

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tanah

Semua konstruksi dan bangunan yang berhubungan dengan teknik sipil pasti berdiri di atas tanah, oleh karena itu tanah merupakan material yang sangat berpengaruh terhadap kinerja konstruksi dari bangunan itu sendiri. Tanah menjadi material yang penting dalam suatu konstruksi karena tanah menjadi suatu fondasi dasar dalam konstruksi, untuk itu kondisi baik buruknya tanah sebelum membangun suatu konstruksi perlu diperhatikan. Apabila kondisi tanah tidak stabil maka kondisi tanah tersebut harus diperbaiki dengan cara stabilisasi tanah agar tanah yang digunakan sesuai dengan daya dukung yang diperlukan.

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2002), Dalam pandangan Teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya.

Menurut Das (1991), tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari 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.

Menurut Bowles (1989) ,tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

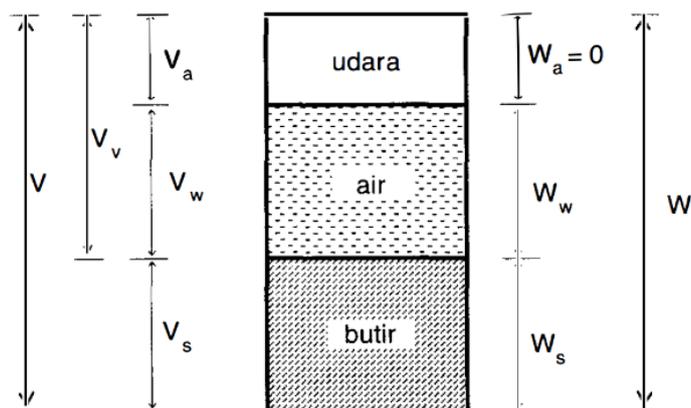
- a. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
- d. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.

- e. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Secara umum tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu tanah tak berkohesif dan tanah berkohesif. Tanah tak kohesif adalah tanah yang berada dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan di dalam air, contohnya adalah tanah berpasir. Tanah berkohesif adalah tanah apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pembasahan dan pengeringan yang menyusun butiran tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlakukan untuk memisahkan dalam keadaan kering, contohnya pada tanah lempung (Bowles, 1991).

Bahan penyusun tanah tersusun atas empat komponen, yaitu bahan padat mineral, bahan padat organik, air, dan udara. Bahan padat mineral terdiri atas bibir batuan dan mineral primer, lapukan batuan dan mineral, serta mineral sekunder. Bahan padat organik terdiri atas sisa dan rombakan jasad, terutama tumbuhan, zat humik, dan jasad hidup penghuni tanah, termasuk akar tumbuhan hidup (Darusman, 2006).

Tanah terdiri dari 3 fase elemen yaitu : butiran padat (*solid*), air (*water*), dan udara (*air*). Ketiga fase elemen tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 (Braja M. Das, 1995:30).



Gambar 2. 1 Penampang struktur tanah dalam sistem tiga fase

(Sumber: Braja M. Das, 1995 : 30)

Secara umum bahan padatan menyusun sekitar 50% bahan tanah, dan 50% lagi berupa cairan dan gas. Bahan padatan terbagi menjadi sekitar 45% bahan mineral dan 5% bahan organik. Bahan cairan (air) dan gas (udara) secara bersamaan dan bergantian mengisi pori-pori tanah, masing-masing dengan kisaran 20- 30% (Darusman, 2006).

2.1.1 Jenis Jenis Tanah

Dibawah ini merupakan nama-nama yang biasa dipakai oleh insinyur praktis serta mandor berpengalaman, untuk klasifikasi tanah di lapangan. Adapun jenis – jenis tanah adalah sebagai berikut :

1. Pasir dan kerikil merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragmen-fragmen sub-angular atau angular, berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Partikel berukuran sampai 1/8 inci dinamakan pasir, dan yang berukuran 1/8 sampai 6 atau 8 inci disebut kerikil. Fragmen-fragmen bergaris-tengah lebih besar dari 8 inci dikenal sebagai bongkah (*boulders*).
2. Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Mungkin pula dijumpai adanya kulit-kulit dan fragmen tumbuhan yang meluruh sebagian. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung H_2S , CO_2 , serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedang kompresibilitasnya sangat tinggi.
3. Lanau anorganik (*inorganic silt*) merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimensi, yang kadang-kadang disebut: tepung batuan (*rock flour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis. Karena teksturnya halus, lanau anorganik sering dianggap sebagai lempung, tetapi sebenarnya dapat dibedakan tanpa pengujian laboratorium. Jika diguncang dalam telapak tangan, selapis lanau anorganik jenuh akan mengeluarkan air sehingga permukaannya akan nampak berkilat. Selanjutnya bila ditekukkan di antara jari tangan permukaannya kembali pudar tak berkilat. Prosedur ini dikenal

sebagai uji guncangan. Setelah kering, lapisan menjadi rapuh, dan debu dapat dikelupas dengan menggosokkan jari tangan. lanau relatif bersifat kedap air. Namun dalam keadaan lepas lanau bisa naik ke lubang pengeboran atau lubang galian seperti layaknya suatu cairan kental.

4. Lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan. dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin, serta amat keras. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket.
5. Lempung organik adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi pada keadaan kering kekuatannya (*strength*) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, di samping itu mungkin berbau menyolok.
6. Gambut (*peat*) adalah agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya bervariasi antara coklat terang dan hitam. Gambut juga kompresibel, sehingga hampir selalu tak mungkin menopang fondasi. Berbagai macam teknik telah dicoba pengembangannya dalam rangka mendirikan tanggul tanah di atas lapisan gambut tanpa risiko runtuh, namun penurunan (*settlement*) tanggul semacam ini tetap cenderung besar serta berlanjut dengan laju yang makin berkurang selama bertahun-tahun.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok - kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Braja M.Das,1995). Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada

sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas . Sistem klasifikasi tanah dibuat untuk mengetahui karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah.

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap penggunaan tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), Pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Braja M Das 1995). Pada tabel 2.1 akan menampilkan batasan-batasan ukuran golongan tanah :

Tabel 2. 1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

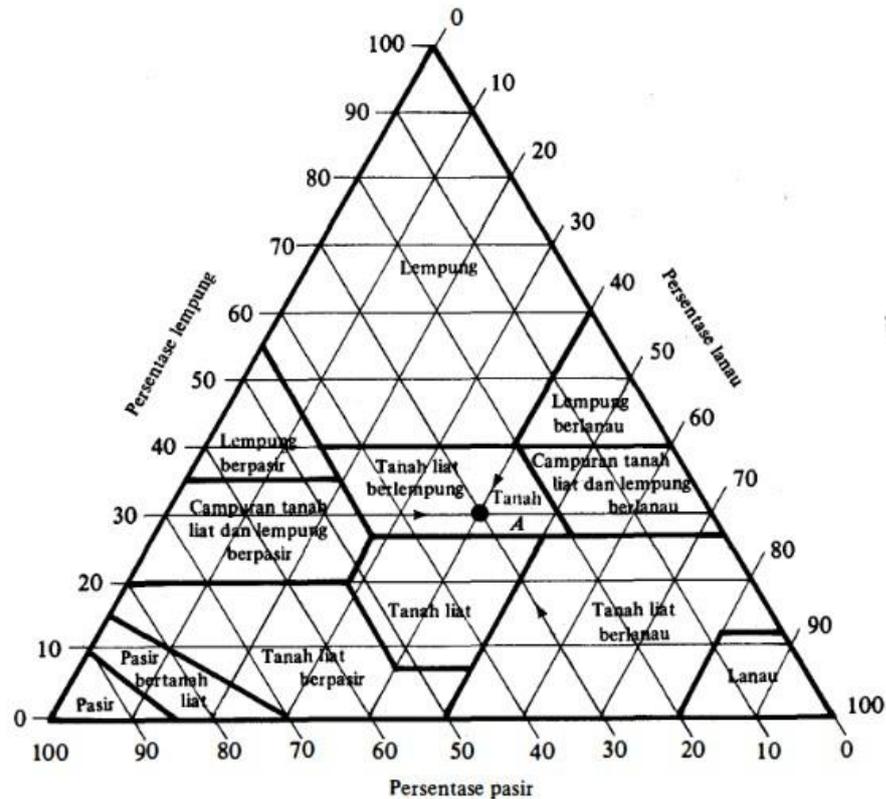
Nama golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	pasir	Lanau	lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	<0,002
U.S Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075- 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (USCS)	76,- 4,75	4,75-0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075	

(Sumber: Das, Braja, M. Mekanika Tanah Jilid I)

2.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah USDA (*U.S Department Of Agriculture*)

Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan

tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya (Braja M.Das 1995). Gambar 2.2 menunjukkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA dalam Tabel 2.1.



