmo, 2017):

- 2.1 Penyelidikan tanah (pengambilan contoh tanah).
- 2.2 Identifikasi potensi pengembangannya.
- 2.3 Estimasi perilaku perubahan volume tanah di tempat.

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).

Menurut Chen (1975), bahwa sifat-sifat fisis tanah yang mempengaruhi pengembangan pada tanah ekspansif di antaranya yaitu kadar air, kepadatan kering (*dry density*), dan indeks properties. Adanya korelasi yang baik untuk menunjukkan sifat tanah ekspansif berdasarkan dari persentase tanah lempung, batas cair dan tahanan penurunan tanah di lapangan, seperti yang terlihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Hubungan % lolos saringan No. 200 dan batas cair (LL) terhadap potensi pengembangan (*Sumber: Chen F.H., 1975*).

Data laboratorium dan lapangan		Kemungkinan			
% Lolos no. 200	Batas cair (%)	Tertahan penurunan standar (blow/ft)	pengembangan % total perubahan volume	Tekanan pengembangan (ksf)	Potensi pengembangan
> 95	> 60	> 30	> 10	> 20	Sangat tinggi
60 – 95	40 – 60	20 – 30	3 – 10	5 – 20	Tinggi
30 – 60	30 – 40	10 – 20	1 – 5	3 – 5	Sedang
< 30	< 30	< 10	1	1	Rendah

Klasifikasi tanah ekspansif juga dapat dilihat dari hubungan antara indeks plastis (IP) dan batas susut (*shrinkage limit*) yang dimiliki tanah, seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 6 Hubungan IP dan SL dengan Tingkat pengembangan (*Sumber: Chen F.H., 1975*).

% Koloid	IP	Batas susut	Tingkat pengembangan
> 28	> 35	> 11	Sangat tinggi
20 – 31	25 – 41	7 – 12	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	Sedang
< 15	< 18	< 15	Rendah

Klasifikasi tanah ekspansif lebih sederhana bila dilihat dari nilai Indeks Plastis yang dimiliki tanah, seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 7 Hubungan IP dengan potensi pengembangan (*Sumber: Chen F.H., 1975*).

Indeks plastisitas (%)	Potensi pengembangan
0 – 15	Rendah
15 – 20	Sedang
20 – 55	Tinggi
> 55	Sangat tinggi

Pengukuran pengembangan tanah ekspansif dengan cara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan alat konsolidasi satu dimensi (oedometer), untuk mendapatkan angka prosentase pengembangan. Untuk mengetahui tingkat kondisi

suatu tanah ekspansif yang mengalami pengembangan, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8 Hubungan % pengembangan dengan Tingkat kondisi (*Sumber: Chen F.H., 1975*).

% Pengembangan	Tingkat kondisi
> 100	Kritis
50 – 100	Batas
< 50	Aman

Menurut Skempton (1953), identifikasi lempung ekspansif juga dapat dilakukan dengan memerhatikan nilai aktivitasnya (A) dengan persamaan:

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

Dimana:

A = aktivitas

PI = indeks plastisitas (%)

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

Tabel berikut menunjukkan hubungan antara nilai aktivitas dengan Tingkat keaktifannya:

Tabel 9 Hubungan nilai aktivitas dengan Tingkat keaktifannya (*Sumber: Skempton, 1953*).

Status	Aktivitas	Potensi pengembangan
<i>Inactive clay</i>	< 0,75	Rendah
<i>Normal clay</i>	0,75 – 1,25	Sedang
<i>Active clay</i>	> 1,25	Tinggi

Menurut Seed, Woodward, dan Lundgren (1962), menentukan nilai aktivitas bisa dikembangkan menjadi persamaan berikut:

