

BAB II

TINJAUAN UMUM

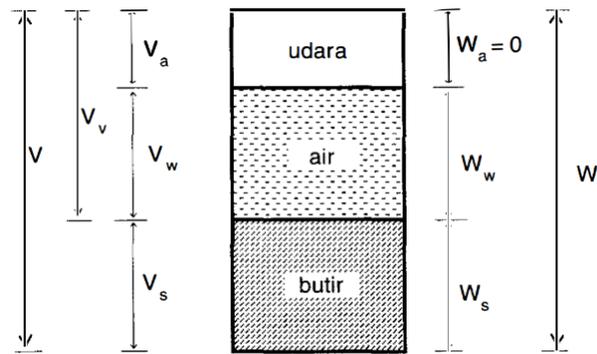
2.1 Tinjauan Umum Tanah

Tanah merupakan bahan yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia antara satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das B. M 1998). Tanah dapat juga didefinisikan akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tersebut terdapat ruang kosong (*void space*) yang berisi air dan udara (Craig,1991:1).

2.2 Komponen-Komponen Penyusun Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Pada tanah kering hanya akan terdiri dari dua bagian yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah jenuh juga terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan bagian air pori. Dalam keadaan tak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori (Hardiyatmo, 2002).

Komponen penyusun tanah terdiri dari tiga yaitu: air, udara dan bahan padat (butiran). Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis jadi dianggap sama dengan nol, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang kosong diantara butiran-butiran dapat terisi sebagian atau seluruhnya dengan air maupun udara. Jika tanah tersebut kering, tanah hanya terdiri dari butiran dan udara, lalu tanah yang jenuh terdiri dari butiran dan air pori sedangkan tanah tidak jenuh terdiri dari butiran, udara dan air. Hubungan antara kadar air, angka pori porositas, berat volume dan lain-lain sangat diperlukan dalam praktik. Adapun bagian-bagian tanah ialah sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Penampang struktur tanah dalam tiga fase

(Sumber: Sudarmo dan Purnomo, 1993)

2.3 Klasifikasi Tanah

Catatan mengenai jenis-jenis tanah berikut ini mencakup nama-nama yang biasa dipakai oleh insinyur praktis serta mandor berpengalaman, untuk klasifikasi tanah di lapangan (*Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck 1987 : 5*).

Pasir dan Kerikil merupakan agregat tak berkoheisi yang tersusun dari fragmen-fragmen sub-angular atau angular, sepertinya 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*).

Hardpan merupakan tanah yang tahanannya terhadap penetrasi alat pemboran besar sekali. Sebagian besar "hardpan" dijumpai dalam keadaan bergradasi baik. Luar biasa padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

Lanau anorganik (*inorganik silt*) merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsase dimensi, 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 dilekukkan 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 kelubang pengeboran atau lubang galian seperti layaknya suatu cairan kental. Tanah paling tidak stabil. Menurut kategori ini, dikenal secara setempat dengan nama berbeda-beda, misalnya: hati sapi (*hull's liver*).

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, berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedang kompresibilitasnya sangat tinggi.

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. Istilah "gumbo" digunakan, khususnya di Amerika bagian barat, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin, serta sangat keras. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket.

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.

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 tidak mungkin menopang pondasi. 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.

Seandainya suatu tanah tersusun dari dua jenis tanah yang berbeda, maka campuran yang terbanyak (dominan) dinyatakan sebagai kata benda, sedang yang lebih sedikit atau kurang menonjol dinyatakan sebagai skala sifat. Misalnya: pasir lanauan, menyatakan tanah yang mengandung banyak pasir, sedangkan lanau hanyaberjumlah sedikit saja. Lempung pasiran adalah tanah yang memperlihatkan sifat-sifat sebuah lempung tetapi mengandung sedikit pasir. (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1987)

Terdapat jenis-jenis tanah berdasarkan ukuran partikelnya (*soil separated soil limits*) pada table 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah.