Gambar 2. 2 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

(Sumber: Das, Braja, M. *Mekanika Tanah Jilid I*)

2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Sistem klasifikasi AASHTO adalah didasarkan pada tekstur dan plastisitas tanah. Sistem ini membagi tanah kedalam dua kelompok yaitu: berbutir kasar (*arse-grained*) dan berbutir halus (*fine-grained*), yang dipisahkan oleh ayakan No.200, menurut sistem ini, suatu tanah dianggap sebagai tanah berbutir halus bilamana lebih dari 35% lolos ayakan No.200, suatu tanah berbutir kasar yang mengandung

kira-kira 35% butiran halus akan bersifat seperti material berbutir halus. Hal ini disebabkan karena tanah berbutir halus jumlahnya cukup banyak untuk mengisi pori-pori antar butir-butir kasar dan untuk menjaga agar butiran kasar berjauhan satu sama lain. Selanjutnya sistem ini, ayakan No.10 digunakan untuk memisahkan antara kerikil dan pasir.

Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO awalnya membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk subkelompok. Sistem yang direvisi (*Proc. 25 th Annual Meeting of Highway Research Board, 1945*) mempertahankan delapan kelompok dasar tanah tadi tapi menambahkan dua subkelompok dalam A-1, empat kelompok dalam A-2, dan dua subkelompok dalam A-7. Kelompok A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawang yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompok, yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan hanya analisis saringan dan batas-batas atterberg (Bowles, 1984).

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut:

1. Ukuran Butir

- a. Kerikil

Bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 inch) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm).

- b. Pasir

Bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

c. Lanau dan lempung

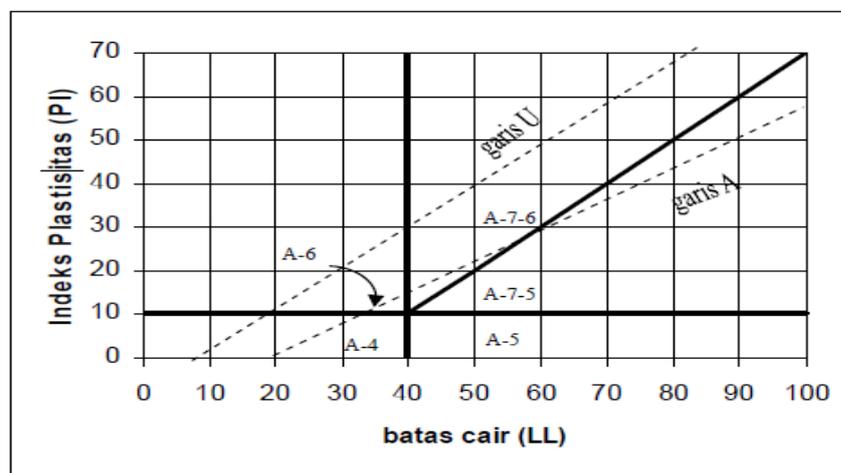
Bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 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 batua-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO digunakan untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam tabel 2.2 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai. Gambar 2.3 menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair dan indeks plastisitas untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6 dan A-7.



Gambar 2. 3 Rentang dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (IP)

(Sumber : Buku Braja M Das, 1995:68)

Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Granular (<35% lolos saringan no. 200)							Tanah – Tanah Lanau – Lempung (> 35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa saringan , % lolos : No. 10 (2,00 mm) No. 40 (0,425 mm) No. 200 (0,075 mm)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan no. 40 : Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	-		-	40 maks 10 maks	41min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks Kelompok (GI)	o		o	o		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar (Subgrade)	Sangat Baik sampai Baik							Sedang sampai Buruk			

(Sumber : Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995*)

Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (*subgrade*) dari suatu jalan raya, suatu angka yang dinamakan indeks grup (*group indeks*, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti dibawah ini:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15) (PI - 10).....(2.1)$$

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:

- Apabila persamaan di atas menghasilkan GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
- Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan persamaan di atas dibulatkan ke angka yang paling dekat.
- Tidak ada batas atas untuk indeks grup.

- d. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.
- e. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu:

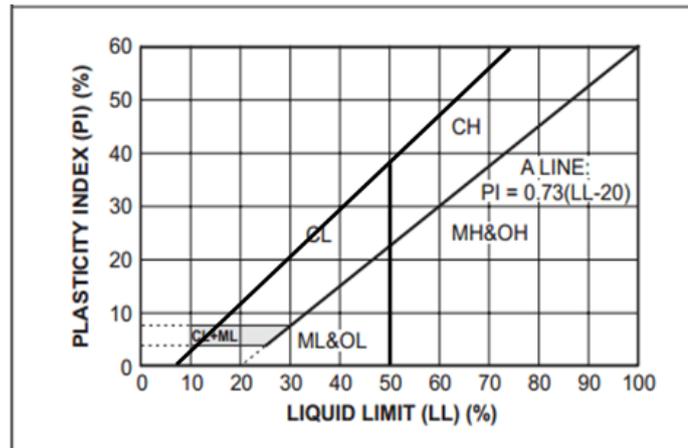
$$GI = 0,01 (F - 15) (PI - 10) \dots \dots \dots (2.2)$$

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

2.2.3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS (Unified Soil Classification System)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.



Gambar 2. 4 Diagram plastisitas tanah berbutir halus USCS
(Sumber : Braja M Das, 1995)

Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastisitas terletak dibawah garis A dan lempung berada diatas garis A. Lempung organis adalah pengecualian dari peraturan diatas karena batas cair dan indeks plastisitasnya berada dibawah garis A. Lanau, lempung dan tanah organik dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H). Garis pembagi antara batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50 seperti:

1. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau organik dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung *kaolinite* dan *illite*.
2. Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung organik. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk. Lempung dengan plastisitas rendah yang dikalsifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung kepasiran atau lempung lanau.
3. Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik. Lempung dan lanau organik termasuk dalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas pada kelompok ML dan MH.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

- W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)
P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)
L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)
H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

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

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

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai dengan 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan. Rincian klasifikasi ini diberikan dalam Tabel 2.3.

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 (*Casagrande*, 1948) yang diberikan dalam Tabel 2.2. Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A dan garis A tersebut diberikan dalam persamaan:

$$PI = 0,73 (LL - 20) \dots \dots \dots (2.3)$$

Untuk tanah gambut (*peat*), identifikasi secara visual mungkin diperlukan. Klasifikasi tanah dengan system klasifikasi USCS dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi Berdasarkan USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit bersih atau tak ada butiran halus)	GW Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandungbutiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandungbutiran halus
			GM Krikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Pasir banyak kandungan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasair lanau, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kuarus (clean clays)	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	Tanah dengan kadar organik tinggi	PT Gambut (peat), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

(Sumber : Braja M. Das Jilid 1, 1995)

2.3 Tanah Lempung

Dalam Panduan Geoteknik 1, penggunaan istilah tanah lunak berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompreibilitas yang tinggi.

Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Terzaghi,1987).

Mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Dengan adanya pengetahuan mengenai mineral tanah tersebut, pemahaman mengenai perilaku tanah lempung dapat diamati (Hardiyatmo,1992).

Menurut Dini (2014), beberapa sifat tanah lunak adalah sebagai berikut:

1. Gaya gesernya kecil
2. Kemampatan yang besar
3. Permeabilitas tinggi
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satunya faktor penyebab tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi.
5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun.

Menurut Panduan Geoteknik 1 (2001), tanah lunak dibagi dalam dua tipe: lempung lunak dan gambut.

1. Lempung Lunak

Tanah ini mengandung mineral- mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah.

2. Gambut

Suatu tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Tipe tanah yang ketiga yaitu, lempuk organik, adalah suatu material transisi antara lempung dan gambut, tergantung pada jenis dan kuantitas sisa-sisa tumbuhan mungkin berperilaku seperti lempung atau gambut.

