BAB II
TINJAUAN UMUM

2.1 Tinjauan Umum Tanah

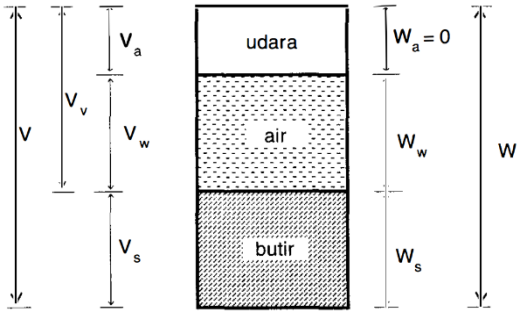
Menurut Dokuchaev (1870), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan. Tanah juga didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Sifat dan karakteristik tanah sangat tergantung pada keadaan topografi dan geologi yang membentuk tanah tersebut. Sifat-sifat fisik banyak tergantung pada faktor ukuran, bentuk dan komposisi kimia butiran. Istilah tanah dalam bidang mekanika tanah dimaksudkan sebagai campuran dari partikel yang terdiri dari salah satu atau berbagai jenis partikel berikut.

Tanah selalu mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Dalam suatu pekerjaan konstruksi tanah mendapat posisi yang sangat penting. Kebanyakan problem tanah dalam bidang keteknikan adalah tanah lempung yang merupakan tanah kohesif. Tanah kohesif ini dedifinisikan sebagai kumpulan partikel mineral yang mempunyai tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur kimia, tekstur dan partikel serta pengaruh lingkungan sekitarnya.

2.2 Komposisi 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).



Gambar 2. 1 Penampang struktur tanah dalam sistem tiga fase

(*Sumber*: Sudarmo dan Purnomo, 1993)

Berdasarkan Gambar 2.1 maka dianggap bahwa massa tanah tersebut dalam sistem tiga fase yaitu udara, air, dan butir-butir padat. Didapat hubungan antara berat isi, kadar air, angka pori dan lain lain.

2.3 Klasifikasi Tanah

Menurut Braja M.Das (1995) 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.

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 berikut 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 Departmenr of Agriculture (USDA)	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
American Association of State Highway abd Transportation Officials (ASSHTO)	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

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

2.3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USDA (*U.S Department of Agriculture)*

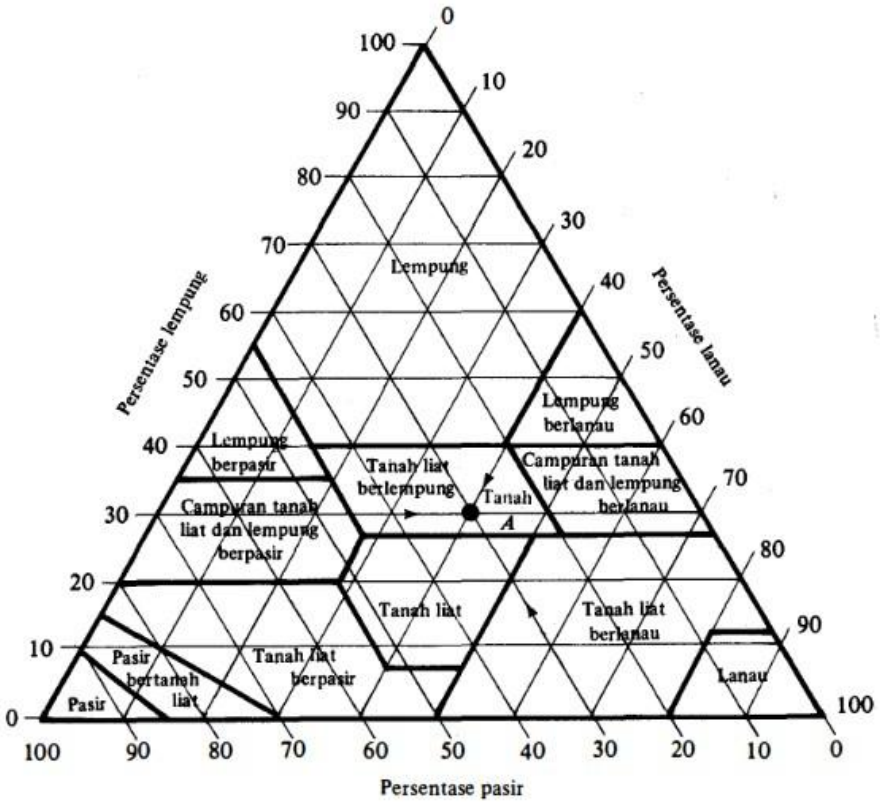
Klasifikasi tanah yang telah disusun antara lain sistem klasifikasi Dudal-Soeprapto hardjo, Sistem *Soil* Taxonomy (USDA), *System World Reference Base for Soil Resources*, Sistem *Unified Soil Clasification System* (USCS) dan *System American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO).

Kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, debu dan liat yang terkandung pada tanah (Badan Pertanahan Nasional). Dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besaryaitu 2 – 0.05 mm, debu dengan ukuran 0.05 – 0.002 mm dan liat dengan ukuran< 0.002 mm (penggolongan berdasarkan USDA). Keadaan tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap keadaan sifat-sifat tanah yang lain seperti struktur tanah, permeabilitas tanah, porositas dan lain-lain.