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

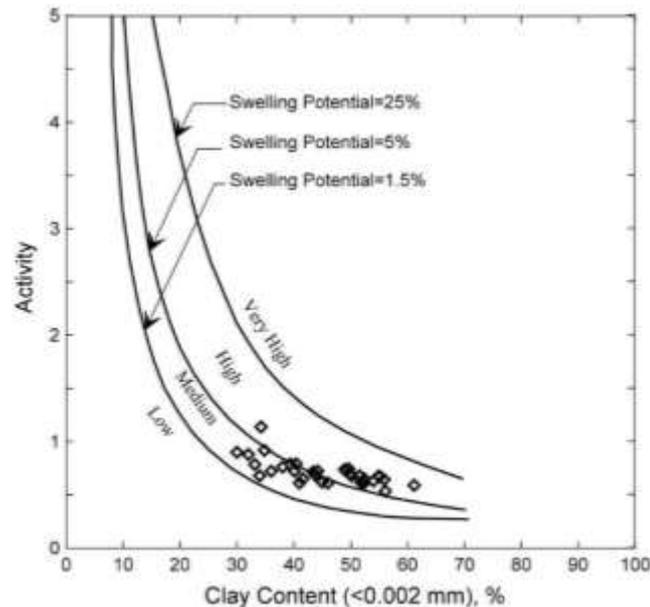
Dimana:

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 potensi pengembangan (*potensial swelling*).



Gambar 3 Grafik hubungan antara persentase tanah dengan aktivitas (Sumber: Seed, Wood, & Lundgren, 1962).

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

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

Dimana:

SP = Potensi pengembangan (*swelling potential*, %)

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

PI = Indeks plastisitas (%)

Tabel 10 Klasifikasi potensi pengembangan (Sumber: Seed, Woodward, & Lundgren, 1962).

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

2.4 Bentonite

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 kedalam 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 dicelupkanke 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.

2.5 Kadar Air

Menurut Darwis (2018), Kadar Air atau biasa disebut *water content* adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) di dalam massa tanah, yang dinyatakan dengan formula sebagai berikut:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots(7)$$

Dimana:

w = Kadar air (%)

W_w = Berat air (kg)

W_s = Berat butiran padat (kg)

Ada pula yang disebut derajat kejenuhan, yaitu perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume total rongga pori (V_v). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad \text{.....(8)}$$

Dimana:

S = Derajat kejenuhan

V_w = Volume air (m^3)

V_v = Volume pori (m^3)

Apabila tanah dalam kondisi jenuh air, maka nilai $S = 1$. Nilai derajat kejenuhan ini dapat digunakan untuk mengklasifikasi konsistensi tanah yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 11 Derajat kejenuhan dan konsistensi tanah (*Sumber: Darwis, 2018*).

Konsistensi tanah	Derajat kejenuhan (S)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	> 0 – 0,25
Tanah lembab	0,26 – 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
Tanah basah	0,76 – 0,99
Tanah jenuh air	1

2.6 Berat Jenis

Menurut Darwis (2018), berat jenis atau berat spesifik (*Specific Gravity*) yaitu perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4°C, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \text{.....(9)}$$

Dimana:

G_s = Berat jenis

γ_s = Berat volume butiran ($gram/cm^3$)

γ_w = Berat volume air ($gram/cm^3$)

Nilai parameter G_s tidak berdimensi. Interval nilai G_s untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval G_s antara 1,25 sampai 1,80.

Tabel 12 Berat jenis (Gs) berbagai jenis tanah (*Sumber: Hardiyantmo, 2002*).

Jenis tanah	Berat jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

2.7 Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisis saringan atau Analisa ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan di mana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Untuk standar ayakan di Amerika Serikat, nomor ayakan dan ukuran lubang diberikan dalam tabel berikut (Das, 1995):

Tabel 13 Ukuran ayakan standar U.S. (*Sumber: Das, 1995*).