Dalam rekayasa geoteknik, klasifikasi ketiga tipe tanah tersebut dibedakan berdasarkan kadar organiknya, sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Organik %
Lempung	<25
Lempung Organik	25-75
Gambut	>75

(Sumber. Panduan Geoteknik 1)

2.4 Tanah Lempung Ekspansif

Lempung ekspansif memiliki sifat yang khas yakni kandungan mineral ekspansif mempunyai kapasitas pertukaran ion yang tinggi, mengakibatkan lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air. Pada peningkatan kadar air, tanah ekspansif akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan kembang. Bila kadar air berkurang sampai batas susutnya, akan terjadi penyusutan. Sifat kembang susut yang demikian bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan (Hardiyatmo, 2006).

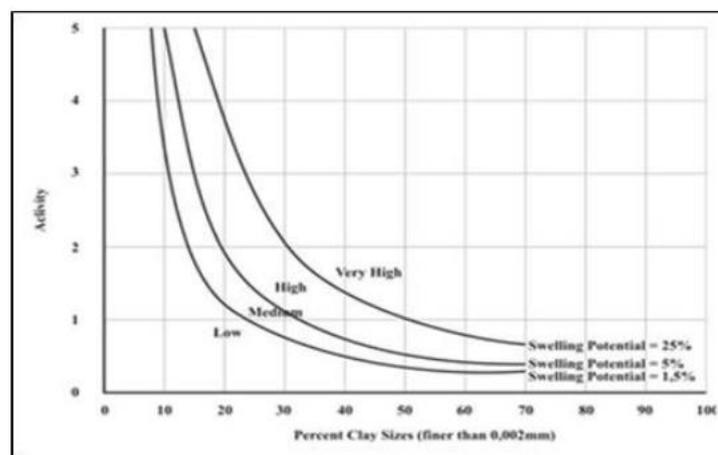
2.5 Aktivitas Tanah

Peristiwa kembang susut pada lempung merupakan aktivitas yang menandakan adanya perubahan volume yang berhubungan dengan kadar air. Berdasarkan penentuan *Plastic Index* (PI) dari pengujian batas atterberg, dan presentase lempung yang didapat dari analisis besar butir, kedua parameter tersebut dibandingkan untuk mengetahui angka aktivitas mineral lempung (Skempton 1953).

$$Clay\ activity = \frac{indeks\ plasticity\ (IP)}{Clay\ Content}$$

Tabel 2. 5 Angka Akfivitas Lempung

<i>Activity</i>	<i>Classification</i>
<0,75	<i>Inactive clays (kaolinite)</i>
0,75 – 1,25	<i>Normal Clays (illite)</i>
>1,25	<i>Active (montmorilonite)</i>

**Gambar 2. 5** Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang

(Sumber : Seed et al.,1962)

2.6 Kembang Susut Tanah Lempung

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air menyebabkan lempung menyusut, dan sebaliknya bila kadar air bertambah lempung mengembang. Derajat pengembangan bergantung pada beberapa faktor, seperti : tipe dan jumlah mineral lempung yang ada dalam tanah, luas spesifik lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, valensi kation, sementasi, adanya bahan-bahan organik dan sebagainya. Perubahan volume tanah yang besar membahayakan bangunan.

Pengembangan lempung adalah hasil dan bertambahnya tebal lapisan ion *diffuse* ketika ada air. Ion-ion *monovalent exchangeable sodium* akan menyebabkan pengembangan lebih besar daripada ion-ion kalsium divalent.

Pengaruh susut pada tanah-tanah berbutir halus menjadi masalah penting dalam masalah teknis. Retak akibat susut dapat muncul secara lokal, jika tekanan kapiler melampaui kohesi atau kuat tarik tanah. Retak-retak ini bagian dari makrostruktur lempung dan merupakan zona-zona lemah yang secara signifikan mereduksi kekuatan massa tanah secara keseluruhan, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas lereng lempung dan kapasitas dukung fondasi. Retak akibat pengeringan permukaan yang sering dijumpai pada lempung lunak dapat berpengaruh jelek, misalnya pada struktur perkerasan jalan yang dibangun di atasnya. Susut dan retak akibat susut disebabkan oleh penguapan permukaan saat musim panas, penurunan muka air tanah, dan hisapan akar tumbuh-tumbuhan. Ketika musim hujan, tanah mendapatkan air dan volume tanah bertambah dan tanah mengembang. Perubahan volume akibat proses kembang-susut sering merusakkan bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan raya.

Pada umumnya pengerasan jalan atau pembangunan gedung dilaksanakan pada musim panas, sehingga tanah permukaan pada kondisi kering. Bangunan yang menutup tanah mencegah penguapan, sehingga tanah dibawah bangunan bertambah kadar airnya akibat kapiler yang menyebabkan tanah lempung mengembang. Jika tekanan yang ditahan oleh perkerasan atau bangunan kurang dari tekanan pengembangan (*swelling pressure*), maka permukaan tanah akan naik dan akibatnya bangunan yang ada di atasnya rusak.

Pada proses kembang-susut, tanah tidak sepenuhnya kembali ke posisi semula. Lempung menjadi *overconsolidated* dan berkurang kemampuannya akibat dari bertambahnya tegangan efektif oleh tekanan kapiler.

Pengembangan merupakan proses yang agak kompleks dibandingkan dengan penyusutan (Yong dan Warketin, 1975). Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung pada banyaknya mineral lempung didalam tanah. Tanah dengan susunan random cenderung lebih mudah mengembang daripada tanah dengan susunan teratur. Gangguan tanah atau pembentukan kembali tanah lempung dapat menambah sifat mudah mengembang. Kation-kation manovalen dalam lempung (contohnya, *sodium montmorillonite*) akan mengembang lebih besar daripada lempung divalent (contohnya, *kalsium montmorillonite*).

Tabel 2.6 menunjukkan kemungkinan potensi ekspansi tanah hasil dari pengumpulan data uji pengembangan pada lempung dan tanah-tanah ekspansif oleh Holtz (1969) dan USBR (1974).

Tabel 2. 6 Potensi Pengembangan (Holtz 1969, Gibbs 1969, USBR 1974)

Potensi Pengembangan	Pengembangan (%) (akibat tekanan 6,9 kPa)	Persen koloid (<0,001 mm) (%)	Indeks plastisitas PI (%)	Batas susut SL (%)	Batas cair LL (%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>63
Tinggi	20-30	20-31	25-41	7-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	<39

Pengembangan tanah seperti juga penyusutan, biasanya tanah terkekang di bagian atas permukaan tanah, sehingga merusak struktur di atasnya seperti perkerasan jalan, bangunan gedung, dan perkerasan dinding saluran. Tekanan pengembangan sebesar 1000 kPa ekuivalen dengan tinggi timbunan 40 sampai 50 meter (karena berat volume tanah sekitar 20 kN/m³). Walaupun tekanan sebesar itu jarang terjadi, namun tekanan pengembangan hanya 100-200 kPa harus diperhitungkan bila membangun timbunan dengan tinggi 5 atau 6 meter, contohnya timbunan untuk *subgrade* (Holtz dan Kovacs, 1981). Sebagai perbandingan, gedung bertingkat umumnya mempunyai tekanan ke tanah sekitar 10 kPa untuk setiap lantai. Dalam hal kerusakan akibat pengembangan tanah, harus diwaspadai adanya lempung *monmorillonite*.