Tabel 2. 1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama 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 Departmenr of Agriculture (USDA)</i>	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway abd Transportation Officials (ASSHTO)</i>	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002

(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 7*)

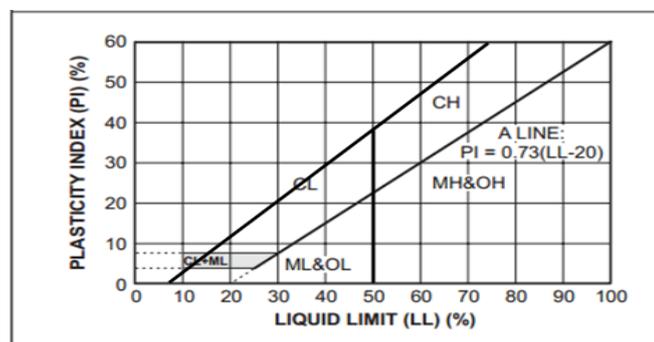
2.4 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai perilaku dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah-tanah dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan pada kondisi-kondisi fisis yang lain. Sistem klasifikasi tanah yang dipakai pada penelitian ini yaitu sistem klasifikasi tanah menurut AASHTO, USCS, dan USDA.

1. Sistem Klasifikasi Tanah USCS (Unified Soil Classification System)

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

- a. Tanah berbutir kasar (coarse – grained soil), yaitu tanah kerikil dan pasir < 50 % berat 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.
- b. Tanah berbutir halus (fine grained soil), tanah di mana > 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200, dimulai dari huruf M untuk lanau (silt) anorganik, C untuk lempung (clay) anorganik, dan O untuk lanau – organik dan lempung organik.



Gambar 2. 2 Diagram plastisitas tanah berbutir halus USCS

(Sumber: Braja M Das, 1995)

Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan Sistem (USCS)

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum	
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50 % butiran tertahan pada ayakan No. 200	Kerikil 50 % atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 40	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi –baik dan campuran kerikil- pasir, sedikit atau sama sekali mengandung butiran halus	
			GP Kerikil bergradasi –baik dan campuran kerikil- pasir, sedikit atau sama sekali mengandung butiran halus	
		Kerikil Dengan butiran halus	GM Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir-lempung	
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos ayakan No. 40	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	
			Tanah berbutir halus 50 % atau lebih lolos ayakan No. 200	ML Lanau an organik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
				CL Lempung an organik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang
Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	OL Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
	MH Lanau an organik atau pasir halus diatomae, lanau yang elastis			
	CH Lempung an organik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transformation Officials) yang membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Tabel 2.5 memperlihatkan sistem klasifikasi AASHTO tampak terdiri dari kelompok A-1 sampai A-7 dengan sub kelompok. Sedangkan sub kelompok A-8 tidak diperlihatkan, tetapi merupakan gambut yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan dalam kelompok A-1 sampai dengan A-2.

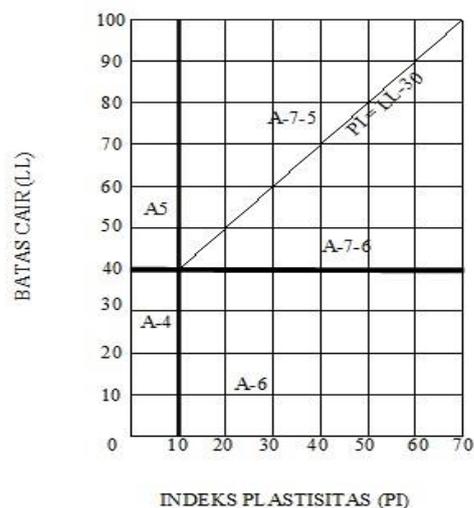
Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui No. 200)						Bahan-bahan lanau-lempung (Lebih dari 35% melalui No. 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5; A-7-6:
Analisis saringan: Persen melalui: No. 10 No. 40 No. 200	50 maks. 30 maks. 15 maks.	50 maks. 25 maks.	51 maks. 10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Karakteristik fraksi melalui No. 40 Batas cair: Indeks plastisitas	6 maks.		N.P.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 11 min.	41 maks. 10 maks.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks 10 min.	41 min. 11 min.
Indeks kelompok	0		0	0		4 maks.		8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik baik sampai baik						sedang sampai buruk				