No. Saringan	Lubang bukan (mm)	No. Saringan	Lubang bukan (mm)
4	4,75	45	0,355
5	4,00	50	0,300
6	3,35	60	0,250
7	2,80	70	0,212
8	2,36	80	0,180
10	2,00	100	0,150
12	1,70	120	0,125
14	1,40	140	0,106
16	1,18	170	0,090
18	1,00	200	0,075
20	0,85	230	0,063
25	0,71	270	0,053
30	0,60	325	0,045
35	0,50	400	0,038
40	0,425		

Mula-mula contoh tanah dikeringkim lebih dahulu, kemudian semua gumpalan-gumpalan dipecah menjadi partikel-partikel yang lebih kecil lalu baru diayak dalam percobaan di laboratorium. Setelah cukup waktu untuk mengayak dengan cara getaran, massa tanah yang tertahan pada setiap ayakan ditimbang.

Untuk menganalisis tanah-tanah kohesif, barangkali agak sukar untuk memecah gumpalan-gumpalan tanahnya menjadi partikel-partikel lepas yang berdiri sendiri. Untuk itu, tanah tersebut perlu dicampur dengan air sampai menjadi lumpur encer dan kemudian dibasuh seluruhnya melewati ayakan-ayakan tersebut. Bagian padat yang tertahan pada setiap ayakan dikumpulkan sendiri-sendiri. Kemudian masing-masing ayakan beserta tanahnya dikeringkan dalam oven, dan kemudian berat tanah kering tersebut ditimbang (Das, 1995).

Selain Analisa saringan, dalam menganalisa ukuran butiran tanah juga diperlukan pengujian hydrometer yang didasarkan pada 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 di bawah dengan menggunakan Hukum Stokes sebagai berikut (Das, 1995):

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \quad \dots\dots(10)$$

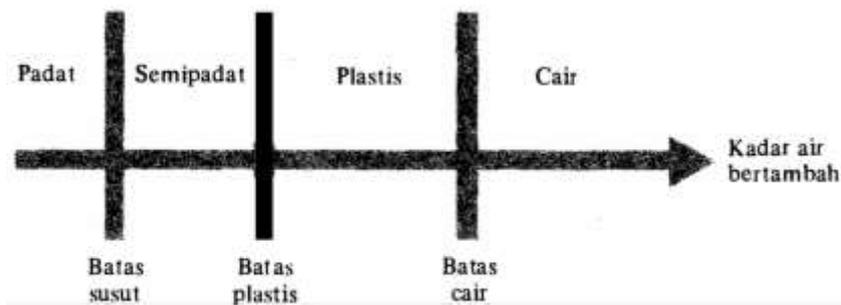
Dimana:

- v = Kecepatan pengendapan (cm/sec)
- γ_s = Berat volume butiran (gram/cm³)
- γ_w = Berat volume air (gram/cm³)
- η = Kekentalan air (gram.sec/cm²)
- D = Diameter partikel tanah (cm)

2.8 Batas-batas *Atterberg*

Konsistensi tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air, yang mana tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, dan padat. Konsistensi adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi ini tergantung pada gaya tarik antar partikel lempung di dalam tanah (Darwis, 2018).

Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas *Atterberg* (*Atterberg limits*) (Das, 1995).



Gambar 4 Diagram batas-batas Atterberg (Sumber: Das, 1995).

2.8.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Menurut Darwis (2018), batas cair adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis tanah, atau nilai batas atas pada daerah plastis. Pengujian batas cair dilakukan dengan Uji Casagrande (1948), yang mana contoh tanah dimasukkan ke dalam cawan Casagrande kemudian permukaannya diratakan, dan dialur (*grooving*) tepat ditengah. Selanjutnya dengan alat penggetar cawan tersebut diketuk-ketukan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm sebanyak 25 ketukan. Bila alur selebar 12,7 mm yang berada di tengah tertutup sampai batasan 25 ketukan, maka kadar air tanah pada saat itu merupakan “batas cair”.