2.7 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan usaha untuk memperkuat dan memperbaiki sifat-sifat tanah seperti kestabilan volume, kekuatan daya dukung, permeabilitas tanah, dan kekekalan. Hal ini dilakukan dengan cara menambahkan suatu bahan terhadap tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekukatan geser tanah tersebut sehingga mampu menahan beban

suatu konstruksi pada bangunan yang dibangun di atas tanah. Tujuan stabilisasi tanah juga untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada. Menurut *Bowles*, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (*drainase* tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

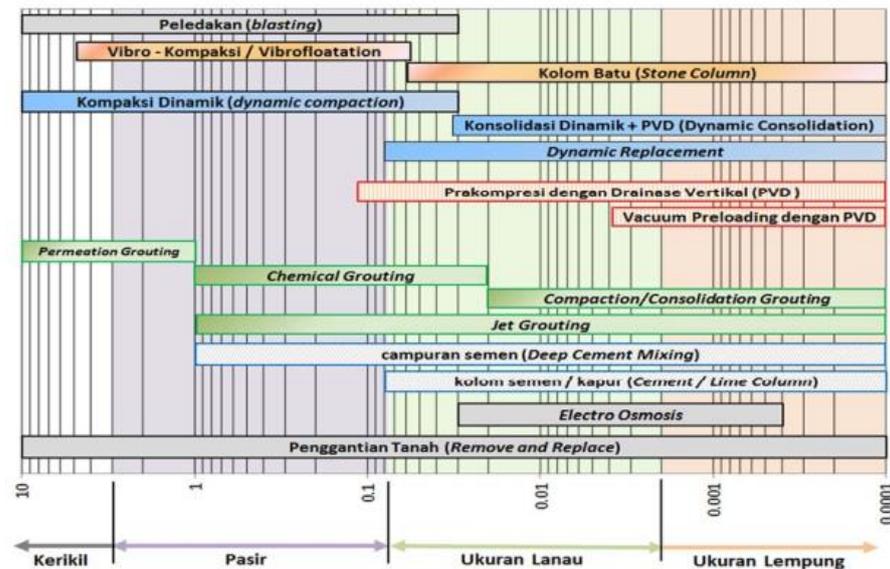
Dalam perancangan konstruksi bangunan sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low strength*), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancang bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), maupun tahap operasional dan pemeliharaan (*Operational and Maintenance*). Rendahnya daya dukung dari suatu jenis lapisan tanah di suatu tempat, sangat dipengaruhi oleh minerologi tanah, yang mana minerologi tanah terbentuk dari proses pelapukan material batuan (unorganik) atau material organik. Hasil lapukan material unorganik dan organik yang membentuk lapisan tanah pada suatu tempat, dapat merupakan material lapukan setempat (*residual soil*), dan hasil lapukan yang terangkut dari tempat lain (*transported soil*).

Eksistensi kedua jenis material lapukan tersebut di dalam pembentukan lapisan tanah, sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah pada suatu tempat. Baik sifat fisis maupun sifat mekanis dari pada lapisan tanah. Jika partikel lapukan tersebut bergradasi halus, maka cenderung memberikan sifat yang kohesif dengan konsistensi fisis yang lunak. Sebaiknya jika partikel lapukan pembentuk lapisan tanah bergradasi kasar, maka cenderung memberikan konsistensi yang keras dan sifat yang cenderung non kohesif. Kedua karakteristik tersebut (*kohesivitas* dan konsistensi), sangat menentukan kinerja dari lapisan tanah dalam berbagai hal, seperti besaran daya dukung, kapasitas permeabilitas tanah, perilaku kompresibilitas, dan potensi kembang susut (*swelling potensial*) tanah. Dalam pengertian teknis, terminologi dari pada daya dukung tanah adalah kemampuan

tanah memikul tekanan dan melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang disebarkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya. Dalam pekerjaan teknik sipil masalah permeabilitas tanah, kadang diupayakan sekecil mungkin untuk tujuan optimalisasi kinerja konstruksi.

Menurut hemat penulis, pengertian lebih luas dari stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan. Dalam hal ini berbagai syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi, antara lain ; kapasitas daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (*settlement*), permeabilitas tanah, dan lain sebagainya, yang mana syarat teknis tersebut selalu dikaitkan dengan jenis dan fungsi konstruksi yang dibangun/dibuat. Klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*); adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan aditif (kimiawi), pencampuran tanah (*regradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisis).
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*); adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.



Gambar 2. 6 Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah

(Sumber : SNI 8640-2017 Geoteknik)

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas tiga jenis, yakni:

1. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan. Prinsip kerja perbaikan tanah secara mekanis adalah dengan energi gilasan, tumbukan dan getaran berperan mendorong udara dan air tanah dari rongga/ pori-pori tanah, sekaligus memampatkan rongga menjadi semakin kecil, proses pemampatan tanah juga merubah susunan butir menjadi lebih kompak.

2. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi kimiawi ini dilakukan dengan cara menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik. Perbandingan campuran tergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan yang tinggi,

maka diperlukan bahan tambah yang harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik. Contoh bahan tambah yang umum digunakan adalah : kapur, semen portland, abu terbang, dan lain-lain

3. Stabilisasi Geosintetik

Secara bahasa, *Geosynthetics* (geosintetik) berasal dari kata *geo* (bumi), dan *synthetics* (buatan), sehingga geosintetik merupakan material buatan manusia yang digunakan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan bumi atau tanah. Secara istilah, geosintetik merupakan material buatan manusia, terutama polymer (sejenis plastik) yang digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan ketekniksipilan yang berhubungan dengan tanah dan batuan.

Beberapa pengertian yang berhubungan dengan geosintetik berdasarkan *International Geosynthetic Society* (IGS) antara lain :

- a. *Geotekstil* ; bahan yang dapat meloloskan air dari anyaman (*woven*) atau tanpa anyaman (*non-woven*) dari benang-benang atau serat-serat sintetik yang digunakan dalam pekerjaan tanah.
- b. *Geogrid* ; *geotekstil* yang berupa lubang-lubang berbentuk segi empat (*geotextile grid*) atau lubang berbentuk jaring (*geotextile net*, biasanya terbuat dari bahan *Polyester* (PET) atau *High Density Polyethylene* (HDPE).
- c. *Geocomposite* ; kombinasi dua atau lebih tipe geosintetik
- d. *Geomembrane* ; geosintetik yang bersifat *impermeable* atau tidak tembus air, biasanya dibuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE).
- e. *Geocell* ; geosintetik berbentuk sel-sel sebagai bahan penahan erosi atau perkuatan, terbuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE).
- f. *Geospacer* ; bahan sintesis yang ditempatkan di antara dua bahan sintesis lain biasanya digunakan pada konstruksi drain.

4. Stabilisasi secara Hidrolis

Cara ini dilakukan dengan memanfaatkan lembaran plastik sebagai drainase vertikal yang panjang dan mempunyai kantung yang merupakan kombinasi antara *polypropylene* dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil atau yang umumnya dinamai *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). PVD merupakan metode umum yang digunakan untuk memampatkan lapisan tanah lunak dengan kapasitas daya dukung dasar yang rendah. PVD mampu

meningkatkan kekuatan tanah yang diperoleh dari pemadatan tanah halus, dimana stabilitas adalah faktor yang harus diperhatikan. Jika dilihat dari sudut pandang yang berbeda, dibandingkan dengan *sand drain*, PVD lebih ekonomis dan mengurangi gangguan yang dapat mengurangi stabilitas tanah serta pemasangan yang lebih mudah.

2.8 Spent Bleaching Earth (SBE)

Spent Bleaching Earth (SBE) adalah limbah padat dari penggunaan *Bleaching Earth* (BE) untuk pemurnian minyak kelapa sawit. Selain itu dalam SBE sendiri juga masih terkandung asam fosfat yang berasal dari proses degumming yang terbawa oleh minyak ke unit *bleaching*. Pada Penelitian terdahulu, limbah SBE dimanfaatkan sebagai material bangunan seperti bata tanpa pembakaran. BE yang merupakan lempung (*clay*) berjenis *smectite* yang telah diputihkan dan diaktivasi selanjutnya digunakan untuk memurnikan minyak mentah dengan komposisi utamanya terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan MgO . *Bleaching Earth* merupakan *Ca-bentonite* yang mempunyai sifat menyerap sedikit air, cepat mengendap tanpa membentuk suspensi, pH sekitar 4,0-7,1 dan daya tukar ion cukup besar.

Dengan potensi ketersediaan limbah SBE yang sangat banyak dan juga penelitian terdahulu yang memanfaatkan SBE sebagai bahan bangunan, mendorong Penelitian yang memanfaatkan Limbah SBE untuk stabilisasi tanah. Limbah SBE dapat dijadikan material pozzolan sehingga memungkinkan untuk dapat dijadikan material stabilisasi tanah dan juga penyerapannya dalam pemanfaatan limbah akan lebih besar.