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

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

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



Gambar 2. 3 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

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

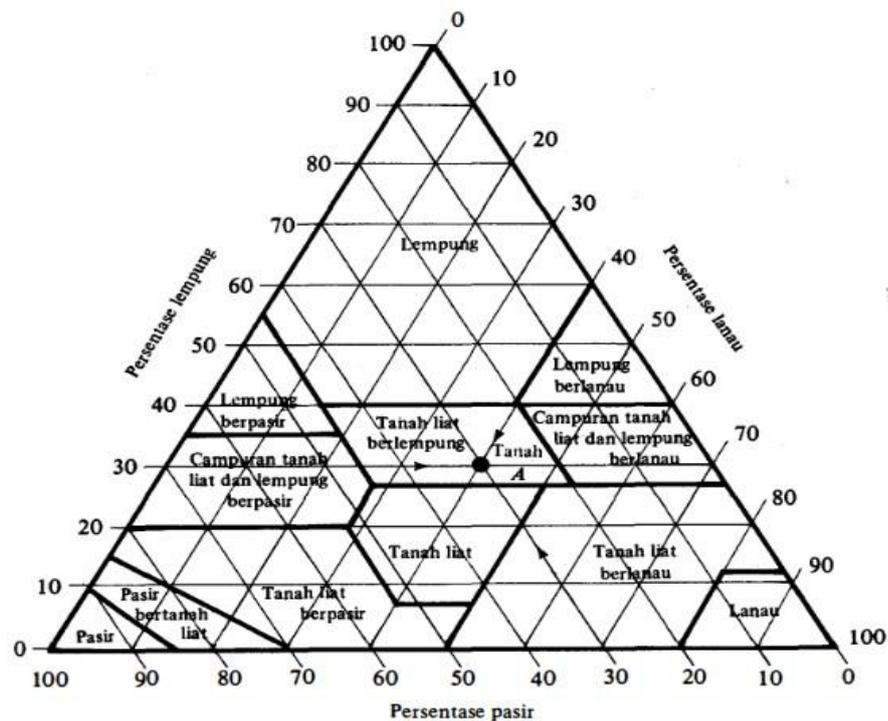
3. Sistem Klasifikasi USDA

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap butir yang ada di dalam tanah. Sistem ini membagi tanah dalam beberapa kelompok: kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), dan lempung (clay), atas dasar ukuran butir-butirnya. 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. Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari sistem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini. Gambar 2.5 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA, yaitu :

pasir: butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm

lanau: butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm

lempung: butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 2. 4 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

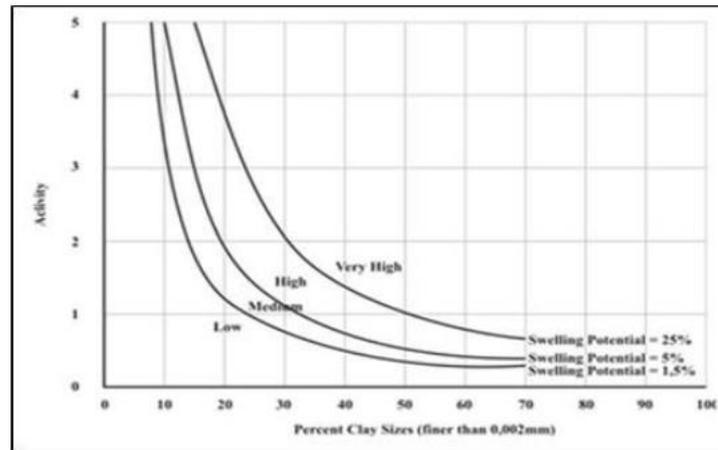
2.5 Aktivitas Tanah

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).

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

Tabel 2. 4 Angka Aktivitas 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 Tanah Lempung

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 permeabilitasnya sangat rendah, pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket. Lempung adalah alumunium silikat kompleks terbentuk satu dari unit dasar yaitu : silica tetrahedron, Alumina octahedron.

Tiap unit tetrahedron terdiri dari empat atom oxygen mengelilingi sebuah atom silica, kombinasi unit tetrahedral silica memberikan selembur silica. Tiga atom *oxygen* dari tiap tetrahedron dibagi oleh tetrahedral sebelahnya. Unit octahedral terdiri dari enam hydroxyls mengelilingi sebuah atom alumunium, kombinasi dari unit octahedral aluminum *hydroxyls* memberikan selembur *octaheral*, disebut juga lembar *gibbsite*, kadang-kadang magnesium menggantikan atom alumunium pada unit *octahedral*, disebut juga lembar *brucite*.