Kemiringan dari garis aliran (*flow line*) didefinisikan se bagai indeks aliran (*flow index*) dan dapat dituliskan sebagai (Das, 1995):

$$I_F = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\log \left(\frac{N_2}{N_1} \right)} \quad \text{.....(11)}$$

Dimana:

I_F = Indeks aliran

ω_1 = Kadar air tanah dengan jumlah pukulan N_1 (%)

ω_2 = Kadar air tanah dengan jumlah pukulan N_2 (%)

Jadi, persamaan garis aliran dapat dituliskan dalam bentuk yang umum, sebagai berikut:

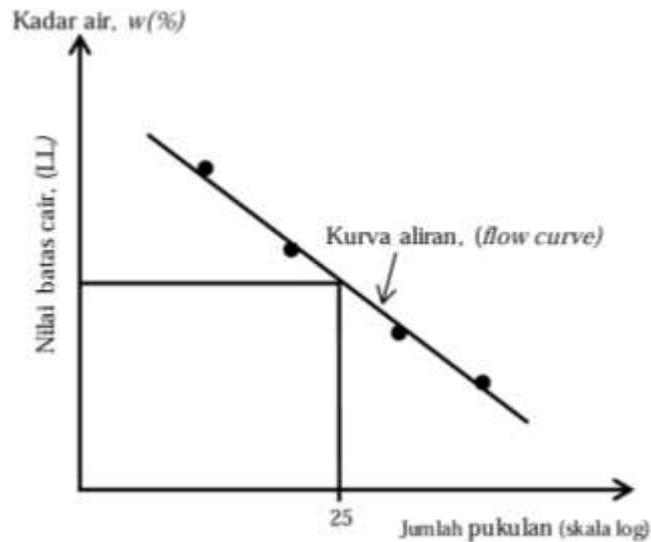
$$\omega = -I_F \log N + C \quad \text{.....(12)}$$

US Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi (1949) mengajukan sua tu persamaan empiris untuk menentukan batas cair, yaitu:

$$LL = \omega_N \left(\frac{N}{25} \right)^{\tan \beta} \quad \text{.....(13)}$$

Dimana:

- N = Nilai pukulan
 ω_N = Kadar air untuk menutup noda goresan dari tanah sebanyak pukulan N
 $\tan\beta$ = 0,121



Gambar 5 Kurva aliran penentuan batas cair (Sumber: Hardiyatmo, 2002).

2.8.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis didefinisikan sebagai nilai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dengan daerah semi padat. Nilai batas plastis ini ditentukan dengan percobaan menggulung tanah hingga diameter 3,2 mm dan mulai mengalami retak-retak. Kadar air tanah yang digulung dalam kondisi tersebut merupakan nilai “batas plastis” tanah (Darwis, 2018).

Indeks plastisitas (*plasticity index*, PI) adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau dapat ditulis dalam persamaan berikut (Das, 1995):

$$PI = LL - PL \quad \dots\dots(14)$$

Dimana:

PI = Index plastis

LL = Batas cair

PL = Batas plastis

2.8.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan di mana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana perubahan volume suatu massa tanah berhenti didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*) (Das, 1995).

Menurut Darwis (2018), Batas susut adalah nilai kadar air pada kedudukan antara zone semi padat dengan zone padat. Pada kondisi ini pengurangan kadar air dalam tanah tidak akan mempengaruhi lagi pengurangan volume pada tanah.

Uji batas susut (ASTM Test Designation D-427) dilakukan di laboratorium dengan menggunakan suatu mangkok porselin yang mempunyai diameter kira-kira 1,75 in (44,4 mm) dan tinggi kira-kira 0,5 in (12,7 mm). Bagian dalam dari mangkok dilapisi dengan vaselin (*petroleum jelly*), kemudian diisi dengan tanah basah sampai penuh. Permukaan tanah di dalam mangkok kemudian diratakan dengan menggunakan penggaris yang bersisi lurus sehingga permukaan tanah tersebut menjadi sama tinggi dengan sisi mangkok. Berat tanah basah di dalam mangkok ditentukan. Tanah di dalam mangkok kemudian dikeringkan di dalam oven. Volume dari contoh tanah yang telah dikeringkan ditentukan dengan cara menggunakan air raksa. Batas susut dapat ditulis dengan persamaan berikut (Das, 1995):

$$SL = \omega_i - \Delta\omega \quad \text{.....(15)}$$

Dimana:

