

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Penelitian yang dilakukan penulis ini merupakan penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh penulis lain. Namun meski demikian, penulis berkeyakinan bahwa setiap hari penelitian memiliki unsur masalah penelitian yang berbeda-beda yang dapat diangkat menjadi penelitian baru yang dapat dipakai sebagai ilmu dan solusi baru untuk memecahkan masalah yang ada selama ini pada kapasitas dukungan dan sifat tanah.

2.2 Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material 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,1995).

Sifat-sifat fisik tanah tergantung pada ukuran, bentuk dan komposisi kimia butiran. Menurut Bowles (1984) tanah dimaksudkan sebagai campuran dari partikel yang terdiri dari salah satu atau berbagai jenis partikel berikut :

- a. Berangkal (boulders), potongan batuan yang besar biasanya diambil lebih dari 250 sampai 300 mm. Untuk ukuran 150 sampai 250 mm fragmen batuan ini disebut krolol atau pebbles.
- b. Kerikil (gravel), Partikel batuan yang berukuran 5 sampai 10 mm.
- c. Pasir (sand), Partikel batuan yang berukuran 0,075 sampai 5 mm, berkisar dari kasar (5 sampai 3 mm) sampai halus (<1 mm).
- d. Lanau (silt), partikel batuan berukuran 0,002 sampai 0,074 mm.
- e. Lempung (clay), partikel mineral yang berukuran lebih kecil 0,002 mm. partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi bagi tanah kohesif.
- f. Koloid (coloids), partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2.2.1 Tanah Lempung

Menurut Bowles (1991) dan septiyani (2016), tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif. Namun menurut Chen (1975) dalam Aziz & Safitri (2015), bahwa suatu mineral lempung tidak dapat dibedakan melalui ukuran partikel saja, ssebagai contoh partikel *quartz* dan *feldspar* meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil namun tidak bisa disebut tanah lempung karena umumnya partikel-partikel tersebut tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis pada tanah. Perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh kelompok mineral yang mendominasi tanah tersebut.

Menurut Das (1995) mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu silica tetrahedral atau aluminium oktahedra. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan struktur dasar atau lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.

Menurut Wesley (1977) dalam Sutrisno (2013), tanah lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil yang ukurannya kurang dari 0,002 mm serta menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk *Disturbednya*, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

Sifat tanah lempung *Disturbed* yang mudah diamati menurut Terzaghi (1987) dalam Khoiriyah (2015) adalah jika tanah lempung dalam keadaan kering maka akan sangat keras dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan, selain itu permeabilitas tanah lempung juga sangat rendah. Sedangkan menurut Hardiyatmo (1992) dalam Herman (2016), sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat.

2.2.2 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif (*expansive soil*) adalah tanah lempung yang lunak dan mudah tertekan sehingga sering menjadi masalah dalam pelaksanaan konstruksi. Selain itu, tanah ini mempunyai sifat-sifat yang kurang baik, seperti plastisitas tinggi sehingga sulit dipadatkan, dan permeabilitas rendah sehingga air susah keluar dari tanah. Sifat-sifat tersebut menyebabkan tanah ekspansif memiliki kembang susut yang besar.

Proses pengembangan (*swelling*) terjadi karena kandungan air yang tinggi, sehingga tanah yang jenuh air ini akan mengembang dan tegangan efektif tanah akan mengecil seiring dengan peningkatan tegangan air pori. Begitu juga sebaliknya saat terjadi proses susut (*shrinkage*) pada tanah. Tanah yang kehilangan air secara tiba-tiba akan mengalami penyusutan volume pori akibat kehilangan air. Hal ini akan menyebabkan tanah mengalami kembang susut yang besar. Untuk memperbaiki sifat tanah ekspansif tersebut, tanah ekspansif umumnya distabilisasi dengan bahan-bahan yang sesuai dengan sifat tanah lempung sehingga menjadi lebih baik dan memenuhi syarat sebagai bahan konstruksi.

Tanah lempung sebagian besar terdiri atas partikel mikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, dan mineral-mineral tanah berbutir halus atau butur-butir koloid dengan ukuran butiran partikel tanah $< 0,002$ mm. namun dalam beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung.

Karakteristik tanah ekspansif dipengaruhi oleh dua hal, yaitu faktor mikroskopik dan faktor makroskopik. Yang dimaksud faktor mikroskopik adalah faktor-faktor dalam tanah yang menyebabkan tanah ekspansif mengalami kembang susut, antara lain: mineralogi tanahnya, perilaku air dan jumlah exchangeable cation serta besarnya specific surface dari partikel tanah. Sedangkan yang dimaksud faktor makroskopik adalah properti tanah secara fisik, antara lain indeks plastisitas dan berat volume tanah.

Faktor-faktor makroskopik tanah ekspansif dipengaruhi oleh perilaku mikroskopiknya. Yang terjadi pada skala mikro akan mempengaruhi skala makro tanah ekspansif. Faktor makroskopik tanah ekspansif adalah faktor yang menunjukkan perilaku kembang susut tanah. Batas *Atterberg* merupakan salah satu

parameter yang termasuk karakteristik makroskopis tanah yang dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui potensi kembang susut tanah.