Menurut Wahyudi (2000), SBE merupakan campuran antara *bleaching earth* dan senyawa organik yang berasal dari minyak yang di *bleaching* (senyawa trigliserida (*fat*), digliserida, asam lemak bebas, protein, zat warna alami). Selain itu dalam SBE juga masih terkandung komponen asam fosfat. Asam fosfat ini berasal dari proses degumming yang terbawa oleh minyak ke unit *bleaching*. Berikut adalah kandungan kimia dari BE :

Tabel 2. 7 Kandungan Kimia *Spent Bleaching Earth*

Nama Senyawa	Min (%)	Max (%)	Avg (%)
SiO ₂	55	80	67.5
Al ₂ O ₃	5	20	12,5
Fe ₂ O ₃	2	10	6
MgO	0	8	4
CaO	0	5	2.5
Na ₂ O	0	2	1
K ₂ O	0	2	1

(Sumber: Webinar Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020)

Berikut adalah ciri – ciri fisika dan kimia dari bleaching earth :

1. Berbentuk butiran
2. Cukup asam
3. Tidak mudah terbakar
4. Tidak mudah meledak
5. Berat jenis relatif 350 – 1000 kg/m³
6. Tidak mudah larut dalam air, minyak dan pelarut

2.9 Kapur

Kapur merupakan bahan stabilizer yang secara kimiawi bersifat basa. Prinsip perbaikan tanah dengan kapur adalah mencampurkan kapur untuk memanfaatkan keunggulan sifat sifat teknis dari bahan kapur dengan tanah yang memiliki karakteristik kurang baik , seperti tanah dengan plastisitas tinggi, potensi ekspansif yang tinggi, kompresibilitas dan lain sebagainya. Prinsip perbaikan tanah dengan kapur adalah mencampurkan kapur untuk memanfaatkan keunggulan sifat-sifat teknis dari bahan kapur. Perbaikan tanah dengan kapur sasarannya adalah untuk meningkatkan kohesi tanah, sudut geser dalam tanah, berat volume tanah, sekaligus mempekecil tekanan pori tanah, karena akan memperkecil angka porositas dalam massa tanah

Perbaikan tanah dengan kapur tidak sekedar dicampurkan, namun juga diikuti dengan pemadatan. Oleh karena itu tanah yang diperbaiki dengan bahan kapur akan mempermudah pekerjaan pemadatan tanah, karena kapur akan mengurangi kelekagtan dan kelunakan tanah , serta

membuat struktur patikel tanah menjadi rapuh, sehingga mudah untuk untuk dipadatkan. Namun, demikian konsekuensi negative tanah dari perbaikan dengan bahan kapur adalah menurunkan nilai kepadatan maksimum dari massa tanah.

Berdasarkan persyaratan SNI 03-4147-1996, jenis kapur yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai bahan perbaikan tanah adalah kapur padam dan kapur tohor. Sebagaimana diketahui bahwa beberapa jenis kapur antara lain :

1. Kapur Tohor

Kapur tohor yaitu kapur dari hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar berupa kalsium karbonat (CaCO_3).

2. Kapur CaCO_3

Limestone (CaCO_3) adalah sebuah batuan sedimen yang terdiri dari mineral *kalsit dan aragonit*.

3. Kapur Padam

Kapur padam yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air sehingga membentuk senyawa kalsium hidrat [$\text{Ca}(\text{OH})_2$].

4. Kapur Tipe I

Kapur tipe I yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] tinggi, dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4% berat.

5. Kapur tipe II

Kapur tipe II adalah kapur magnesium atau dolomit yang mengandung magnesium oksida (MgO) lebih dari 4% dan paling tinggi 36% berat

Tabel 2. 8 Kadar Kapur yang Disarankan Ingles dan Metcalf (1972)

Macam Tanah	Kadar Kapur Untuk "Modifikasi"	Kadar Kapur Untuk "Stabilisasi"
Batu pecah halus*	2 - 4%	Tidak dianjurkan
Kerikil berlempung gradasi baik	1 - 3%	Sampai 3%
Pasir **	Tidak Dianjurkan	Tidak Dianjurkan
Lempung berpasir	Dianjurkan	Sampai 5%
Lempung berlanau	1 - 3%	2 - 4%
Lempung gemuk (<i>heavy clay</i>)	1 - 3%	3 - 8%
Lempung sangat gemuk (<i>very heavy clay</i>)	1 - 3%	3 - 8%
Tanah Organik	Tidak Dianjurkan	Tidak Dianjurkan
* Kapur terhidrasi Ca(OH)_2 , persen terhadap berat kering. - Kapur hanya efektif, jika butiran halus tanahnya plastis		
-- Kapur digunakan dalam stabilisasi bitumen untuk menambahkan kohesi : kapur tohor dalam material <i>loess</i>		

(Sumber : Buku *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*)

2.10 Bentonite

Bentonite merupakan salah satu jenis lempung yang mempunyai kandungan mineral utama *smektit (montmorillonit)* dengan kadar 85-95% (Riyanto,1992).Penamaan jenis lempung tergantung dari penemu atau peneliti, misal ahli geologi,mineralogi, mineral industri dan lain-lain.*Montmorillonit* adalah salah satu fraksi anorganik tanah yang tersusun atas senyawa silika alumina yang berbentuk polikristalin dengan struktur berlapis. *Bentonite* terbentuk dari proses mekanik dan kimiawi dari batuan yang dipengaruhi cuaca (pada lingkungan alkali), batuan tersebut umumnya berasal dari batuan ledakan gunung berapi, bisa juga berasal dari batuan andesit, basal dan lainnya. Akan tetapi kebanyakan *bentonite*

berasal dari batuan tersier. Berdasarkan sifat kimianya, *bentonite* dibedakan menjadi dua, yaitu sodium (Na) dan kalsium (Ca) *bentonite*. Pemakai utama *Na-bentonite* adalah untuk lumpur bor dalam kegiatan pemboran, juga perekat, pengisi (filler). Sementara *Ca-bentonite* dipakai sebagai penyerap (penjernih).

Keunikan sifat *bentonite* kemampuan untuk mengembang dan membentuk koloid jika dimasukkan ke dalam air. *Bentonite* merupakan mineral alumina silikat hidrat yang termasuk dalam pilosilikat, atau silikat berlapis yang terdiri dari jaringan tetrahedral $(\text{SiO}_4)_2^-$ yang terjalin dalam bidang tak hingga membentuk jaringan anion $(\text{SiO}_3)_2^-$ dengan perbandingan Si/O sebesar 2/5. Rumus kimia umum *bentonite* adalah $\text{Al}_2\text{O}_3, 4\text{SiO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$, 85 % kandungan *bentonite* adalah montmorilonit. (Megawati Aviantari, 2008). *Bentonite* mempunyai sifat fisis dan sifat teknis yang buruk jika digunakan sebagai bahan konstruksi. *Bentonite* juga bersifat ekspansif, yang mempunyai kemampuan mengembang cukup besar bila kondisinya jenuh, akibat “Compressibility”-nya tinggi dan sulit memadatkannya, sehingga *bentonite* jenuh ini tidak akan mampu memikul gaya – gaya yang bekerja padanya.

Pemakaian *bentonite* sebagai bahan konstruksi bangunan haruslah dikombinasikan dengan suatu bahan tertentu untuk memperbaiki sifat- sifat *bentonite* tersebut sebelum digunakan. Salah satu bahan yang dapat digunakan adalah kapur, yang merupakan sisa atau limbah industri gas asetilen. Limbah pada proses pengolahan asetilen berbentuk butiran halus yang masih mengandung air. Secara fisis, limbah ini menyerupai kapur, sedangkan secara kimia limbah ini mengandung oksida- oksida logam, dan pesenyawaan kimia lainnya.

Berdasarkan tipenya *bentonite* dibagi menjadi, yaitu :

1. Natrium *Bentonite*

Bentonite jenis ini disebut juga *bentonite type Wyoming* atau *drilling bentonite* mengandung ion Na^+ relatif lebih banyak jika dibandingkan dengan ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} . Natrium *bentonite* mempunyai sifat mengembang apabila dicelupkan ke dalam air hingga delapan kali lipat dari volume semula, sehingga keadaan suspensi akan lebih kental. pH suspensi bernilai 8,5-9,8 (bersifat basa). Mineral ini sering dipergunakan untuk Lumpur pemboran, penyumbat kebocoran bendungan, bahan pencampur

pembuatan cat, bahan baku farmasi, dan perekat pasir cetak pada industri pengecoran logam. Berdasarkan kandungan *bentonite* yang digunakan peneliti, termasuk *bentonite* jenis Natrium.