2.7 Tanah Ekspansif

Tanah mengembang atau disebut juga dengan *expansive soil*, adalah tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar, mengembang pada musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Biasanya pengembangan atau penyusutan

tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan *differential movement*. Kerugian yang diakibatkan oleh tanah mengembang diantaranya adalah:

1. Pengembangan (*heave*) dan retak (*cracking*)
2. Kelebihan tegangan lateral pada dinding penahan tanah
3. *Heave* dan *buckling* pada dinding penahan tanah
4. Berkurangnya daya dukung dan kuat geser tanah

Tanah ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan sistem kadar air tanah. Tanah ini apabila terjadi peningkatan kadar air tanah akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan. Apabila kadar air berkurang akan terjadi penyusutan. Kembang susut terjadi sebagai akibat adanya perubahan sistem tanah-air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya dalam. Beberapa mineral yang biasa terdapat pada tanah ekspansif adalah kaolinite, illite dan montmorillonite. Ketiganya merupakan bentuk kristal Hidros Aluminium Silikat, namun ketiganya mempunyai sifat-sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan yang lainnya. Perbedaan komposisi kimia dan struktur kristal pada mineral memberikan beberapa kelemahan untuk mengembang. Pengembangan terjadi ketika air meresap diantara partikel lempung, sehingga menyebabkan terpisahnya partikel.

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).

Tanah ekspansif dapat diidentifikasi berdasarkan nilai indeks plastisitas seperti terlihat pada Tabel 2.6 (Chen, 1975) berikut ini :

Tabel 2. 5 Hubungan Indeks Plastisitas terhadap Potensial Pengembangan

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

(Sumber : Chen, 1975)

Sifat yang menonjol dari tanah ekspansif adalah daya dukungnya yang sangat rendah, kekakuannya menurun drastis pada kondisi basah dan kembang susutnya sangat tinggi bila mengalami perubahan kadar air sehingga akan retak-retak pada kondisi kering dan mengembang pada kondisi basah. Hal ini disebabkan tanah ekspansif banyak mengandung mineral montmorillonite bermuatan negatif yang besar, menyerap air yang banyak dengan mengisi rongga pori sehingga tanahnya mengembang dan akibat selanjutnya adalah kekuatannya menurun drastis. Oleh karena itu salah satu cara untuk mengatasi perilaku tanah ekspansif yang kurang menguntungkan tersebut perlu dilakukan stabilisasi.

2.8 Sifat Fisis Tanah

2.8.1 Kadar Air Tanah

Kadar air merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%). Untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam tanah. Kadar air merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat tanah tersebut yang dinyatakan dalam persen (%). Analisa kadar air tanah dilakukan sebanyak dua kali percobaan. Secara matematis kadar air tanah dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (w)} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat tana kering}} \times 100\%$$

2.8.2 Berat Jenis Tanah

Berat jenis (Specific gravity) G_s ini merupakan beberapa istilah dari rumus dibawah. Terdapat dua definisi berat jenis yang dapat dipakai. Definisi dasar dapat dijumpai pada buku teks fisika dan dihitung mengikuti persamaan berikut :

$$\text{Berat Jenis Tanah } (G_s) = \frac{\text{Berat volume satuan mineral}}{\text{Berat volume satuan air pada } 4^\circ}$$

2.8.3 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 :

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

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 inci pada pukulan ke 25. Percobaan ini dilakukan dengan sampel tanah yang berbeda dengan beberapa variasi kadar air.

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

Dimana :

LL = Batas Cair

Wn = Kadar air pada N ketukan

N = Jumlah Ketukan

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

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).

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (*Shrinkage Limit* = SL), yaitu presentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Batas susut dinyatakan dalam persamaan 2-1 sebagai berikut

$$SL = w - \left[\frac{v_1 - v_2}{w_1} \right] \times 100\%$$

Dimana :

w = kadar air (%)

W₁ = berat tanah kering oven (gr)

V₁ = Volume tanah basah (cm³)

V₂ = Volume tanah kering oven (cm³)

2.8.4 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 plastisitanya panjang maka kondisi ini disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan oleh Atterberg dalam Tabel 2.6 sebagai berikut

Tabel 2. 6 Nilai Indeks Plastisitas dan Sifat Tanah

PI	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non – Kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kehesif Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo,1992)

2.8.5 Analisa Saringan dan Hidrometer

Tujuan pengujian analisa hidrometer adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan nomor 200. Pengujian dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan 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.