Butir-butir yang paling kecil adalah butir liat, diikuti oleh butir debu (*silt*), pasir, dan kerikil. Selain itu, ada juga tanah yang terdiri dari batu-batu. Tekstur tanah dikatakan baik apabila komposisi antara pasir, debu dan tanah liatnya hampir seimbang. Tanah seperti ini disebut tanah lempung. Semakin halus butir-butir tanah (semakin banyak butir liatnya), maka semakin kuat tanah tersebut memegang air dan unsur hara. Tanah yang kandungan liatnya terlalu tinggi akan sulit diolah, apalagi bila tanah tersebut basah maka akan menjadi lengket. Tanah jenis ini akan sulit melewatkan air sehingga bila tanahnya datar akan cenderung tergenang dan pada tanah berlereng erosinya akan tinggi. Tanah dengan butir-butir yang terlalu kasar (pasir) tidak dapat menahan air dan unsur hara. Dengan demikian tanaman yang tumbuh pada tanah jenis ini mudah mengalami kekeringan dan kekurangan hara. Pembagian ukuran fraksi-fraksi tanah (tekstur) Menurut Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) Tahun 1938 dapat di lihat pada Gambar 2.1 (Braja M Das, 1995: 65).

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 2.1 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)

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

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administrasion Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 *(ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145)*.

Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO, Sistem klasifikasi AASHTO awalnya membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub kelompok. Sistem yang direvisi *(Proc. 25 th Annual Meeting of Highway Research Board, 1945)* mempertahankan delapan kelompok dasar tanah tadi tapi menambahkan dua sub kelompok dalam A-1, empat kelompok dalam A-2, dan dua sub kelompok dalam A-7. Kelompok A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawah 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 kedalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam 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 kedalam 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 di bawah ini:

- Ukuran Butir
  a. Kerikil

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

  b. Pasir

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

  c. Lanau dan lempung

     Lanau dan lempung merupakan bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

- Plastisitas

  Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila mana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

Sistem klasifikasi AASHTO adalah didasarkan pada tekstur dan plastisitas tanah. Sistem ini menabagi 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.

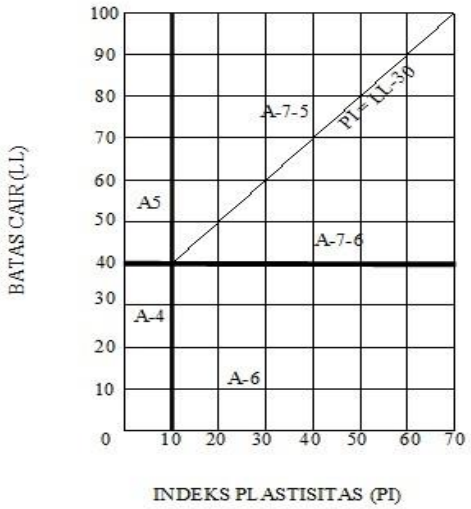
Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi AASHTO

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	50 maks.										
No. 40	30 maks.	50 maks.	51 maks.								
No. 200	15 maks.	25 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:				40 maks.	41 min.	40 maks.	41 maks.	40 maks.	41 min.	40 maks	41 min.
Indeks plastisitas	6 maks.		N.P.	10 maks.	10 maks.	11 min.	10 maks.	10 maks.	10 maks.	10 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 ≤ 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)

2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) merupakan sistem klasifikasi diperkenalkan oleh *Casagrande* pada tahun 1942 untuk dipergunakan dalam pekerjaan pembuatan lapangan terbang oleh *The Army Corps of engineers* selama perang dunia kedua. Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan kedalam dua kategori utama yaitu:

a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil),* < 50% lolos saringan No. 200.
b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), > 50% lolos saringan No. 200.
c. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi Tanah Unified Berdasarkan Kelompok

Jenis Tanah	*Prefiks*	Sub Kelompok	*Sufiks*
Kerikil	G	Gradasi baik	W
Pasir	S	Gradasi buruk	P
Lanau	M	Berlanau	M
Lempung	C	Berlempung	C
Organik	O	W_L< 50 %	L
gambut	Pt	W_L> 50 %	H

(Sumber: bowles, 1991)

Klasifikasi berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS) (Braja M Das, 1995)*, tanah dikelompokkan menjadi:

a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang lebih dan 50% bahanya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
b. Tanah butir halus adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M *(silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan

simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah

G = Kerikil (*Gravel*)

S = Pasir (*Sand*)

C = Lempung (*Clay*)

M = Lanau (*Silt*)

O = Lanau atau lempung organik (*Organic silt or clay*)

W = Gradasi baik (*Well-graded*)

P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)

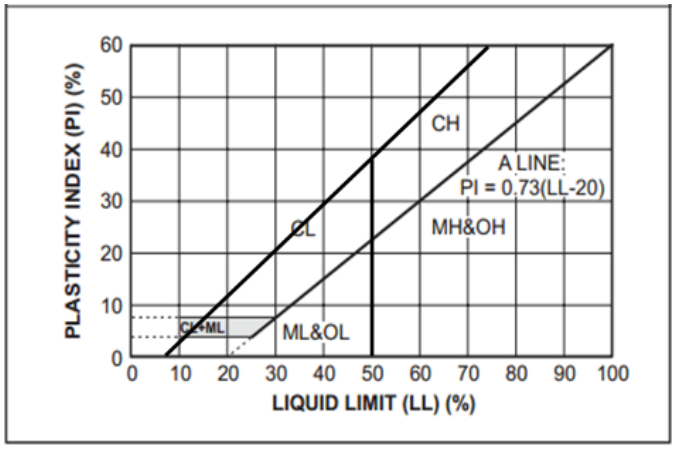
H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = Plastisitas rendah (*low-plasticity)*

Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi

Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir di mana 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.



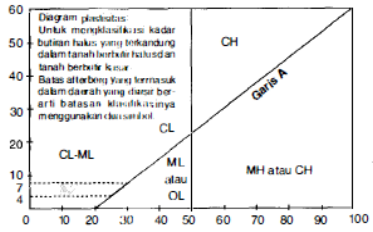
Gambar 2. 4 Diagram plastisitas tanah berbutir halus USCS

(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 plastisitasnnya 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.