2. Kalsium *Bentonite*

Bentonite jenis ini disebut *Ca-bentonite*. Jenis ini mengandung kalsium (K₂O) dan magnesium (MgO) lebih banyak dibandingkan natriumnya dan mempunyai sifat sedikit menyerap air sehingga apabila didispersikan dalam air akan cepat mengendap (tidak membentuk suspensi). pH kalsium *bentonite* 4,0-7,0 (bersifat asam). Mineral ini dipergunakan untuk bahan pemucat warna untuk minyak. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bentonit diperlihatkan dibawah ini.

Tabel 2. 9 Komposisi Kimia *Bentonite*

Senyawa	Na- <i>Bentonite</i> (%)	Ca- <i>Bentonite</i> (%)
SiO ₂	61,3-61,4	62,12
Al ₂ O ₃	19,8	17,33
Fe ₂ O ₃	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na ₂ O	2,2	0,50
K ₂ O	0,4	0,55
H ₂ O	7,2	7,22

(Sumber : Puslitbang Tekmira, 2005)

2.11 Sifat Fisis Tanah

Sifat fisis dari tanah asli ini dilakukan dengan pengujian di Laboratorium yang mana hasil dari penelitian ini dilakukan untuk memperoleh nilai, sifat fisik dan mekanik tanah. Sifat fisis tanah ini didasarkan pada bentuk tanah, warna tanah,

ukuran dan bau tanah tersebut. Untuk mendapatkan sifat-sifat fisik tanah, ada beberapa ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Analisa Saringan
- Berat Jenis
- Batas *Atterberg*
- Hidrometer
- Analisa Saringan

2.12 Berat Jenis Tanah (G_s) (ASTM D 854-58)

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Temperatur yang diambil biasanya pada suhu 27,5°C. Berat jenis tanah diperlukan untuk menghitung indeks propertis tanah lainnya (misalnya: angka pori, derajat kejenuhan, karakteristik pemampatan), dan sifat-sifat penting tanah lainnya.

Mencari berat jenis pada suhu t°

$$G_s(t^\circ) = \frac{(W_2 - W_1)}{[(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)]} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

W_1 = Berat piknometer

W_2 = Berat piknometer + tanah

W_3 = Berat piknometer + tanah + air

W_4 = Berat piknometer + air

Mencari berat jenis tanah pada temperatur 27,5° :

$$G_s(27,5^\circ) = G_s(t^\circ) \frac{\text{berat jenis air pada } t^\circ\text{C}}{\text{berat jenis air pada } 27,5^\circ\text{C}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Untuk mengetahui macam-macam tanah berdasarkan berat jenis tanah dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Macam-macam tanah berdasarkan berat jenis

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68

Macam Tanah	Berat Jenis
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

2.13 Batas – Batas Konsistensi Tanah

Tanah lempung memiliki ciri yaitu jika diremas-remas (remoulded) tidak menimbulkan retak-retak. Sifat kohesi ini disebabkan karena adanya air yang terserap di sekeliling permukaan partikel lempung (Das 1991). Atterberg (1991) dalam Bowless (1991), cara menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan airnya batas-batas tersebut antara lain sebagai berikut :

2.13.1 Batas Cair (ASTM D 423-66)

Definisi batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair bisa ditentukan dari uji *casagrande*, yang dipisah selebar 3 mm dan menyatu kembali selebar 0,5 inchi pada pukulan ke 25. Percobaan ini dilakukan dengan sampel tanah yang berbeda dengan beberapa variasi kadar air. Batas cair dapat digunakan suatu jumlah ketukan dan kadar air yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$LL = wn \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

LL = Batas Cair

Wn = Kadar air pada N ketukan

N = Jumlah Ketukan

2.13.2 Batas Plastis (ASTM D 424-74)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 1992).

2.13.3 Indeks Plastis

Indeks plastis adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah. $PI = LL - PL$ Indeks plastisitas merupakan interval kadar air di mana tanah masih bersifat plastis. Jika tanah itu mempunyai interval indeks plastisitas yang pendek, maka kondisi ini disebut tanah kurus. Sedangkan apabila interval indeks plastisitasnya panjang maka kondisi ini disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan oleh Atterberg dalam **Tabel 2.11** sebagai berikut

Tabel 2. 11 Batasan Atterberg

Indeks Plastisitas (%)	Potensial Pengembangan
0-15	Rendah
15-35	Sedang
35-55	Tinggi
>55	Sangat Tinggi

2.13.4 Analisa Saringan dan Hidrometer

- a) Analisa Saringan (ASTM D 422-63).

Digunakan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu contoh tanah

- b) Analisa Hidrometer (ASTM D 1440-00).

Digunakan untuk pembagian ukuran butir tanah yang lewat saringan no.200.

2.14 Pengembangan (*Swelling*)

Tanah mengembang merupakan tanah yang memiliki ciri kembang susut yang besar. Proses pengembangan tanah terjadi akibat perubahan kadar air tanah. Pengertian mengembang (*swelling*) yaitu volume tanah menjadi lebih besar dari volume sebelumnya karena bertambahnya kadar air, (Das, 1983). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi penyusutan dan pengembangan diantaranya :

- a. Kadar air
- b. Kepadatan
- c. Tekanan yang mengikat
- d. Suhu
- e. Susunan struktur tanah
- f. Air yang tersedia

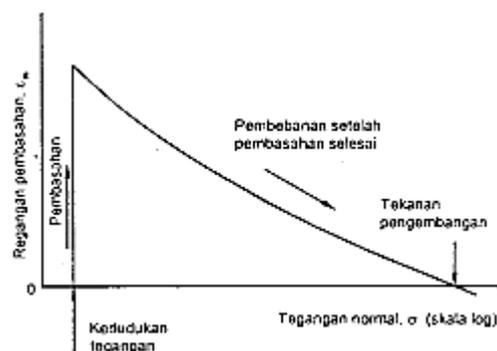
Untuk menghitung nilai swelling pressure dapat menggunakan rumus :

$$\text{Swelling} = \frac{\text{Bacaan dial} \times \text{Kalibrasi} \times 10}{20}$$

Empat faktor pertama kecenderungan potensi mengembang bertambah dengan meningkatnya nilai faktor tersebut. Sedangkan tiga faktor terakhir memiliki kecenderungan yang sebaliknya, (Chen, 1975).

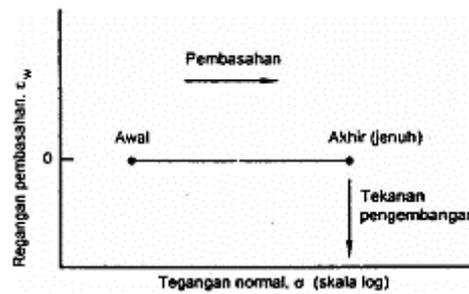
Wiseman G., Komornik A., Greenstein J., (1985) mengatakan bahwa besarnya tekanan pengembangan maupun *heaving* merupakan fungsi dari batas atterberg dalam hal ini digunakan *liquid limit*, berat isi kering, dan kadar air awal.

Wiseman juga menganjurkan untuk menggunakan suatu koefisien selain parameterparameter tanah tersebut. Koefisien yang dianjurkan oleh Wiseman nantinya akan memberikan gambaran bahwa apabila kadar air awal tinggi maka tekanan pengembangan akan turun. Tekanan pengembangan yang dihitung oleh Wiseman hanya dalam arah vertikal, untuk menghitung tekanan pada arah lateral perlu dilakukan modifikasi. Pengujian tekanan pengembangan dapat dilakukan dengan beberapa metode. Metode yang pertama, pengujian pembebanan dilakukan dengan mengukur pengembangan pada akhir pembebanan dari uji pengembangan dengan melepaskan beban perlahan-lahan sampai kembali ke volumenya semula sedangkan metode yang kedua yaitu dengan menggunakan alat konsolidometer yang mencegah terjadinya regangan vertikal lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Metode uji tekanan pengembangan dengan pelepasan beban pada akhir pembebanan uji pengembangan

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)



Gambar 2. 8 Metode uji tekanan pengembangan dengan konsolidometer tanpa regangan

(Sumber : Hardiyatmo,2010)

Metode pertama cenderung menghasilkan tekanan pengembangan yang lebih tinggi, namun tidak satupun dari kedua metode tersebut yang menggambarkan secara persis urutan aktual pembebanan dan pembasahan di lapangan (Hardiyatmo, 2010). Untuk melihat hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang dapat dilihat pada tabel 2. 12 sebagai berikut :