2.9 Sifat Mekanis Tanah

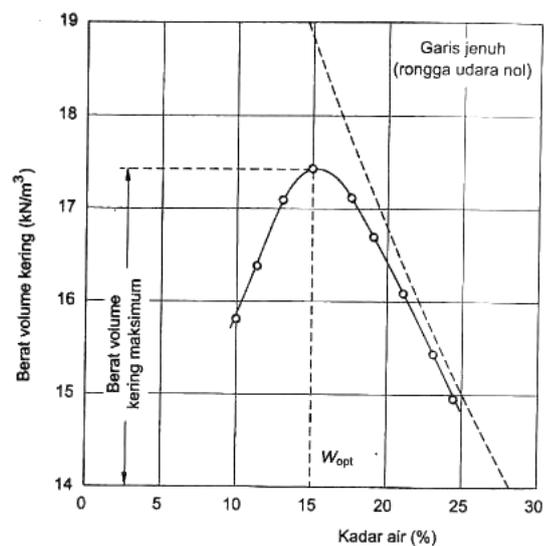
2.9.1 Pengujian Pemadatan Tanah (ASTM D698-12)

Pemadatan adalah proses menaikkan berat jenis suatu tanah dengan cara mendekatkan partikel-partikel dengan pengurangan volume udara, tetapi tidak ada perubahan volume air yang signifikan didalam tanah(Craig's Soil Mechanics). Secara umum, semakin tinggi tingkat pemadatan suatu tanah, maka semakin tinggi pula kekuatan tekan dan semakin rendah kompresibilitas tanah. Kepadatan suatu tanah akan meningkat dengan meningkatnya kadar air, tetapi penambahan kadar air yang berlebihan juga dapat mengakibatkan tingkat kepadatan tanah menurun karena air mengambil alih tempat-tempat semula yang ditempati oleh butiran tanah. Kadar air dimana tanah disebutkan memiliki tingkat kepadatan maksimum (MDD) dinamakan kadar air optimum (OMC).

Karakteristik pemadatan tanah dapat dinilai dengan cara standar tes laboratorium. Tanah dipadatkan dalam cetakan berupa silinder mould dengan menggunakan standar upaya kompak. Dalam uji Proctor, volume cetakan adalah $1/30 \text{ ft}^3$ (944 cm^3) dan tanah (dengan semua partikel lebih besar dari 20 mm dihapus) dipadatkan dengan penumbuk berdiameter 5 cm yang beratnya 2,5 kg (5,5 lb) dengan massa jatuh bebas melalui 30,5 cm (12"). Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan yang sama, setiap lapisan menerima 25 kali pukulan. Dalam uji Proctor yang dimodifikasi, cetakannya sama dengan yang digunakan dalam pengujian uji proctor sebelumnya, yang membedakannya adalah terdiri dari berat dari penumbuk sebesar

4,54 kg (10 lb) dengan massa jatuh bebas melalui 45,7 cm (18"). tanah (dengan semua partikel yang lebih besar dari 20 mm dihilangkan) dipadatkan dalam lima lapisan, setiap lapisan menerima 25 kali pukulan.

Setelah pemadatan menggunakan salah satu dari dua metode yang telah dijelaskan, densitas curah dan kadar air tanah ditentukan dan kepadatan kering dihitung. Untuk tanah tertentu proses ini diulang minimal lima kali, kadar air sampel menjadi meningkat setiap kali. Kepadatan kering diplot terhadap kadar air dan kurva bentuk yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Hubungan Antara Berat Volume Kering Dan Kadar Air Pada Usahan Pemadatan

(Sumber : Buku Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan, Hary Christady)

2.9.2 California Bearing Ratio (CBR) SNI 1744:2012

Pengujian CBR adalah percobaan dengan tujuan untuk memperoleh daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Department*. CBR dapat diuji pada 2 kondisi yaitu kondisi tidak direndam dan kondisi rendaman. Umumnya harga CBR rendaman lebih rendah dibandingkan dengan CBR tidak direndam, namun demikian kondisi rendaman adalah kondisi yang sering dialami dilapangan, sehingga dalam perhitungan konstruksi, harga CBR

rendaman yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena pada kenyataannya air selalu mempengaruhi bangunan.