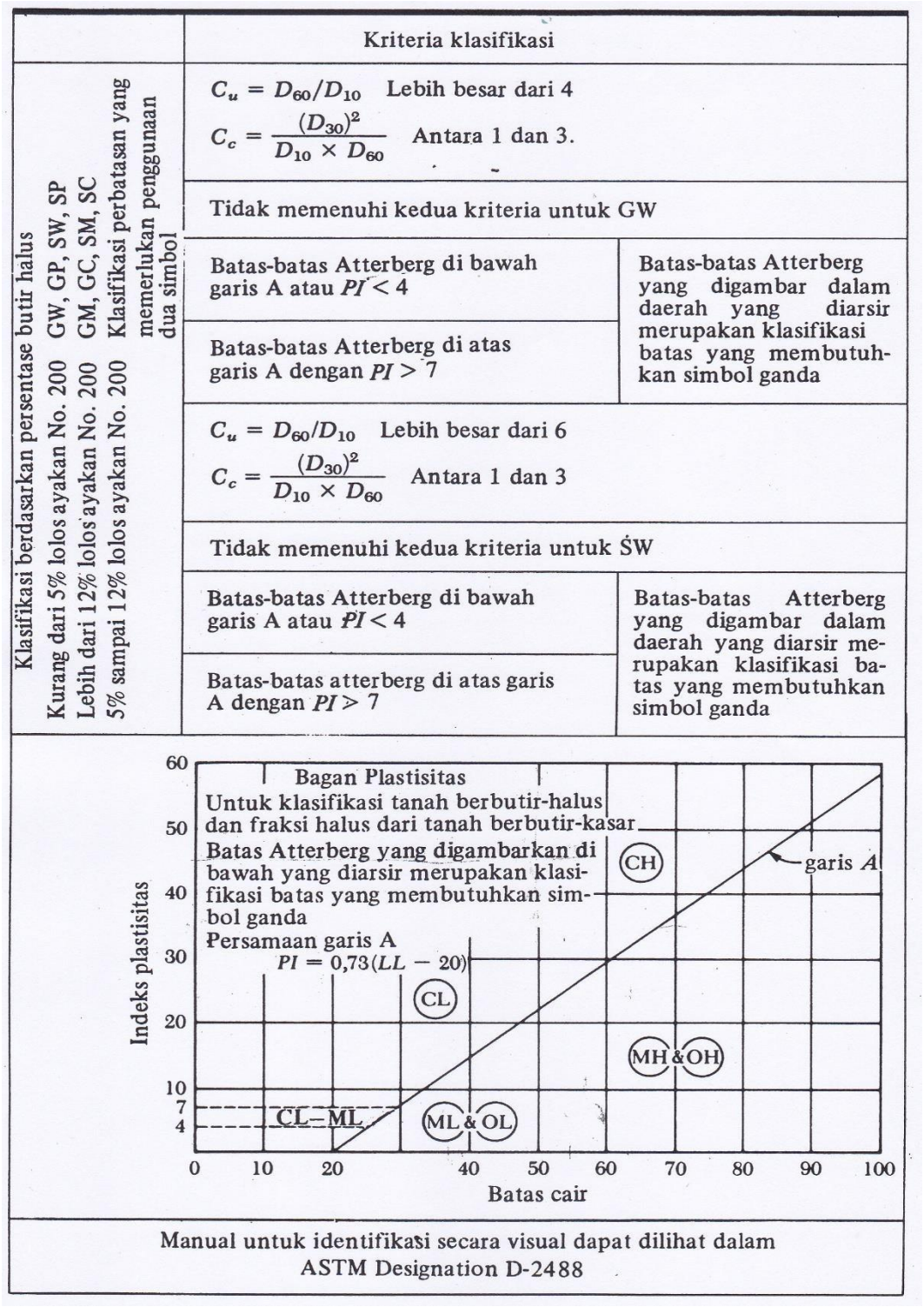
Tabel 2. 4 Sistem Klasifikasi USCS

<table>
<tr><th colspan="3">Divisi</th><th>Simbol Kelompok</th><th>Nama Jenis</th><th></th><th colspan="2">Kriteria Klasifikasi</th></tr>
<tr><td rowspan="8"></td><td rowspan="4">Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)</td><td rowspan="2">Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)</td><td>GW</td><td>Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.</td><td rowspan="8">Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: Kurang dari 50% lolos saringan no. 200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200: GM, GC, SM, SC. 5% – 12% lolos saringan no. 200. Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel</td><td colspan="2">$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} x D_{60}}$ antara 1 dan 3</td></tr>
<tr><td>GP</td><td>Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.</td><td colspan="2">Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Kerikil banyak kandungan butiran halus</td><td>GM</td><td>Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau</td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4</td><td rowspan="2">Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol</td></tr>
<tr><td>GC</td><td>Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung</td><td>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)</td><td rowspan="2"></td><td>SW</td><td>Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.</td><td colspan="2">$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$
$C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} x D_{60}}$ atau 1 dan 3</td></tr>
<tr><td>SP</td><td>Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.</td><td colspan="2">Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Pasir bersih kandungan butiran halus</td><td>SM</td><td>Pasir berlanau, campuran pasir-lanau</td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4</td><td rowspan="2">Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol</td></tr>
<tr><td>SC</td><td>Pasir berlanau, campuran pasir-lempung</td><td>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)</td><td colspan="2" rowspan="2">Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang</td><td>ML</td><td>Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung</td><td rowspan="6"></td><td colspan="2" rowspan="6"> 

Batas Cair LL (%)
Garis A: PI = 0,73 (LL – 20)</td></tr>
<tr><td>CL</td><td>Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Lanau dan lempung batas cair > 50%</td><td>OL</td><td>Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah</td></tr>
<tr><td>MH</td><td>Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')</td></tr>
<tr><td>OH</td><td>Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi</td></tr>
<tr><td colspan="3">Tanah dengan organik tinggi</td><td></td><td>Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi</td><td colspan="2">Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488</td></tr>
</table>

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

Tabel 2. 5 Sistem Klasifikasi USCS (Lanjutan)



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

2.4 Tanah Lempung

Lempung adalah tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesi dan plastisitas tinggi. Dalam keadaan kering sangat keras, dan permeabilitasnya sangat rendah, pada kadar air yang lebih tinggi lempung tersebut bersifat lengket. Lempung bila ditinjau dari segi ukuran didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran 0,002 mm. Ditinjau dari segi mineral, tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu serta mempunyai sifat plastis bila tanah dicampur dengan air.