Dilihat dan skala makronya, karakteristik tanah ekspansif yang berpotensi besar untuk mengalami kembang susut, secara umum mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Mempunyai harga batas cair dan indek plastisitas yang tinggi.
- b. Mempunyai harga swelling indeks yang besar.
- c. Mempunyai kandungan organik.

2.2.3 Karakteristik Tanah Lempung

Karakteristik pada tanah lempung yaitu sebagai berikut :

- a. Hubungan antar plastisitas dengan dehidrasi

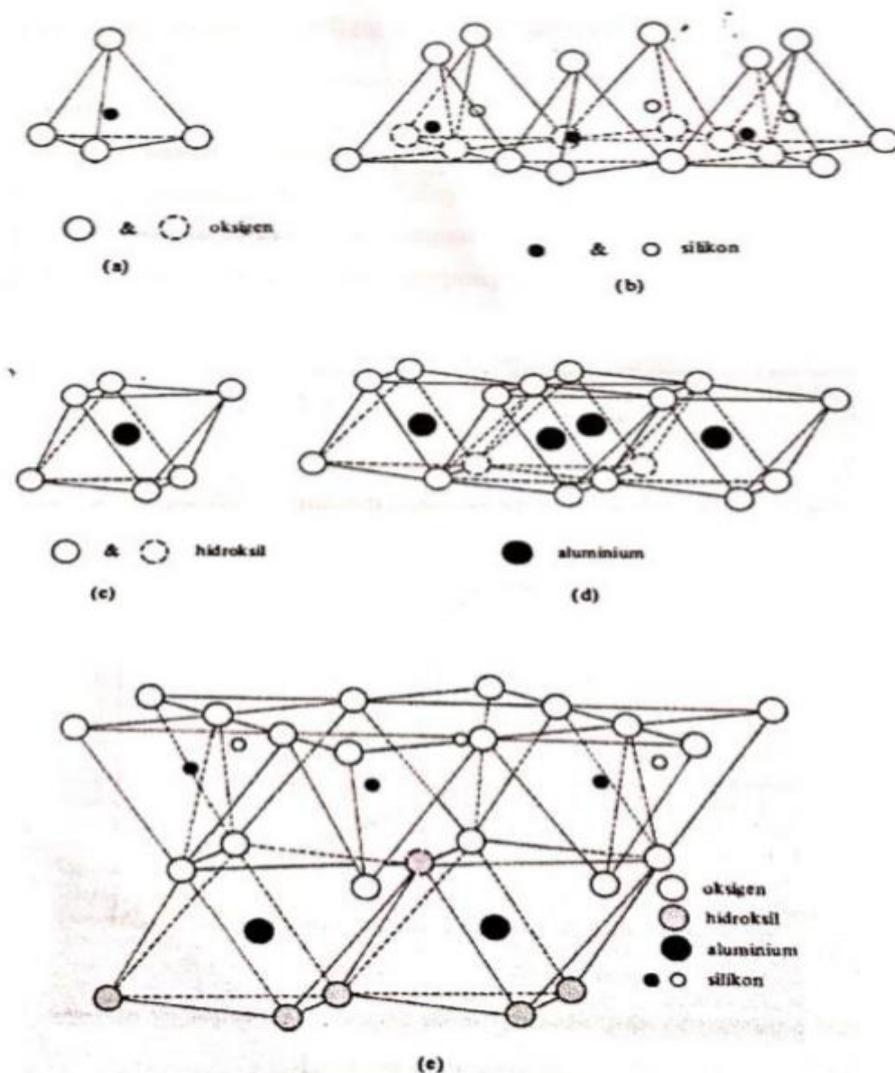
Partikel lempung hampir selalu terhidrasi, yaitu dikelilingi lapisanlapisan air teradsorpsi. Lapisan ini umumnya mempunyai tebal 2 molekul dan disebut lapisan difusi, daya ikatnya terhadap air kuat sehingga berperilaku lebih padat dari pada benda cair (Bowles, 1989). Apabila lapisan difusi ini mengalami dehidrasi pada temperatur yang rendah dibawah temperatur matahari, pada umumnya plastisitasnya dapat dikembalikan lagi dengan penambahan air secukupnya. Namun jika dehidrasi terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur sinar matahari, maka sifat plastisitasnya akan berkurang dari plastisitas semula secara permanen.

- b. Hubungan antara plastisitas dan fraksi lempung Ketebalan air mengelilingi butiran lempung tergantung dari macam mineralnya, jadi plastisitas lempung tergantung dari sifat mineral lempung yang ada pada butirannya dan jumlah mineralnya (Hardiyatmo, 1992).

2.2.4 Mineral Lempung

Mineral lempung tersusun oleh alumunium silicat hidrat. Bentuk dasarnya berupa tetrahedral silika oksigen (satu atom silika mengikat empat atom oksigen) dan oktahedral alumunium hidrat (satu aton alumunium mengikat enam ion hidrat). Bentuk-bentuk dasar berikatan satu sama lain membentuk lembaran (sheet). Karakteristik lempung yang terjadi ditentukan oleh susunan dan komposisi tetrahedral silika dan oktahedral alumina.