SL = Batas susut

ω_i = Kadar air mula-mula (%)

$\Delta\omega$ = Perubahan kadar air (%)

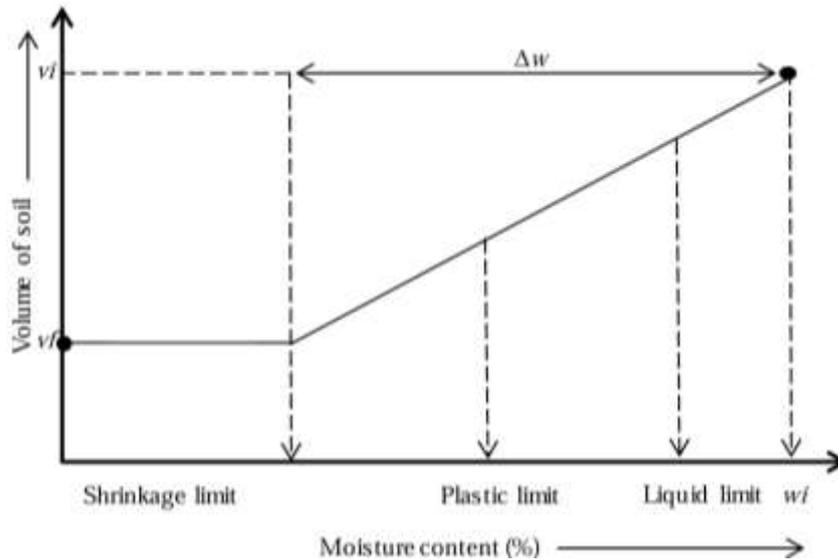
Tetapi,

$$\omega_i = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad \text{.....(16)}$$

Dimana:

m_1 = Massa tanah basah (gram)

m_2 = Massa tanah kering oven (gram)



Gambar 6 Definisi batas susut (Sumber: Das, 1995).

Menurut Nelson dan Miller (1992), hasil dari uji batas-batas *Atterberg* pada kelompok mineral kaolinite, *illite* dan mormonolite dapat dilihat pada Tabel 14, yang menunjukkan karakteristik tiga macam mineral lempung tersebut yang dikaitkan dengan luas permukaan spesifik, batas-batas Atterberg, indeks pengembangan dan aktivitasnya.

Tabel 14 Karakteristik beberapa macam mineral lempung (Sumber: Nelson & Miller, 1992).

Kelompok mineral	Permukaan spesifik (m^2/g)	Batas-batas <i>Atterberg</i>			Aktivitas, A (%)
		LL (%)	PL (%)	Indeks pengembangan, SI (%)	
<i>Kaolinite</i>	7	30 – 100	25 – 40	25 – 29	0,38
<i>Illite</i>	38	60 – 120	35 – 60	15 – 17	0,9
<i>Montmorillonite</i>	104	100 – 900	50 – 100	8,5 – 15	7,2

2.9 Kompaksi

Pemadatan tanah berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengu rangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan (*embankments*). Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan

kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan mem bentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat (Das, 1995).

Tanah lempung membutuhkan metode khusus untuk pemadatannya, dan hanya akan memberikan hasil optimal bila metode yang diterapkan sesuai dengan sifat dan kondisi lempungnya. Lempung montmorillonite memiliki perubahan volume yang cukup besar dibandingkan dengan lempung kaolinite, sehingga pada saat pemadatan berlangsung kadar air lapangan lempung montmorillonite harus lebih rendah dibandingkan kadar air lapangan pada tanah kaolinite. Tetapi pada umumnya semua jenis tanah lempung sangat sulit dipadatkan dalam kondisi basah apa lagi bila kondisi jenuh (Darwis, 2018).