Menurut *Kari Terzaghi dan Ralph B. Peck* (*1987*) Tanah 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. lstilah "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.

2.5 Tanah Ekpansif

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 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

system 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 Alluminium Silikat, namun ketiganya mempunyai sifat-sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan yang lainnya. Perbedaan komposisi kimia dan struktul kristal pada mineral memberikan beberapa kelemahan untuk mengembang. Pengembangan terjadi ketika air meresap diantara partikel lempung, sehimgga menyebabkan terpisahnya partikel. Lempung ekspansif merupakan lempung yang memiliki sifat khas yakni kandungan mineral ekspansif yang mempunyai kapasitas pertukaran ion tinggi, sehingga 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. Ada beberapa cara untuk mengetahui apakah tanah tersebut termasuk kategori tanah ekspansif dan seberapa besar potensial pengembangan, di antaranya (Chen, 1975): 1. Identifikasi Mineralogi dengan cara difraksi sinar-X ; analisa diferensial termal ; analisa kimia dan Mikroskop Elektron. 2. Cara Tidak Langsung: Tanah ekspansif dapat diidentifikasi berdasarkan nilai indeks plastisitas seperti terlihat pada Tabel 1. (Chen, 1975) berikut ini :

Tabel 2. 6 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.

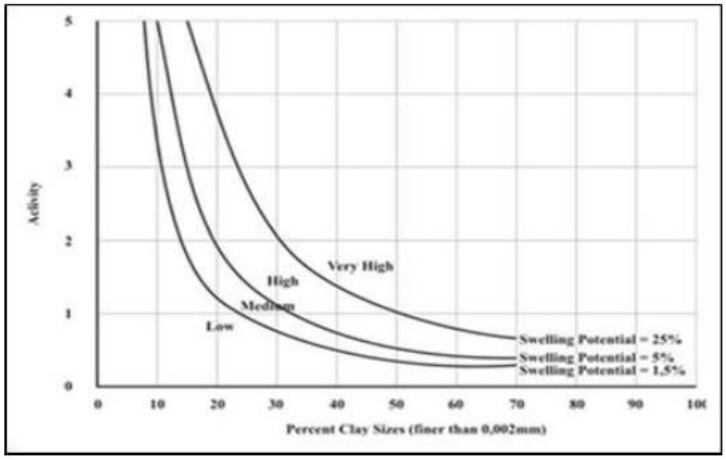
2.6 Aktivitas Tanah

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. 7 Angka Aktivitas Lempung

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



Gambar 2. 5 Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang (***Sumber*** *: Seed et al.,1962*)

2.7 Sifat Fisis Tanah

Akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space)* yang berisi air dan/atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut di atas tetap berada pada tempat semula, maka bagian ini disebut tanah sisa (*residual soil*). Hasil pelapukan yang terangkut ketempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*). Media pengangkut tanah berupa gaya gravitasi, angin, air, dan gletser. Pada saat berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel-partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran. (*R.F CRAIG 1989*)

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

2.7.1 Berat Jenis

Digunakan untuk menentukan berat jenis butiran tanah (Gs). Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air yang mempunyai volume 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°

$$Gs(t°) = \frac{(W2-W1)}{[(W2-W1)-(W3-W4)]} \qquad (2.1)$$

Dimana :

W1 = Berat piknometer

W2 = Berat piknometer + tanah

W3 = Berat piknometer + tanah + air

W4 = Berat piknometer + air

Mencari berat jenis tanah pada temperatur 27,5° :

$$Gs(27{,}5°) = Gs(t°)\frac{\text{berat jenis air pada t°C}}{\text{berat jenis air pada 27,5°C}}$$

Untuk mengetahui macam-macam tanah berdasarkan berat jenis tanah dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 8 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
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

2.7.2 Batas Atterberg

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui batas plastis, batas plastis, dan batas susut. Batas-batas konsistensi digunakan untuk mengkarakteristikan perilaku tanah lempung dan lanau ketika kadar air berubah. Dalam pengertian masalah tanah, maka tidak kalah pentingnya mengetahui kadar air terhadap sifat mekanis tanah. Dimana untuk menghitung IP digunakan rumus sebagai berikut:

$$IP = LL - LP$$

Dimana:

IP = Indeks Plastis LP = Batas Plastis

w = Kadar Air LL = Batas Cair

a) Batas Cair (ASTM D 423-66)

Digunakan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air dimana tanah berada dalam batas peralihan antara keadaan

cair dan keadaan plastis. Batas cair dapat digunakan suatu data jumlah ketukan dan kadar air yang dapat dihitung dengan rumus :

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

Dimana :

LL = Batas Cair N = Jumlah Ketukan

Wn = Kadar air pada N ketukan

b) Batas Plastis (ASTM D 426-56)

Digunakan untuk mengetahui batas plastis suatu contoh tanah, yaitu nilai kadar air terendah dari suatu contoh tanah dimana tanah tersebut masih dalam keadaan plastis.

Tabel 2. 9 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)

2.7.3 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).