Berdasarkan susunan bentuk dasarnya dibedakan tiga jenis lempung yaitu : kelompok kaolinite, kelompok montmorillonite, dan kelompok illite. Tanah lempung kelompok montmorillonite sangat sensitif terhadap air. Permukaan lapisan sheet yang bermuatan negatif membutuhkan ion positif (kation) untuk menetralkannya. Kenaikan volume akibat peristiwa swelling bergantung pada ukuran ion terhidrasi, kadar air dan jenis lempung. Semakin besar ion penetral, semakin besar pula kenaikan volume lempung. Montmorillonite merupakan kelompok lempung yang paling mudah swelling, sedangkan kaolinite yang paling sulit.



Gambar 2. 1 (a) Silika tetrahedral; (b) lembaran silika; (c) aluminium oktahedral; (d) lembaran oktahedral (gibbsite); (e) lembaran elemen silikagibbsite

2.2.5 Sifat Mineral Lempung

a. Hidrasi

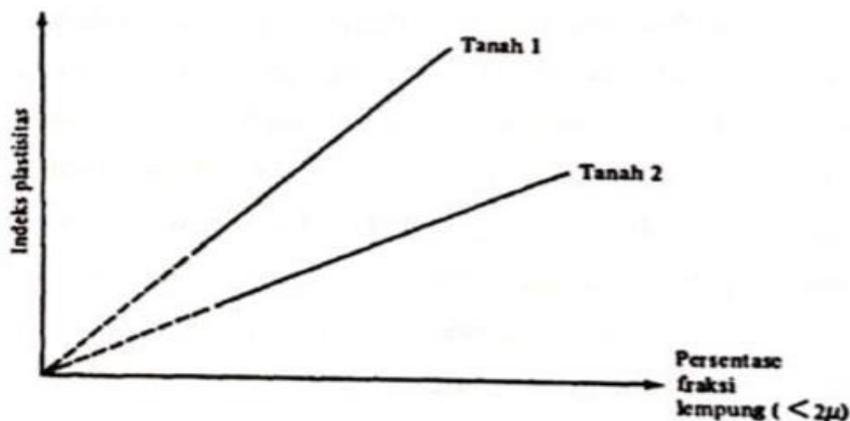
Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang mengembun (adsorbed water). Lapisan air dapat menghilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60°C sampai 100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah (antara 6% sampai 10%). Sebagian air ini juga dapat menghilang dengan pengeringan udara saja.

b. Aktivitas

Tepi-tepi mineral lempung mempunyai daya netto negatif. Ini mengakibatkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan daya ini dengan tarikan kation. Tarikan ini akan proporsional dengan kekurangan daya netto dan dapat dihubungkan dengan aktivitas dan lempung tersebut. Aktivitas ini dapat didefinisikan sebagai :

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{indeks plastisitas}}{\text{persentase lempung}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana persentase lempung diambil sebagai fraksi tanah < 2µm.



Gambar 2. 2 Hubungan antara indeks plastisitas dengan persentase berat fraksi berukuran lempung

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Harga dari aktivitas untuk berbagai mineral lempung diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

Mineral	Aktivitas (A)
Smectites	1-7
Illite	0,5-1
Kaolinite	0,5
Halloysite ($2H_2O$)	0,5
Halloysite ($4H_2O$)	0,1
Attapulgit	0,5-1,2
Allophane	0,5-1,2

c. Flokulasi dan Penyebaran

Mineral tanah hampir selalu menghasilkan larutan tanah air yang bersifat alkalin ($pH > 7$) sebagai akibat dari gaya negatif netto yang bekerja pada satuan mineral. Beberapa pengecualian mungkin terjadi apabila mineral itu terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (amorphous). Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flokulasi yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dan larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sedimen yang sangat lepas. Untuk menghindarkan flokulasi, larutan tanah air yang terpisah-pisah ini dapat dinetralisasikan dengan menambahkan ion-ion H^+ yang dapat diperoleh dan bahan-bahan yang mengandung asam. Bahan yang paling biasa digunakan dilaboratorium adalah sodium heksametafosfat.

d. Pengaruh Air

Fase air didalam tanah lempung tidaklah berupa air yang murni secara kimiawi. Air ini berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dan lempung. Fenomena utama dari lempung adalah massanya yang telah mengering dari suatu kadar air awal mempunyai kekuatan yang cukup besar. Apabila bongkahan ini dipecah-pecah menjadi partikel-partikel kecil, material akan bersifat sebagai material yang tidak kohesif. Apabila air ditambahkan kembali, material akan menjadi plastis dengan kekuatan kurang dan kekuatan bongkah yang kering. Apabila lempung basah mengering kembali, akan terbentuk lagi bongkah yang keras dan kuat.

2.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah ilmu yang mempelajari cara-cara membedakan sifat-sifat tanah satu sama lain, dan mengelompokkan tanah kedalam kelas-kelas tertentu berdasarkan atas kesamaan sifat yang dimiliki (Hardjowigeno,2003). Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu tempat kepada tempat yang lainnya dalam bentuk data dasar, seperti karakteristik pemmادatan, kekuatan tanah, berat isis, dan sebagainya (Bowles,1989 dalam Adha 2014).