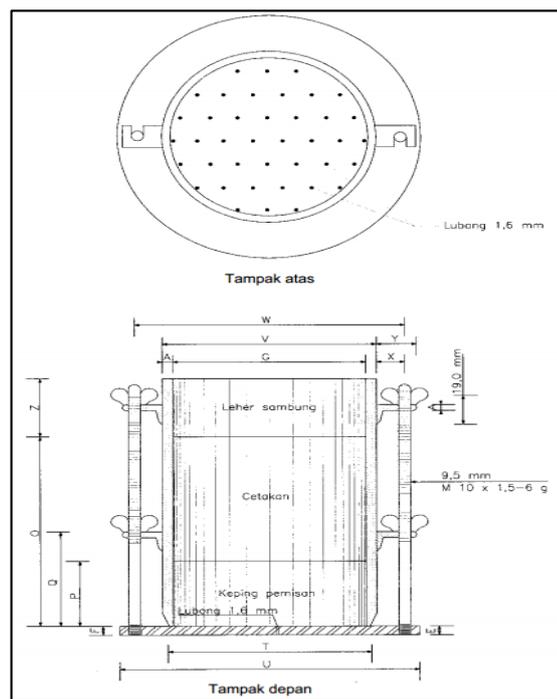
CBR rendaman berhubungan dengan pengujian pengembangan (swelling). Pengembangan adalah proses bertambahnya ukuran sample tanah yang diakibatkan penambahan air pada sampel tanah karena proses perendaman. Nilai pengembangan (swelling) dihitung berdasarkan persentase dari tinggi setelah perendaman terhadap tinggi sampel sebelum perendaman seperti pada persamaan berikut ini.

$$Swelling = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100\%$$

Keterangan

h_1 : tinggi sampel tanah semula

h_2 : tinggi sampel tanah setelah perendaman



Gambar 2. 7 Silinder Pematatan CBR

2.9.3 Uji Pengembangan Bebas (*Free Swelling Index*)

Free swelling index (FSI) atau uji pengembangan bebas merupakan suatu metode pengujian tanah yang bertujuan mengamati tingkat ekspansi tanah yang berada didalam suatu koloid yaitu air destilasi dan kerosene dalam 24 jam atau lebih. Konsep 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 :

$$FSI = \frac{Vd - Vk}{Vk} \times 100\%$$

Keterangan

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 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Klasifikasi Derajat Ekspansif

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

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

2.9.4 Swelling Potential

Potensi mengembang (*swelling potential*) adalah kemampuan mengembang tanah yang dinyatakan dalam persentase mengembang (*swelling percentage*) dan tekanan mengembang (*swelling pressure*). Garcia-Iturbe (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang dengan tekanan mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai swelling pressure di bawah 2 memiliki swelling potential yang rendah sedangkan untuk swelling pressure di atas 7 memiliki swelling pressure sangat tinggi:

Tabel 2. 8 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

<i>Swelling Potential</i>	<i>Swelling Pressure</i>
<i>Low</i>	< 2
<i>Medium</i>	2 – 4
<i>High</i>	4 – 7
<i>Very High</i>	> 7

(Sumber : Gracia-Iturbe, 1980)

2.10 Stabilisasi Tanah

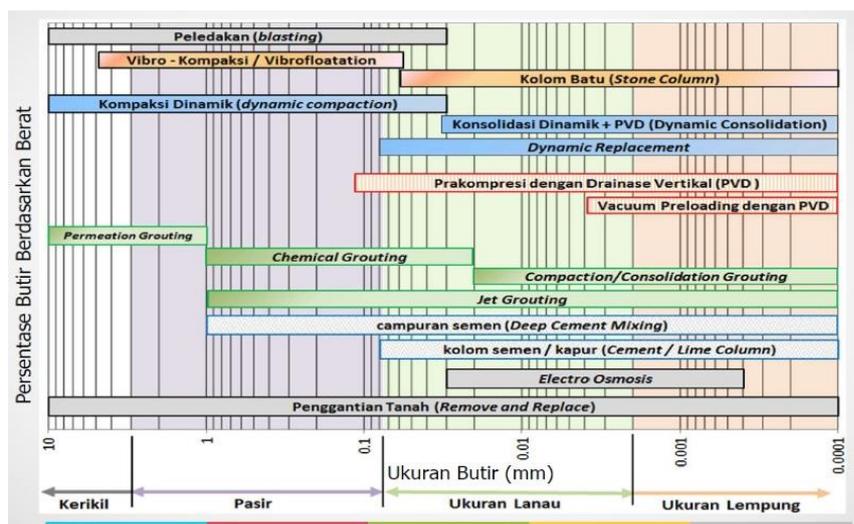
Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap properti tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (soil stabilization as "the alteration of any property of a soil to improve its engineering performance"). Dalam pengertian ini Lambe memaknai sifatsifat tanah (soil property) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah. Punmia (1980), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya. 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 additive (kimiawi), pencampuran tanah (regradation), pengeringan tanah (dewatering) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisis).