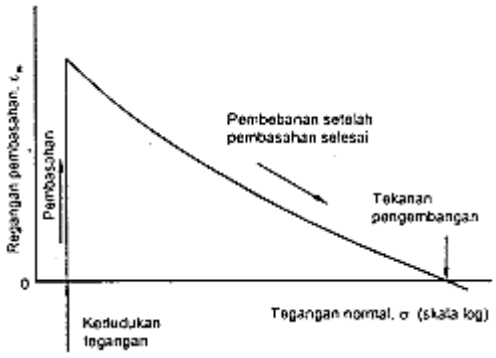
Digunakan untuk pembagian ukuran butir tanah yang lewat saringan no.200.

2.8 Tekanan Mengembang (ASTM- D4546 90)

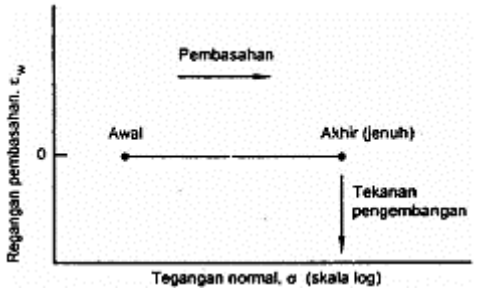
Prosedur pengujian tekanan pengembangan dengan volume konstan meliputi penggenangan sampel pada oedometer sambil mencegah sampel dari pengembangan. Tekanan pengembangan adalah tegangan terapan maksimum yang dibutuhkan untuk menjaga volume tetap konstan ($\Delta V = 0$). Pengujian tekanan pengembangan juga bisa dilakukan dengan membiarkan sampel mencapai perubahan volume yang maksimal kemudian baru dilakukan penambahan beban sehingga perubahan volume sampel menjadi nol. Chen (1988) mendefinisikan tekanan pengembangan sebagai tekanan yang dibutuhkan untuk mencegah tanah mengembang pada berat volume kering di tempat, hal ini berlaku untuk contoh tanah asli (*undisturb*) sedangkan pada tanah yang dibentuk kembali (*remolded*) pada 100% kepadatan relatif, tekanan pengembangan adalah tekanan yang dibutuhkan untuk memelihara berat volume kering tersebut (Hardiyatmo, 2010).

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 2.6 dan Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Metode uji tekanan pengembangan dengan pelepasan beban pada akhir pembebanan uji pengembangan
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)



Gambar 2. 7 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 2.10 sebagai berikut :

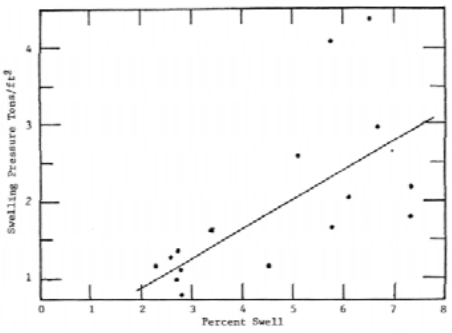
Tabel 2. 10 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

Swelling Potential	**Swelling Pressure (kg/cm2)**
Low	< 2
Medium	2 – 4
High	4 – 7
Very High	> 7

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.

2.9 Hubungan Antara Pengembangan dan Tekanan Mengembang

Potensi mengembang (*swelling potential*) adalah kemampuan mengembang tanah yang dinyatakan dalam persentase mengembang (*swelling percentage*) dan tekanan mengembang (*swelling pressure*). Persentase mengembang (*swelling percentage*) adalah perbandingan tinggi sampel tanah (ΔH) dengan tinggi awal sampel tanah (h) dalam persen (ΔH/h x 100%). Tekanan mengembang (*swelling pressure*) adalah tekanan yang dibutuhkan untuk mengembalikan *void ratio* atau tinggi sampel tanah ke nilai awal (e_0, h_0) setelah mengalami proses mengembang. Persentase mengembang dan tekanan mengembang merupakan suatu rangkaian proses yang saling berhubungan dan tidak dapat dipisahkan. Tekanan mengembang adalah daya atau kemampuan suatu tanah untuk menambah volume sedangkan pengembangan merupakan besar perubahan volume pada tanah, sehingga bisa dikatakan bahwa adanya pengembangan disebabkan karena adanya tekanan pengembangan. Petry & Armstrong (1980) melakukan penelitian tentang hubungan dan variasi properties tanah lempung dengan potensi mengembang. Pengujian persentase mengembang dan tekanan mengembang dimulai dengan tekanan *overburden* pada sampel tanah yang diambil dari hasil *boring* di lapangan. Penelitian Petry & Armstrong (1980) menyimpulkan bahwa dua cara untuk mengukur potensi mengembang yaitu persentase mengembang dan tekanan mengembang mempunyai hubungan secara langsung, sehingga kedua cara tersebut dapat digunakan untuk memeriksa dan memprediksikan satu sama lain. Grafik hasil pengujian Petry & Armstrong dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Grafik hubungan persentase mengembang dengan tekanan mengembang
(Sumber: Petry & Armstrong, 1980)

2.10 Pengujian Pengembangan Bebas (*Free Swelling Index*)

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 :

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

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 2.11 sebagai berikut :

Tabel 2. 11 Klasifikasi Derajat Ekspansif (I.S 2720 Part 40, 1977)

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

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

2.11 Pengujian Pemadatan Tanah (ASTM D698-12)

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

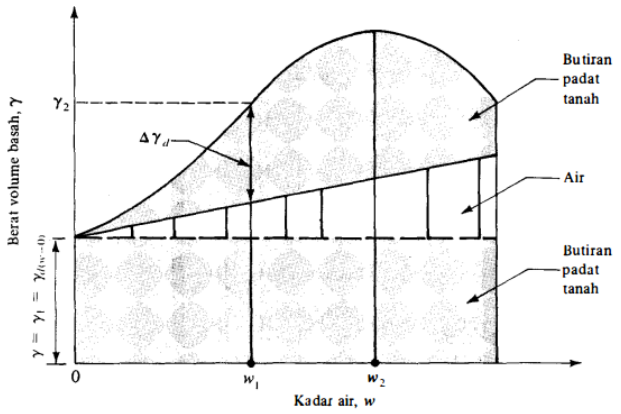
a. Mempertinggi kuat geser tanah.
b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
c. Mengurangu permeabilitas.
d. Mengurangu perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.
e. Memperoleh kadar air optimum.