Menurut Braja M. Das (1995) Sistem klasifikasi tanah adalah suatu 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 terperinci.

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

Tabel 2. 2 Batasan – Batasan Ukuran Golongan Tanah

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

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

Dalam ilmu mekanika tanah terdapat sistem klasifikasi yang umum dikelompokkan, sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, sistem-sistem tersebut adalah:

2.3.1 Sistem klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)

Sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Cclassification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (*American Society for Testing and Materials* (ASTM) Standar No.D-3282, AASHTO model M105).

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

1. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, lempung. Kerikil adalah bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 dan tertahan pada saringan No.10 (2 mm). Pasir adalah bagian tanah yang lolos saringan No.10 (2 mm) dan yang tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm). Lanau dan lempung adalah bagian yang lolos saringan No.200 (0,075 mm).
2. Plastisitas merupakan kemampuan tanah menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan tanpa retak-retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Tingkat keplastisitas suatu tanah umumnya ditunjukkan dari nilai indeks plastisitas, yaitu selisih nilai batas cair dan batas plastis suatu tanah. Nama berlanau digunakan apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung digunakan apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.
3. Apabila batuan ukuran lebih besar dari 75 mm ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dicatat. Pengujian yang dijadikan patokan untuk mengklasifikasi adalah sama dengan sistem klasifikasi tanah *Unified* yaitu analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Dan untuk

mengevaluasi pengelompokan lebih lanjut digunakan indeks kelompok grup GI, dengan persamaan :

$$GI = F - 35[0,2 + 0,005LL - 40] + 0,01F - 15PI - 1$$

Keterangan :

GI = indeks kelompok group indeks

F = persen butiran lolos saringan No.200 (0,0075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila indeks kelompok GI semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya. Tanah granular diklasifikasikan kedalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granular bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung lanau.

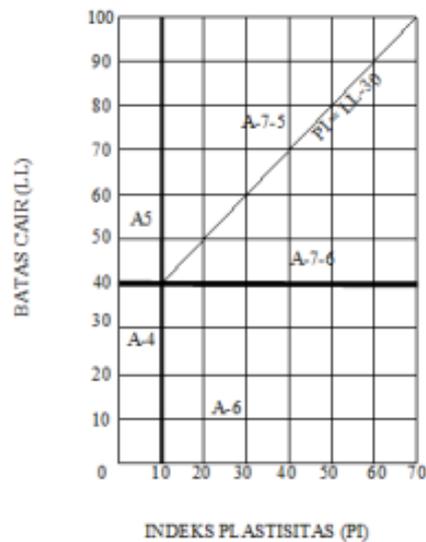
Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Klasifikasi kelompok				
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Min 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

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

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

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



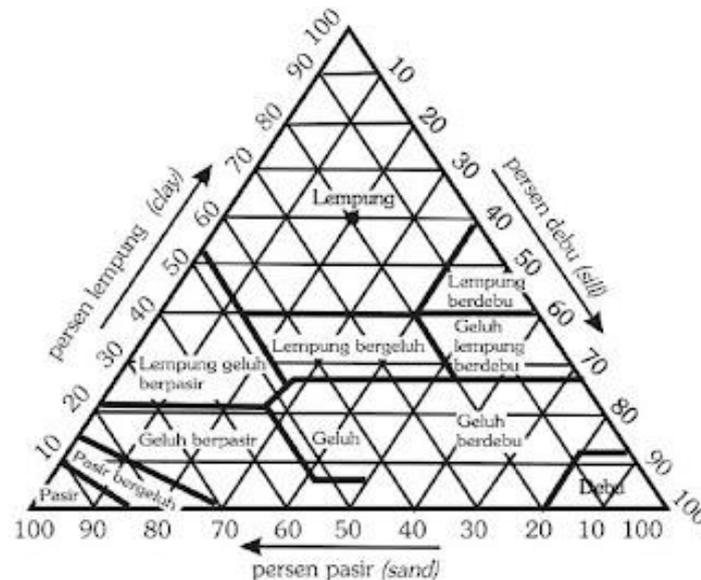
Gambar 2.3 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

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

2.3.2 Sistem klasifikasi United States Department of Agriculture (USDA)

United States Department of Agriculture (USDA) merupakan sebuah lembaga atau departemen pertanian Amerika Serikat yang mengklasifikasi tanah atau yang biasa dikenal dengan *soil taxonomy*.

Pada umumnya, tanah *Disturbed* merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam system 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. 4 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

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

2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah Unified Soil Classification System (USCS)

Unified Soil Classification System (USCS) dikembangkan oleh Casagrande selama perang dunia ke 2, pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh ASTM sebagai metode klasifikasi tanah (ASTM D-2487). USCS mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), kurang dari 50% lolos saringan No.200, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Symbol kelompok ini dimulai dari huruf G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan S untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), lebih dari 50% lolos saringan No.200, yaitu tanah berlanau dan berlempung. Symbol dari kelompok ini dimulai dari huruf awal M untuk lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau dan lempung organik. Symbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.
3. Tanah organik (gambut/humus), secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar $>25\%$.

Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah W – untuk gradasi baik (*Well graded*), P – gradasi buruk (*poorly graded*), L – plastisitas rendah (*low plasticity*), dan H – plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam klasifikasi USCS sebagai berikut:

1. Persentase lolos saringan No.200 dan lolos saringan No.4.
2. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c).
3. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).

Adapun menurut Bowles (1991) dalam Septiyani (2016), kelompok-kelompok tanah utama pada system klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) diperlihatkan Tabel 2. berikut ini :

Tabel 2. 4 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Umumnya
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50 % butiran tertahan pada ayakan No.200*	Pasir Lebih dari 50 % fraksi kasar lolos ayakan No.4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
		GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Kerikil 50 % Atau lebih dari fraksi kasar Tertahan pada ayakan No.4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, camp. pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, camp.pasir-lempung
	Tanah Berbutir Halus 50 % atau lebih lolos ayakan No.200	Lanau dan lempung Batas Cair 50 % atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL Lempung anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
OL Lanau-anorganik dan lempung berlanau organic dengan plastisitas rendah			
Lanau dan Lempung Batas Cair lebih dari 50 %		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomic atau lanau diatomic, lanau yang elastic	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH Lempung organic dengan plastisitas sedang s/d tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organic sangat tinggi		PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organic tinggi	

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

Tabel 2. 5 Sistem Klasifikasi USCS (Lanjutan)

	Kriteria klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	
<p> Bagan Plastisitas Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda Persamaan garis A $PI = 0,73(LL - 20)$ </p>		
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488		

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

Keterangan :

G = Untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil (*Gravelly Soil*)

S = Untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir (*Sand Soil*)

M = Untuk lanau anorganik (*inorganic silt*)

C = Untuk lempung anorganik (*inorganic clay*)

O = Untuk lanau dan lempung organik (*organic*)

Pt = Untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik

W = Untuk gradasi baik (*well graded*)

P = Untuk gradasi buruk (*poorly graded*)

L = Plastisitas rendah (*low plasticity*)

H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*)

LL = Batas cair (*Liquid Limit*)

2.4 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:

2.4.1 Kadar Air Tanah (w)

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 (%). Metode pengeringan atau metode oven biasa merupakan suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Prinsip dari metode oven pengering adalah bahwa air yang terkandung dalam suatu bahan akan menguap bila bahan tersebut dipanaskan pada suhu 105°C selama waktu tertentu.

Kadar air dapat mempengaruhi penurunan tanah lempung selain diakibatkan oleh tekanan. Sebuah pondasi yang berdiri pada tanah lempung yang dekat permukaan tanah dapat mengalami penurunan akibat tanah yang mengering pada musim panas dan mengembang dan naik pada musim hujan yang disebabkan kadar air yang bertambah. Oleh karena itu, untuk menghindari kondisi tersebut harus diketahui kedalaman fondasi yang cukup (Hardiyatmo, 1996:199).

Analisa kadar air tanah dilakukan sebanyak dua kali percobaan. Secara matematis kadar air tanah dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (w)} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat tana kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

2.4.2 Berat Volume

Pemeriksaan berat volume tanah bertujuan untuk mengetahui berat volume dari suatu sampel tanah sehingga tanah dapat diklasifikasikan sesuai dengan standar yang sudah ditentukan. Dalam ilmu mekanikan tanah, biasanya tanah disederhanakan menjadi model untuk memahami perilakunya. Tanah terdiri dari butiran padat dan rongga pori (void). Rongga pori sendiri dapat berupa air atau udara atau kedua-duanya, apabila tanah dalam kondisi jenuh air rongga pori akan terisi sepenuhnya oleh air. Berat volume tanah secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Berat Volume } (\gamma) = \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume}} \dots\dots\dots(2.2)$$

2.4.3 Berat Jenis Tanah (Gs)

Berat jenis (Specific gravity) Gs 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 :

$$\text{Berat Jenis Tanah (Gs)} = \frac{\text{Berat volume satuan mineral}}{\text{Berat volume satuan air pada } 4^\circ} \dots\dots\dots (2.3)$$

Berta jenis (*Spesific Gravity*/Gs) atau berat spesifik adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berta volume air (γ_w). Berat jenis (*Spesific Gravity*/Gs) tidak memiliki dimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 – 2,75. Berat jenis Gs = 2,67 biasanya digunakan untuk tanah-tanah kohesif yang tidak mengandung bahan organik Gs berkisar di antara 2,58 – 2,65.

Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.:

Tabel 2. 6 Nilai berat jenis

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

(sumber: *Hardiyatmo, 2006*)

2.5 Batas Atterberg

Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*) adalah suatu metode untuk menjelaskan konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Menurut kadar airnya, tanah lempung dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi tergantung pada gaya tarik antar partikel mineral lempungnya. Bila tanah dalam keadaan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikelnya bebas untuk relative menggelincir antara satu dengan yang lainnya, dengan kohesi antaranya tetap terpelihara. Pengurangan kadar air juga menghasilkan pengurangan volume tanah.