- 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.

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

- Stabilisasi Kimiawi; yaitu penambahan bahan yang dapat menstabilisasi tanah dengan mengubah sifat-sifat yang kurang menguntungkan dari tanah.
- Stabilisasi mekanis ; yaitu yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai “perkuatan tanah (soil reinforcement). Contohnya stabilisasi dengan metal strip, geotextile, geomembrane, geogrid, vertical drain, dan lain sebagainya.
- Stabilisasi Fisis; yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.



Gambar 2.8 Macam-Macam Stabilisasi Tanah

(Sumber :SNI Geoteknik 8640:2-17))

2.11 Tanah Mengembang

Tanah mengembang atau *expansive soil*, yaitu tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar, mengembang pada musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Biasanya pengembangan dan penyusutan tersebut tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya dan menimbulkan differential movement. Kerugian yang diakibatkan oleh tanah mengembang diantaranya adalah:

1. Retak (*cracking*) dan Pengembangan (*heave*)
2. Kelebihan tegangan lateral pada dinding penahan tanah
3. *Heave* dan *buckling* pada dinding penahan tanah
4. Berkurangnya daya dukung dan kuat geser

Mineral lempung, ukuran butir tanah, kadar air dan indeks plastisitas sangat berpengaruh pada potensi pengembangan tanah. Peningkatan persentase ukuran butiran berdasarkan fraksi lempung (0,002 mm) dan indeks plastisitas pada berbagai mineral lempung akan meningkatkan persentase potensi pengembangan, (Chen, 1975).

2.12 Spent Bleaching Earth (SBE)

Spent bleaching earth (SBE) adalah campuran antara tanah liat dan minyak yang harus ditangani dengan hati hati karena sifatnya yang mudah terbakar. Pada umumnya industry minyak akan membuang limbah yang berbahaya spent bleaching earth pada suatu lahan (landfill). Spent bleaching bisa diolah dengan baik dengan proses termal ataupun regenerasi kimia, yang dapat menghasilkan bleaching earth sama efisennya dengan bahan asli bleaching earth. Metode lain dalam penanganan limbah spent leaching earth adalah dijadikan bahan bakar alternative untuk industri semen atau bahan baku produksi batu bata tanah liat. Spenth bleaching earth (SBE) termasuk ke dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) berdasarkan PP no. 85 tahun 1999.

SBE memiliki potensi yang sangat besar untuk dijadikan material bangunan semisal beton, hal ini dikarenakan ketersediannya yang sangat banyak. 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 dasar.

2.13 Bentonite

Bentonite adalah istilah pada lempung yang mengandung monmorillonit dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok dioktohedral. 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 (SiO_4)²⁻ yang terjalin dalam bidang tak hingga membentuk jaringan anion (SiO_3)²⁻ dengan perbandingan Si/O sebesar 2/5. Rumus kimia umum bentonite adalah $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. 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. Menurut (Megawati, 2008) bentonit dibagi dua yaitu:

1. Natrium Bentonite

Bentonite jenis ini disebut juga bentonit type Wyoming atau drilling bentonite mengandung ion Na^+ relative 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 Mg, Ca-bentonite. Jenis ini mengandung kalsium (K_2O) 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-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
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)

2.14 Semen

Semen merupakan material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis.