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 ditingkatakan terus secara bertahap, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga akan meningkat secar 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.



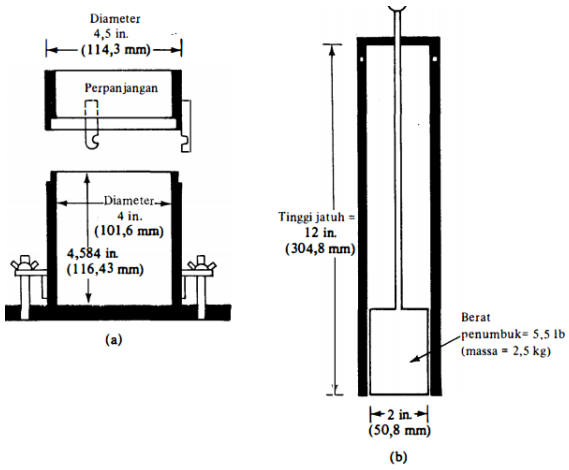
Gambar 2. 9 Prinsip-prinsip Pemadatan

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

Percobaan yang dilakukan di laboraturium 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 uyaitu sebagai berikut:

1. Pemadatan *Standard*

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

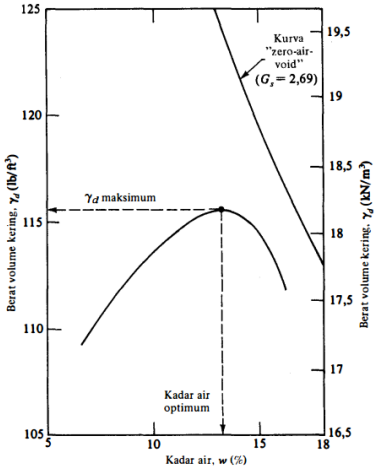


Gambar 2. 10 Silinder dan penumbuk pemadatan

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 sebanyaklima 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 Contoh 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)

   Berat air = $W_1 - W_2$

3. Menghitung tanah kering (gr)

   Berat tanah kering = $W_2 - W_c$

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

   Berat volume = W/V

   Keterangan :

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

   W_m = berat *mold* (gr)

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

   V = volume *mold* (cm^3)

5. Menghitung densitas kering (gr/cm^3)

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

2.12 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 inci^2 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:

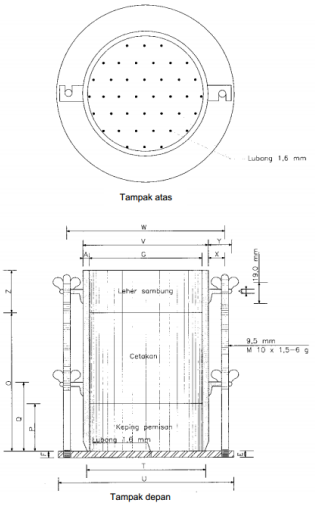
1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi *standard* besarnya 70,37 kg/cm^2 (1000 psi).
   Nilai CBR = (PI/70,37) x 100 % (PI, dalam kg / cm^2).
2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi *standard* yang besarnya 105,56 kg/cm^2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

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 Pemadatan 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/cm^3)

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

   Keterangan :

   V = volume *mold* (cm^3)

3. Menghitung densitas kering (gr/cm^3)

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

   Keterangan :

   w = kadar air, dinyatakan dalam decimal

4. Pengembangan

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

Keterangan:

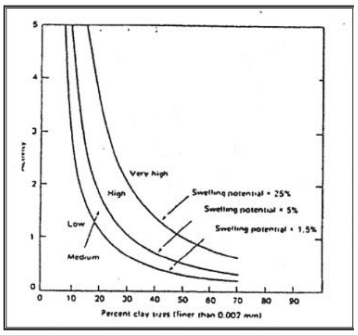
Δh = pengembangan (%)

h_0 = tinggi awal benda uji (mm)

h_1 = tinggi akhir benda uji setelah perendaman (mm)

Tabel 2. 12 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



Gambar 2. 13 Klasifikasi Potensi Pengembangan Tanah Lempung (Seed,1962)

2.13 Matos *Soil Stabilizer*

Matos *soil stabilizer* berupa bahan additive yang berbentuk serbuk putih halus. Komposisi matos terdiri dari logam dan garam mineral anorganik dan lain-lain, bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan. Matos memperlemah fungsi negatif humus dan menurunkan kadar humus sehingga kation kalsium (Ca++) pada semen dapat menempel langsung dipermukaan tanah. Matos membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah. Pada saat terjadi reaksi hidrasi semen, komponen Matos menyerap panas hidrasi dan mengkristal diantara campuran semen yang mengikat partikel tanah. Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum, akan bertambah

banyak dan membesar mengisi rongga-rongga. Penyerapan panas hidrasi dan terbentuknya kristal yang mengisi rongga akan mengurangi patensi keretakan yang sering timbul pada stabilisasi tanah.