Berdasarkan standar ASTM D 4318-95a, suatu sampel yang berbutir halus (lempung atau lanau) yang dicampur dengan air hingga mencapai keadaan cair dari

Nilai batas cair dapat dikelompokkan seperti Tabel 2.7 Berikut (Krebs, 1971)

Tabel 2. 7 Nilai Batas Cair Tanah

Kategori	Prosentase (%)
Low Liquid Limit	20 - 25
Intermediate Limit	25 - 50
High Limit	50 - 70
Very Limit	70 - 80
Extra High	> 90

(sumber:Kerbs, 1971)

- b. Batas plastis (*Plastic Limit* = PL), pemeriksaan batas plastis ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada batas bawah daerahnya, dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 in (3,2 mm) menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah tingkat keplastisan suatu tanah.
- c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks* = PI), 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 itu mempunyai interval indeks plastisitas yang pendek, maka kondisi ini disebut tanah kurus. Sedangkan apabila interval indeks plastisitasnya panjang maka kondisi ini disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan oleh *Atterberg* dalam Tabel 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2. 8 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
<7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 -17	Plastisitas Sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

- d. Batas susut (*Shrinkage Limit* = SL), pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mencari kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Harus diketahui apabila batas susut ini semakin kecil, maka tanah akan semakin mudah mengalami perubahan volume yaitu semakin kecil SL maka semakin sedikit air yang dibutuhkan untuk

mengubah volume (Joseph E. Bowles, 1986). Batas susut dinyatakan dalam persamaan 2. Sebagai berikut :

$$SL = w - \left[\frac{V_1 - V_2}{W_1} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

w = kadar air (%)

W₁ = berat tanah kering oven (gr)

V₁ = volume tanah basah (cm³)

V₂ = volume tanah kering oven (cm³)

Menurut Chen (1975) kriteria tanah ekspansif berdasarkan nilai IP (%) ditunjukkan pada tabel 2.8

Tabel 2. 9 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Nilai IP (%)

IP (%)	Potensi Mengembang (%)
0 – 5	Rendah
10 – 35	Sedang
20 – 55	Tinggi
> 35	Sangat Tinggi

(Sumber: Chen, 1975)

2.6 Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah dilakukan bertujuan untuk meningkatkan kepadatan, kuat geser tanah, dan/atau ketahanan likuifikasi serta untuk mengurangi kompresibilitas, permeabilitas, dan Penurunan tanah.

Untuk menentukan jenis dan sistem perbaikan tanah yang cocok untuk diterapkan pada suatu lokasi perlu dilakukan penyelidikan geoteknik pendahuluan yang meliputi penyelidikan tanah di lapangan dan pemeriksaan tanah di laboratorium. Jumlah titik penyelidikan tanah yang direkomendasikan untuk pekerjaan perbaikan tanah adalah setiap area seluas 100 m x 100 m, minimal dilakukan satu titik uji SPT dan satu titik uji sondir, diikuti dengan pengambilan contoh tanah tak terganggu. Kedalaman uji harus mencapai kedalaman dimana tingkat tegangan yang bekerja akibat beban masih dipandang cukup menentukan.

Berikut tabel untuk jenis pengujian pendahuluan yang akan dilakukan pada uji lapangan dan juga uji laboratorium untuk pekerjaan perbaikan tanah.

Tabel 2. 10 Uji Lapangan Pendahuluan Untuk Pekerjaan Perbaikan Tanah

No	Jenis Uji	Standar Uji	Keterangan
1	Pengambilan dan pencatatan (logging) jenis tanah	SNI 03-4148-1996 (EN ISO 22475-1)	Setelah selesai pengeboran lubang bor harus ditutupi/diisi kembali dengan mortar semen)
2	Penetrasi standar atau uji SPT (Standard Penetration Test, SPT)	SNI 4153-2008	Dilakukan setiap interval 2 m
3	Sondir atau uji CPT (Cone Penetration Test)	SNI 2827-2008	-
4	Geser baling (Vane Shear Test, VST)	SNI 03-2487-1991 (ASTM D2573/D2573M-15)	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
5	Sondir elektrik dengan pengukuran tegangan air pori (CPTu)	SNI 2827-2008	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
6	Pressuremeter Test (PMT)	EN ISO 22476	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
7	Dilatometer Ters (DMT)	ASTM D6635-15	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
8	Seismic Refraction Test	ASTM D4428/D4428M	Uji tambahan untuk areal yang luas
9	Geolistrik	SNI 2528-2012	Uji tambahan untuk areal yang luas