Selain berfungsi sebagai pendukung fondasi bangunan, tanah juga digunakan sebagai bahan timbunan seperti tanggul, bendungan, dan jalan. Jika tanah di lapangan membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering digunakan. Maksud dari pemadatan tanah antara lain (Hardiyatmo, 2002):

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai perilaku susut dan retak tanah ekspansif dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 15 Penelitian terdahulu tentang perilaku susut dan retak tanah ekspansif.

Penulis	Judul	Tujuan	Sumber
Dwianto, 2023	<i>The effect of Rubber Addition on Mechanical</i>	Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai UCS tanah yang distabilisasi	Repository UNHAS

	<i>Characteristics of Dam Sedimentation Soil</i>	7,0% - 27,08% dengan penambahan serat karet 2% - 4%. Namun menurun -12,1% pada persentase serat karet 5% dari tanah tanpa serat karet. Sedangkan untuk variabel nilai kuat geser, nilai sudut geser dalam diperoleh meningkat 30,69o – 42,06o, namun terdapat penurunan nilai kohesi 69,07 kN/m ² – 53,84 kN/m ² . Untuk uji retak pengeringan, diamati bahwa dengan penambahan karet 2%, tanah tidak retak selama pengeringan.	
Acharya dkk., 2015.	<i>Shrinkage Induced Pressure Measurement to Address Desiccation Cracking in Expansive Soils.</i>	Sebuah metode baru diperkenalkan pada penelitian ini untuk secara efektif mengidentifikasi dan mempelajari tekanan yang disebabkan oleh penyusutan tanah ekspansif. Tanah Colorado yang bersifat ekspansif mengalami pengeringan dalam lingkungan yang suhunya terkontrol. Laju pengeringan tanah, kelembaban awal tanah, dan kapasitas sensor adalah beberapa variable yang dibahas dalam penelitian ini.	<i>Geotechnical Special Publication.</i>
Andrushia dkk., 2022	<i>Shrinkage Crack Detection in Expansive Soil Using Deep Convolutional Neural Network and Transfer Learning.</i>	Penelitian ini menggunakan metode <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) dengan menggunakan empat pemodelan yang berbeda untuk mendeteksi pola retak tanah dengan mengubah lapisan konvolusi dan hyperparameter dalam	<i>KSCE Journal of Civil Engineering.</i>

		menganalisis. Hasilnya menunjukkan bahwa modal CNN memberikan hasil yang lebih akurat dan mampu mendeteksi keberadaan retakan di tanah yang akurasinya tinggi.	
Basson dkk., 2020	<i>Effect of Human Fiber Reinforcement on Shrinkage Cracking Potential of Exdpansive Clay.</i>	Limbah serat rambut manusia yang dikumpulkan digunakan sebagai penguat Bersama dengan serat alami/sintesis lainnya. Disimpulkan dari hasil bahwa karakteristik geometris dan morfologi pola retak diubah secara signifikan oleh penyertaan serat secara acak. Ditemukan bahwa serat polipropilena paling efisien dalam mengendalikan potensi retak dan serat rambut manusia juga memiliki kinerja yang hampir sebanding dengan serat polipropilena.	<i>Bulletin of Engineering Geology and the Environment.</i>
Cao dkk., 2016	<i>Study on Crack-generated Characteristics of Expansive Soil.</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses sirkulasi kering-basah, retakan terbentuk dengan cepat, dan kemusiaan melambat seiring waktu, akhirnya mencapai stabilitas. Dalam lima proses sirkulasi kering-basah, jumlah fraktur muncul semakin banyak di akhir setiap sirkulasi	<i>Progress in Civil, Architectural and Hydraulic Engineering – Selected Papers of the 4th International Conference on Civil, Architectural and hydraulic Engineering.</i>