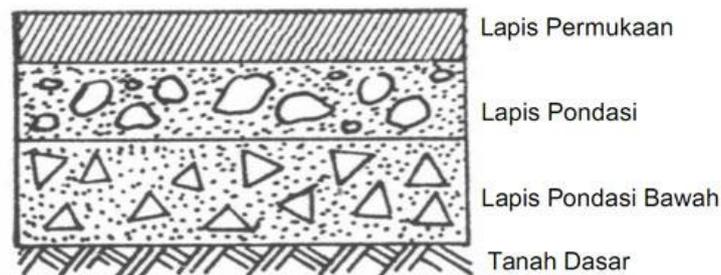
Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen *portland*, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Semen Portland merupakan jenis semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Aman Subakti,1994).

2.15 Konstuksi 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 pengelolaan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003).

Menurut AASHTO dan Bina Marga Konstuksi jalan terdiri atas :



Gambar 2.9 Susunan Lapis Perkerasan Jalan

1). 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.

2). 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.

3). Lapisan Fondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan ini sebagai lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis fondasi bawah dan lapis fondasi permukaan yang mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a. Perkerasan yang dapat menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- b. Sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.

4). 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.

Konstruksi jalan raya selalu diharapkan dapat dibangun di atas tanah dasar (*sub-grade*) dalam klasifikasi baik sesuai dengan persyaratan yang diinginkan. Soedarsono, 1985:34 menetapkan tanah dasar untuk jalan ke dalam beberapa kelompok seperti tercantum dalam tabel 2.8

Tabel 2. 10 Klasifikasi Tanah Dasar Untuk Jalan

No	Klasifikasi	Jenis Tanah	CBR (%)
1	Sangat Baik	a. Sirtu b. Kerikil/pasir	25 - 60 20 - 60
2	Baik	a. Pasir kasar b. Pasir halus	10 - 30 6 - 25
3	Sedang	Lanau atau/dan Lempung	4 - 15
4	Jelek	Lempung organik	3 - 8
5	Sangat Jelek	Humus/tanah rawa (tanah organik)	-

(Sumber : Soedarsono, 1985:34)

Berdasarkan Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya Departemen Pekerjaan Umum (1972), berbagai jenis tanah setempat bisa digunakan sebagai material jalan raya dengan ketentuan yang terdapat pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 11 Persyaratan Nilai CBR dan PI Untuk Konstruksi Badan Jalan

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 :Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan)

2.16 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil Penelititan Agung Sumarno, Agus Mudo Prasetyo, Fazhar Akbar, Eko Widodo, Ismail Budiman, Bambang Subiyanto (2021)

Pemanfaatan Limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE) pada Stabilisasi Tanah Lempung dengan *Clean Set Cement*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah SBE dan semen sebagai bahan stabilisasi tanah lempung yang mampu menaikkan daya dukung tanah. Tahap penelitian yaitu pengujian kadar air yang hasilnya bahan stabilisasi memberikan pengaruh penurunan kadar air. Lalu pengujian densitas dengan hasil penambahan material stabilisasi menurunkan nilai densitas. Lalu pengujian CBR yang mana hasil penambahan material stabilisasi mampu meningkatkan hasil CBR.

2. Hasil Penelitian Roni Indra Lesmana, Muhardi, Soewignjo Agus Nugroho (2016)

Stabilisasi Tanah Plastisitas Tinggi Dengan Semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen OPC dan PCC

terhadap tanah lempung yang nilai plastisitasnya tinggi. Dengan hasil percobaan percobaan pemadatan tanah tersebut setelah ditambah semen nilai kadar air optimum menurun. Nilai percobaan CBR setelah ditambahkan semen meningkat. Nilai Pengujian UCS juga meningkat dengan seiring bertambahnya kadar semen.

3. Hasil Penelitian Aldi Rifani (2021)

Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Pada Tanah Lunak Terhadap Nilai Pengembangan (*Swelling*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap tanah lempung yang nilai plastisitasnya tinggi. Dengan percobaan uji geonor *swelling*, *free swelling indeks*, dan uji fisis yang meliputi uji batas cair, batas plastis, berat jenis, analisa gradasi dan hydrometer. Dimana hasil percobaan *swelling pressure* pada tanah *bentonite* 20% mengalami penurunan dan *bentonite* 40% mengalami kenaikan. Untuk *free swelling index* pada *bentonite* 20% dan 40% mengalami kenaikan.