2.14 *Bentonite*

Bentonite adalah istilah pada lempung yang mengandung monmorillonit dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok dioktohedral. Penamaan jenis lempung tergantung dari penemu atau peneliti, misal ahli geologi, mineralogi, mineral industri dan lain-lain. *Bentonite* dapat dibagi menjadi 2 golongan berdasarkan kandungan alumunium silikat hydrous, yaitu activated clay dan fuller's Earth. Activated clay adalah lempung yang kurang memiliki daya pemucat, tetapi daya pemucatnya dapat ditingkatkan melalui pengolahan tertentu. Sementara itu, fuller's earth digunakan di dalam fulling atau pembersih bahan wool dari lemak. (Tekmira). *Bentonite* berasal dari sebuah kota yaitu Ford Benton Wyoming di Amerika Serikat yang diabadikan sebagai nama lempung (clay mineral), karena lempung yang pertama kali pada daerah tersebut memiliki sifat yang berbeda dengan lempung yang ditemukan pada daerah dengan lempung yang ditemukan sebelumnya. 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 $(SiO4)2-$ yang terjalin dalam bidang tak hingga membentuk jaringan anion $(SiO3)2-$ dengan perbandingan Si/O sebesar 2/5. Rumus kimia umum *Bentonite* adalah $Al2O3.4SiO2.H2O$. 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 industry 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.

2.14.1 Jenis – Jenis *Bentonite* Berdasarkan tipenya

Berdasarkan tipe-tipe nya *bentonite* dapat dibagi menjadi:

1. Tipe Wyoming (Na-bentonit – Swelling *Bentonite*)

Na *bentonite* memiliki daya mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam keadaan kering berwarna putih atau cream, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Perbandingan soda dan kapur tinggi, suspensi koloidal mempunyai pH: 8,5-9,8, tidak dapat diaktifkan, posisi pertukaran diduduki oleh ion-ion sodium (Na+).

2. Mg, (Ca-bentonit – non swelling *Bentonite*)

Tipe *bentonite* ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi di dalam air, tetapi secara alami atau setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Perbandingan kandungan Na dan Ca rendah, suspense koloidal memiliki pH: 4-7. Posisi pertukaran ion lebih banyak diduduki oleh ionion kalsium dan magnesium. Dalam keadaan kering bersifat rapid slaking, berwarna abu-abu, biru, kuning, merah dan coklat. Penggunaan bentonit dalam proses pemurnian minyak goreng perlu aktivasi terlebih dahulu. Sedangkan menurut (Megawati ,2008) bentonit dibagi dua yaitu:

a. Natrium *Bentonite*

Bentonite jenis ini disebut juga bentonit type Wyoming atau drilling *Bentonite* mengandung ion Na+ relative lebih banyak jika dibandingkan dengan ion Ca2+ dan ion Mg2 + . Natrium *Bentonite* mempunyai sifat mengembang apabila dicelupkan ke dalam air hingga delapan kali lipat dari volume semula, sehingga keadaan suspense 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.

b. Kalsium *Bentonite*

Bentonite jenis ini disebut Mg, Ca-*Bentonite*. Jenis ini mengandung kalsium (K2O) dan magnesium (MgO) lebih banyak dibandingkan natriumnya dan mempunyai sifat sedikit menyerap air sehingga apabila didipersikan 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 *bentonite* diperlihatkan dibawah ini.

Tabel 2. 13 Komposisi Kimia *Bentonite*

Senyawa	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO2	61,3-61,4	62,12
Al2O3	19,8	17,33
Fe2O3	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na2O	2,2	0,50
K2O	0,4	0,55
H2O	7,2	7,22

(Sumber : Puslitbang Tekmira, 2005)

2.15 *Fly ash*

Berdasarkan SNI 03-6414 (2002) mendefinisikan *fly ash* atau abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat *pozzolanic*. Sifat p*ozzolanic* yang dimaksud karena *fly ash* mengandung bahan pozzolan yaitu kimia silika (SiO2), alumina (Al2O3), ferrum (Fe2O3), dan kalsium oksida (CaO).

Menurut ASTM C-618 *fly ash* terbagi menjadi dua kelas, yaitu :

1. *Fly ash* kelas F yang dihasilkan dari pembakaran batu bara *anthracite* dan *bituminous*, dengan kadar kapur yg rendah (CaO < 10%). Memiliki sifat pozzolan dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* perlu diberi penambahan kapur atau semen.
2. *Fly ash* kelas C yang dihasilkan dari pembakaran batu bara *lignite* atau *subbituminous*, dengan kandungan kapur (CaO > 10%). Selain memiliki sifat pozzolan juga memiliki sifat *self cementing* yaitu kemampuan untuk mengeras apabila bereaksi dengan air.

Stabilisasi tanah secara kimia yang saat ini banyak digunakan untuk memperbaiki tanah dasar (*subgrade*) yaitu stabilisasi dengan penambahan *fly ash.* Jika *fly ash* dicampur dengan tanah akan terjadi proses lekatan sementasi (*self cementing*) akibat pengaruh *pozzolan* atau sifat pengerasan alami *fly ash* karena kondisi pemadatan dan air. Kecepatan reaksi *pozzolan* tidak hanya bergantung pada waktu tetapi juga dipengaruhi oleh bahan-bahan yang bereaksi dan juga temperaturnya. Hasil campuran tanah, *fly ash*, dan air ini menghasilkan tanah yang memiliki sifat atau karakteristik teknis yang lebih baik dibandingkan sebelumnya (Brooks, 2009). Keunggulan penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi karena nilai ekonomis yang tinggi dibanding bahan lainnya.