Tabel 2. 12 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

Swelling Potential	Swelling Pressure (kg/cm ²)
Low	< 2
Medium	2 – 4
High	4 – 7
Very High	> 7

(Sumber: Garcia-Iturbe 1980)

2.15 Uji Indeks Pengembangan Bebas (*Free Swelling Test*)

Free swelling index atau uji pengembangan bebas adalah suatu metode pengujian tanah untuk mengamati tingkat ekspansi tanah yang berada didalam suatu koloid yaitu air destilasi dan kerosene dalam 24 jam atau lebih. Konsep yang digunakan pada pengujian ini adalah tanah yang direndam dalam air destilasi akan

mengalami pengembangan (swelling), sedangkan tanah yang direndam air kerosene tidak akan mengalami pengembangan atau mengalami pengembangan tetapi lebih rendah dibandingkan dalam air, dikarenakan sifat koloidnya non-polar (Anonymous, 1977). Standar pengujian ini mengacu pada I.S 2720 bagian 40 (1977). Untuk menghitung nilai indeks swelling tanah menggunakan rumus :

$$FSI = \frac{V_d - V_k}{V_k} \times 100\%$$

Dimana :

FSI : Free Swelling Index (%)

Vd : Volume tanah pada gelas ukur yang berisi air destilasi (ml)

Vk : Volume tanah pada gelas ukur yang berisi kerosene (ml)

Derajat pengembangan dapat ditentukan dari seberapa besar persentase free swelling index, dimana pembagian derajat pengembangan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.13 sebagai berikut :

Tabel 2. 13 Klasifikasi Derajat Ekspansif (I.S 2720 Part 40, 1977)

<i>Free Swell Indeks (%)</i>	<i>Degree of Expansiveness</i>
<i>< 20</i>	<i>Low</i>
<i>20 – 35</i>	<i>Moderate</i>
<i>35 – 50</i>	<i>High</i>
<i>> 50</i>	<i>Very High</i>

(Sumber : I.S 2720 Part 40, 1977)

2.16 Pengujian Pemadatan Tanah (ASTM D698-70)

Pemadatan tanah merupakan proses mekanis yang bertujuan untuk mengeluarkan udara di dalam pori tanah. Maksud dari mengeluarkan udara pada pori tanah memiliki tujuan yaitu :

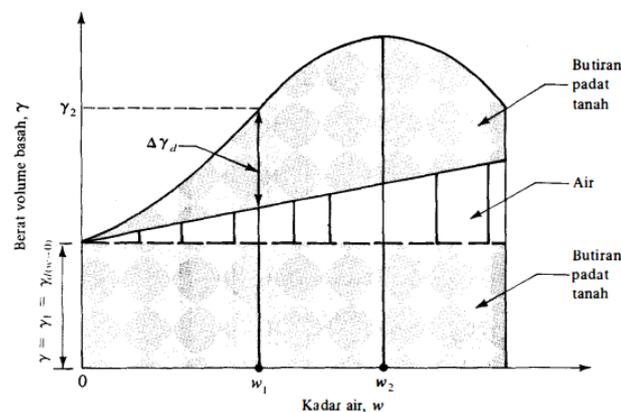
- a. Mempertinggi kuat geser tanah.
- b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
- c. Mengurangi permeabilitas.

- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.
- e. Memperoleh kadar air optimum.

Tujuan dari pemadatan dapat tercapai dengan pemilihan bahan tanah timbunan, cara melakukan pemadatannya, dan pemilihan penggunaan mesin pemadatan. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d).

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 membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering tanah akan meningkat apabila kadar airnya juga meningkat.

Apabila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga akan meningkat secara bertahap. Akan tetapi apabila tanah mencapai tahap kadar air tertentu, adanya penambahan kadar air justru menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini disebabkan karena air menempati pori yang seharusnya dapat terisi oleh partikel padat dari tanah.



Gambar 2. 9 Prinsip Prinsip Pemadatan

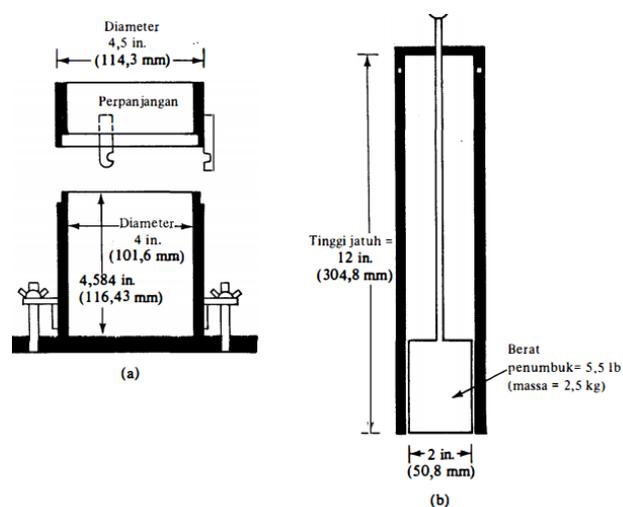
(Sumber : Braja M Das, *Mekanikan Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta, hal 235*)

Percobaan yang dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah uji Proctor. Nilai berat volume kering tanah yang diperoleh dari percobaan pemadatan bergantung dari

kadar air tanah dan juga usaha yang diberikan alat penumbuknya. Terdapat dua macam cara untuk melakukan uji pemadatan yaitu sebagai berikut:

1. Pemadatan *Standard*

Pada pengujian ini tanah dipadatkan pada sebuah silinder dengan volume $1/30 \text{ ft}^3$ ($943,3 \text{ cm}^3$) dan berdiameter 4 in ($101,6 \text{ mm}$). lalu tanah ditumbuk dengan menggunakan penumbuk seberat 2,5 kg, tanah dipadatkan tiga lapisan dengan masing-masing lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali.

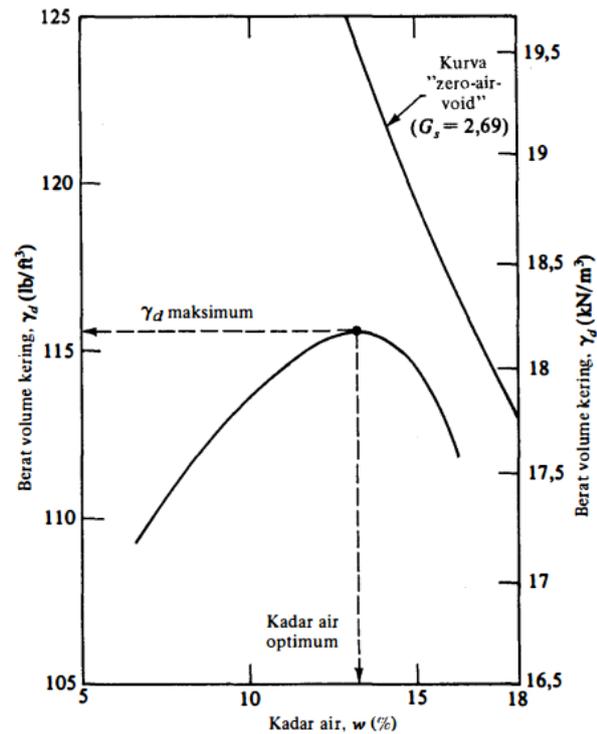


Gambar 2. 10 Silinder dan penumbuk pemadatan

2. Pemadatan *Modified*

Pada uji pemadatan ini silinder yang digunakan sama seperti pemadatan *standard* akan tetapi tumbukan yang digunakan memiliki berat sebesar 4,5 kg, dan pada saat uji pemadatan tanah pada silinder ditumbuk sebanyak lima lapisan.

Dalam uji pemadatan setidaknya dilakukan sebanyak lima kali dengan campuran lima kadar air yang berbeda dimulai dari yang terkecil hingga ke terbesar. Setelah dilakukan pengujian gambar kurva yang dihasilkan dengan memperlihatkan nilai kadar air terbaik (kadar air optimum) untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimalnya. Berikut adalah contoh dari grafik uji pemadatan.