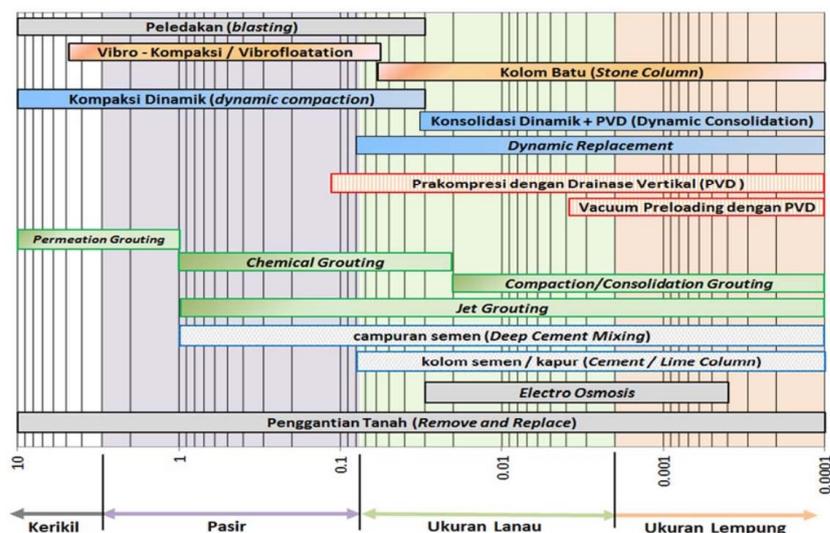
(Sumber : SNI 8460-2017 Geoteknik)

Tabel 2. 11 Uji Laboratorium Untuk Pekerjaan Perbaikan Tanah

No	Jenis Uji	Standar Uji	Keterangan
1	Sifat indeks tanah	SNI 1966:2008 SNI 1967:2008 SNI 1976:2008 SNI 3422:2008 SNI 3423:2008	-
2	Triaksial UU dan/atau triaksial CU dan/atau triaksial CD	SNI 4813:2015 SNI 2455:2015	Untuk tanah lempung lunak
3	Geser langsung	SNI 2813:2008	untuk tanah pasiran
4	Konsolidasi	SNI 2812:2012	-

(Sumber : SNI 8460-2017 Geoteknik)

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pendahuluan yang dijelaskan maka secara garis besar jenis perbaikan tanah tepat untuk bangunan atau infrastruktur yang akan didirikan dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Teknik Perbaikan Tanah

(Sumber : SNI 8460-2017 Geoteknik)

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

2.7 Stabilitas Tanah

Tanah dasar merupakan bagian penting dari pekerjaan konstruksi karena tanah ini mendukung seluruh konstruksi yang berada di atasnya. Pembangunan konstruksi tidak selalu berada diatas tanah dasar yang relatif baik, ada kemungkinan berada diatas tanah yang kurang baik. Akibatnya tanah tersebut tidak dapat digunakan sebagai lapisan dasar. Metode stabilisasi tanah (Soil Stabilization) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan mutu tanah dasar sebelum digunakan. Dengan stabilisasi tanah berarti mencampur tanah dengan suatu bahan tertentu yang berguna untuk mengubah atau memperbaiki mutu tanah asal, sehingga diharapkan akan diperoleh sifat-sifat tanah yang lebih baik sesuai dengan yang dikehendaki perencana.

Dengan pengertian lain stabilisasi tanah adalah usaha memodifikasi sifat dan kelakuan tanah *Disturbed* dengan menambahkan atau melakukan sesuatu terhadap tanah *Disturbed*, sehingga terbentuk sifat dan kelakuan tanah yang lebih baik dan memenuhi syarat. Menurut Bowles (1991) dalam Jatmiko (2014), beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.

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

Secara umum ada empat karakteristik utama tanah atau sifat tanah yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan masalah stabilisasi tanah. Menurut Ingles dan Metcalf dalam Susanto (2006), yaitu :

a. Stabilisasi Volume

Perubahan volume tanah berkaitan sangat erat dengan kadar airnya. Banyak jenis tanah lempung yang mengalami kembang susut (*shrink and swell*) karena kepekaan terhadap perubahan kadar airnya. Perubahan kadar air ini biasanya terjadi sejalan dengan perubahan musim di wilayah tersebut.

b. Kekuatan

Beban eksternal yang terjadi umumnya adalah berhubungan dengan perubahan volume (deformasi) karena adanya gaya internal yang diakibatkan oleh perubahan kadar air. Pada umumnya parameter yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah adalah dengan percobaan kuat geser dan daya dukung tanah. Hampir semua jenis stabilisasi berhasil mencapai tujuan ini, namun pada tanah organik hal ini sulit dicapai jadi lapis tanah organik sebaiknya tidak digunakan sebagai material yang harus distabilisasikan, melainkan disingkirkan untuk kemudian dipergunakan lagi sebagai humus ditempat lain.

c. Permeabilitas

Untuk tanah lempung permeabilitas yang terjadi disebabkan system *micropore* (system pori-pori mikro) dan kapilaritasnya. Masalah utama akibat besarnya permeabilitas umumnya dikarenakan timbulnya tekanan air pori dan terjadinya aliran perembesan (*seepage flow*).

d. *Durabilitas*

Durabilitas disini adalah daya tanah bahan konstruksi terhadap cuaca, erosi, dan kondisi lalu lintas diatasnya. *Durabilitas* yang buruk dapat menimbulkan masalah baik pada tanah alami maupun tanah distabilitas. Pada tanah

distabilisasi, durabilitas yang buruk biasanya diakibatkan oleh pemilihan jenis stabilisasi yang salah, bahan yang tidak cocok atau karena masalah cuaca.

e. *California Bearing Ratio (CBR)*

California Bearing Ratio (CBR) yaitu suatu metode yang dikembangkan pertama kali oleh *California Division of Highway* (1929) yang digunakan untuk mengklasifikasi tanah yang sesuai untuk material lapis dasar tanah (*subgrade*) atau material *base course* pada konstruksi jalan raya. Pengujian CBR adalah harga yang menggambarkan suatu tanah pada kepadatan dan kadar air tertentu dibandingkan dengan kekuatan batu pecah bergradasi rapat sebagai standar material nilainya 100. Pengujian CBR berdasarkan standar ASTM D1883-87, dimana dilakukan pengujian terhadap dua kondisi yaitu kondisi *unsoaked* (sebelum perendaman) dan kondisi *soaked* (setelah perendaman).