2.16 Stabilisasi Tanah

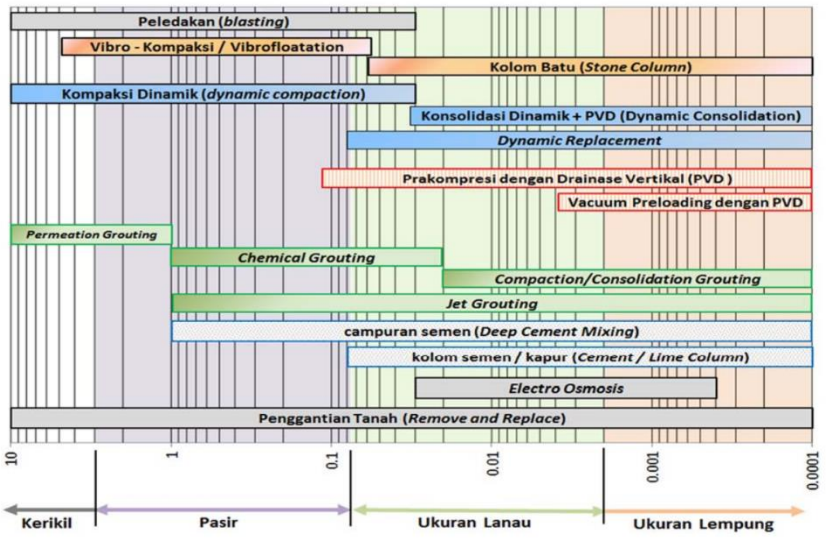
Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Adapun sifat

tanah yang telah diperbaiki tersebut dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Menurut *Bowles*, 1991 berberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut:

a. Meningkatkan kerapatan tanah.
b. Menambah material yang tidak aktif senhingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
c. Menambah bahan yang menyebabkan perubahan kimiawi dan fisis tanah
d. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
e. Mengganti tanah yang buruk.

Adapun kriteria penentuan jenis perbaikan tanah menurut SNI-8460:2017 dimana perbaikan tanah yang tepat untuk bangunan atau infrastruktur yang akan didirikan dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Teknik Perbaikan Tanah

(Sumber : SNI 8460-2017 Geoteknik)

Setelah jenis perbaikan tanah dipilih, maka perlu dilakukan area percobaan (*trial area*) untuk melakukan uji coba sistem perbaikan tanah tersebut.

Dalam menstabilitaskan tanah, ada beberapa metode yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:

1) Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis yaitu stabilisasi yang dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang gradasinya berbeda untuk memperoleh material yang lebih baik yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan menggali dan membuang tanah dilokasi yang buruk dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain yang memenuhi syarat kekuatan.

2) Stabilisasi Kimiawi

Cara ini digunakan dengan menambahkan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Biasanya digunakan pada tanah yang berbutir halus. Bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah disebut *stabilizing agent*.

3) Stabilisasi Menggunakan 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 Socciety* (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 perkerjaan 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 Polyethyline* (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 sintetis yang ditempatkan di antara dua bahan sintetis lain biasanya digunakan pada konstruksi drain.

4) Stabilisasi Tanah 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.

Perbaikan tanah secara hidrolis dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Pra Pembebanan *(preloading)*

Pra pembebanan *(preloading)* merupakan suatu metode perbaikan tanah dengan cara memampatkan timbunan pada lokasi yang akan distabilisasi dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur (beban permanen) dimasa yang akan datang. Akibat adanya beban timbunan tersebut. Akibat adanya beban timbunan tersebut maka lapisan tanah dibawahnya akan tertekan sehingga air yang berada di dalam pori-pori tanah akan diperas keluar (terkonsolidasi) lebih cepat. Apabila konsolidasi yang diinginkan telah tercapai sebagian atau timbunan *preloading* dapat dibuang.

b. Drainase vertikal *(vertical drain)* dikombinasikan dengan *preloading.*

- Drainase vertikal dari kolom pasir ; pada tahun 1925, Daniel E.Moran (USA) memperkenalkan pemakaian drainase vertikal dari kolom-kolom pasir untuk mempercepat proses konsolidasi tanah pada

kedalaman yang besar. Tipe drainase vertikal ini selanjutnya dikenal dengan *sand drain*.

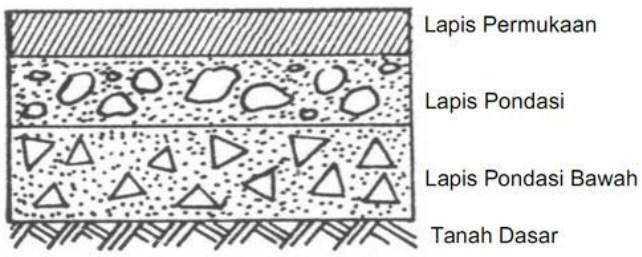
- Drainase vertikal dengan bahan sistetis (Wick darin) ; pada tahun 1936, Kjellman (Swedia) memperkenalkan sistem vertikal drain dengan bahan sistetis. Bahan sistetis yang dipilih karena dibandingkan dengan bahan lain, bahan ini lebih cepat mengalirkan air *(drain)* dari dalam tanah lunak menuju permukaan tanah sehingga proses konsolidasi berlangsung lebih singkat. Perbaikan tanah secara hidrolis lebih efektif dengan mengkombinasikan antara *preloading* dengan v*ertical drain.*

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan-tambah *(additive)* ke dalam tanah. Dalam perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan pembentuk perkerasan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapisan perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan berlebihan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya dan mencegah deformasi permanen yang berlebuhan akibat memadatnya material penyusun.

2.17 Konstuksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkersan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraaan 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 pengelolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003).

Menurut AASHTO dan Bina Marga Konstuksi jalan terdiri atas :



Gambar 2.15 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 terletah 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 menyebarakan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.

Berdasarkan Direktorat Jurnal Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Revisi 2). Ada beberapa syarat dalam lapisan fondasi agregat yang dapat dilihat pada tanel berikut :

Tabel 2. 14 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 nomor 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	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indeks Plastisitas dengan % Lolos Ayakan nomor 200	Maks. 25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mdah 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 Aykan nomor 200 dan nomor 40	Maks. 2/3	Maks. 2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	>3,5

(Sumber : Direktorat Jurnal Bina Marga Spesifikasi Umum 2018.Revisi 2018)

2.18 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 dengan tambahan *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 persentase mengembang menunjukkan apabila kadar air tanah semakin besar maka persentase mengembang semakin kecil.