Gambar 2. 11 Kurva Hasil Uji Pemadatan

(Sumber : Braja M Das, Mekanikan Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta, hal 238)

Adapun perhitungan yang yang harus dilakukan :

1. Menghitung kadar air (%)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100\%$$

Keterangan :

W_c = berat cawan (gr)

W_1 = berat cawan + berat tanah basah (gr)

W_2 = berat cawan + berat tanah kering (gr)

2. Menghitung berat air (gr)

$$\text{Berat air} = W_1 - W_2$$

3. Menghitung tanah kering (gr)

$$\text{Berat tanah kering} = W_2 - W_c$$

4. Menghitung berat volume (gr/cm^3)

$$\text{Berat volume} = W/V$$

Keterangan :

W = $W_{ms} - W_m$ (gr)

W_m = berat *modal* (gr)

W_{ms} = berat *mold* + sampel (gr)

V = volume *mold* (cm³)

5. Menghitung densitas kering (gr/cm³)

$$\rho_d = \frac{\gamma}{1+w} \times 100\%$$

2.17 Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR adalah percobaan dengan tujuan untuk memperoleh daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Department*. Nilai CBR yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk melakukan perencanaan perkerasan timbunan pada jalan. Semakin tinggi nilai CBR yang diperoleh maka semakin bagus pula kondisi tanah yang digunakan sebagai timbunan, sebaliknya apabila nilai CBR yang diperoleh bernilai kecil maka kondisi tanah tidak bagus.

Pada dasarnya uji CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu jenis material dan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0,1 inch dan 0,2 inch dan selanjutnya dari hasil kedua perhitungan tersebut diambil nilai terbesarnya. Dari hasil pengujian CBR inilah dapat ditentukan apakah tanah yang digunakan memerlukan stabilisasi atau tidak. Tanah yang diuji sesuai dengan SNI-1744-2012.

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) dari tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston dengan penampang melingkar 3 inci² pada kecepatan 0,05 inci/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standar tertentu. Tujuan dari pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk menentukan kekuatan tanah dasar melalui percobaan CBR, diperoleh suatu nilai yang kemudian digunakan untuk menentukan tebal perkerasan yang dibutuhkan pada suatu lapisan dengan nilai CBR tertentu (Wesley, 1977). Tanah dasar dalam pembangunan jalan baru adalah tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang telah dipadatkan dengan kerapatan 95% dari kerapatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar adalah nilai kemampuan lapisan tanah untuk memikul beban setelah tanah dipadatkan. CBR ini disebut point plan CBR dan karena disiapkan di laboratorium maka disebut CBR laboratorium. Semakin tinggi nilai CBR tanah (*subgrade*), semakin tipis lapisan perkerasan di atasnya dan semakin kecil nilai CBR (daya

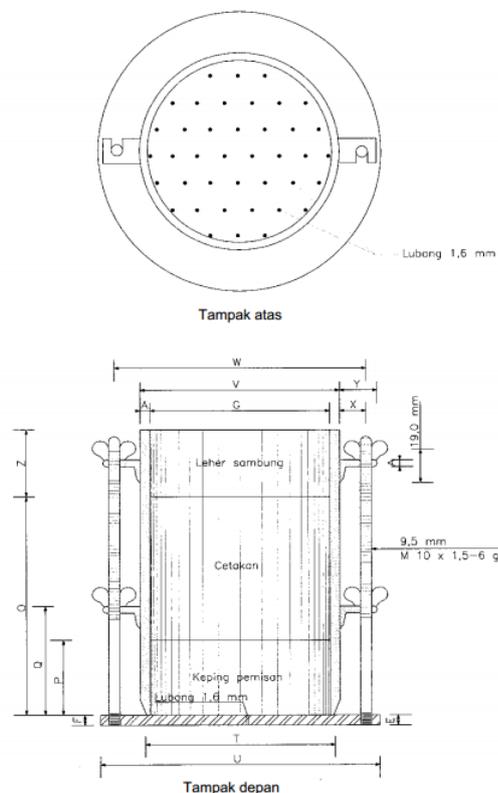
dukung tanah rendah), maka semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai dengan beban yang akan ditanggungnya. Ada dua macam pengukuran CBR, yaitu:

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi *standard* besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi).
 Nilai CBR = $(PI/70,37) \times 100 \%$ (PI, dalam kg / cm²).
2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi *standard* yang besarnya 105,56 kg/cm² (1500 psi).
 Nilai CBR = $(PI/105,56) \times 100 \%$ (PI, dalam kg / cm²).

Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar. CBR laboratorium dapat dibedakan atas dua macam yaitu:

1. CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*)
2. CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*)

Pada pengujian CBR laboratorium rendaman pelaksanaannya lebih sulit karena membutuhkan waktu dan biaya relatif lebih besar dibandingkan CBR laboratorium tanpa rendaman. Sedangkan dari hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman.



Gambar 2. 12 Silinder Pemasakan CBR

Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung berat sampel (gr)

$$W_s = W_m - W_{ms}$$

Keterangan :

W_m = berat *mold* (gr)

W_{ms} = berat *mold + sampel* (gr)

2. Menghitung berat volume (gr/cm³)

$$W_v = \frac{W_s}{V}$$

Keterangan :

V = volume *mold* (cm³)

3. Menghitung densitas kering (gr/cm³)

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \times 100\%$$

Keterangan :

w = kadar air, dinyatakan dalam desimal

4. Menghitung harga CBR:

$$\text{Penetrasi } 0,1'' = \frac{\text{Penetrasi terkoreksi}}{1000} \times 100\%$$

$$\text{Penetrasi } 0,2'' = \frac{\text{Penetrasi terkoreksi}}{1500} \times 100\%$$

5. **Pengembangan**

$$\Delta h = \frac{h_1 + h_0}{h_0} \times 100\%$$

Keterangan:

Δh = pengembangan (%)

h_0 = tinggi awal benda uji (mm)

h_1 = tinggi akhir benda uji setelah perendaman (mm)

Tabel 2. 14 Klasifikasi Derajat Ekspansif (Seed et al.1962 dalam Das,1995)

Swelling Potential (%)	Swelling Degree
0 - 1.5	Low
1.5 - 5	Medium
5 - 25	High
>25	Very High

2.18 Kontruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkersan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan, dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003).

Menurut AASHTO dan Bina Marga Konstuksi jalan terdiri atas :

a. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah dasar merupakan lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut spesifikasi, tanah dasar ialah lapisan teratas dari timbunan badan jalan dengan tebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya.

b. Lapisan Fondasi Bawah (*Sub-Base Course*)

Lapisan fondasi bawah merupakan lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan dibawah lapisan fondasi atas, dengan fungsinya sebagai.

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar
- b. Lapisan peresapan agar air tidak berkumpul di fondasi
- c. Lapisan ini mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan fondasi atas.

c. Lapisan Fondasi Atas (*Base Course*)

Lapis fondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis fondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis fondasi bawah). Fungsi lapis fondasi yaitu sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda, sebagai perletakan terhadap lapis permukaan. Bahan-bahan untuk lapis fondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan fondasi, hendaknya dilakukan pengujian untuk mengetahui daya dukung bahan tersebut sesuai spesifikasi yang berlaku.

d. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan merupakan lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapisan permukaan ini memiliki fungsi sebagai berikut.

- a. Lapisan yang langsung menahan beban akibat roda kendaraan
- b. Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus)
- c. Lapisan yang mencegah air hujan agar tidak meresap ke lapisan bawahnya yang dapat melemahkan lapisan tersebut
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.

Tabel 2. 15 Sifat-sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 (Revisi2))

2.19 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1). Hasil Penelitian Aldi Rifani

Penelitian Aldi Rifani (2021), berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Pada Tanah Lunak Terhadap Nilai Pengembangan (*Swelling*)”. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah batu bara (*Fly Ash*) dapat menurunkan nilai *swelling pressure* tanah. Nilai *swelling pressure* tanah dan *bentonite* yang termasuk kategori *swelling* potensial tinggi (*high*) setelah ditambahkan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) nilai *swelling pressure* menjadi rendah dan kategori *swelling* potensial menjadi rendah (*low*).

2). Hasil Penelitian Andi Saputra

Penelitian Andi Saputra (2021), berjudul “Pengaruh Kadar Air Terhadap Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung Di Capkala Kabupaten Bengkayang”. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan tanah lempung capkala berdasarkan nilai IP sebesar 64,657 % , tanah capkala memiliki potensi mengembang sangat tinggi (>35%). Dan pengaruh kadar air terhadap presentase mengembang menunjukkan apabila kadar air tanah semakin besar maka presentase mengembang semakin kecil.