Uji CBR sudah sangat dikenal pada kebanyakan proyek di Indonesia, baik pada proyek pembuatan jalan maupun proyek pengurungan. Bahkan dapat dikatakan bahwa uji CBR merupakan standar tes untuk mengetahui kekuatan tanah. Kekuatan tanah dasar seperti yang ada dilapangan, nilai CBR tergantung pada kondisi pada saat pelaksanaan dan selama operasi pelayanan berlangsung.

2.7.1 Prinsip-prinsip Dasar Stabilisasi Tanah

Ada tiga cara perbaikan tanah yang umum dilakukan untuk pekerjaan konstruksi (Kezdi Arpard, *Stabilized Earth Road*, 1979, hal.22)

- a. Cara Mekanis, yaitu perbaikan tanah yang dilakukan tanpa penambahan bahan-bahan lain. Perubahan sifat-sifat tanah dapat dicapai dengan :
 1. Mengurangi volume rongga (membuang udara) dari tanah dengan melakukan pemadatan.
 2. Kadar air yang harus dijaga dalam suatu batas yang konstan, misalnya dengan drainase.
 3. Perbaikan gradasi, yaitu dengan penambahan fraksi tanah yang masih kurang,
- b. Cara Fisik, yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi seperti :
 1. Hidrasi (proses hidrasi semen yang akan membentuk ikatan antar partikel tanah sehingga campuran semen dengan tanah akan mengeras).
 2. Penyerapan air (absorpsi) seperti yang terjadi pada stabilisasi dengan kapur.

3. Perubahan temperature (seperti pada stabilisasi dengan bitumen, dimana aspal harus dicairkan terlebih dahulu dengan jalan dipanaskan agar dapat tercampur.
 4. Evaporasi/ penguapan (yaitu dengan penguapan emulsi aspal untuk menguatkan tanah.
- c. Cara Kimiawi, yaitu dengan memanfaatkan reaksi-reaksi kimia yang terjadi yang akan mengakibatkan perubahan sifat-sifat tanah, seperti :
1. Pertukaran ion, yaitu dengan menukar reaksi ion antar butir-butir tanah.
 2. Presefikasi/pengendapan yaitu dengan mncampur dua macam campuran sehingga akan menghasilkan suatu campuran yang baru yang dapat menimbulkan pemadata pada tanah.
 3. Polimerisasi/ perubahan bentuk molekul, yaitu dalam kondisi tertentu beberapa zat sederhana dicampur, sehingga akan memebentuk zat baru yang memiliki molekul yang lebih besar dan menimbulkan pengaruh pada stabilisasi.

2.7.2 Metode Stablisasi Tanah

Pada konstruksi jalan raya, perbaikan tanah dasar merupakan stabilisasi tanah dangkal, hal ini memungkinkan digunakannya berbagai macam metode perbaikan, misalnya ditinjau dari segi teknik pencampuran. Metode perbaikan tanah yang lazim digunakan pada konstruksi jalan raya antara lain dapat dilakukan dengan (Suyono Sosrodarsono, 1984 hal.258) :

1. Metode pencampuran terpusat : yaitu tanah tersebut dicampur dengna bahan stabilisasi pada suatu tempat, kemudian baru diangkat ke tempat pekerjaan. Kemudian dilakukan pemadatan, untuk itu diperlukan mesin pencampur.
2. Metode pencampuran dalam galian : yaitu bahan stabilisasi dicampur dengan tanah pada lubang galian tanah, kemudian diangkut ke tempat pekerjaan. Bahan stabilisasi dapat dipancarkan ke dalam tanah dalam bentuk tiang kemudian digali bersama-sama dan dicampur, atau bahan stabilisasi itu ditaburkan di atas tanah sehingga pada penggalian terjadi pencampuran.
3. Metode pencampuran di tempat pekerjaan : yaitu tanah dihamparkan di tempat pekerjaan, kmudian ditaburi bahan stabilisasi dan dicampur, atau tanah yang akan distabilisasikan itu digaruk dan dicampur dengan bahan stabilisasi.

Selain dari teknik pencampurannya, metode lain yang juga perlu diperhatikan adalah dari macam campurannya, hal ini terutama pada stabilisasi dengan campuran arang kayu, dimana bahan campuran tersebut apakah mudah larut dalam air atau tidak. Macam bahan campuran tersebut dapat berupa :

- a. Larutan, dalam arti campuran tersebut dilarutkan dalam air, baru kemudian dicampur dengan tanah yang distabilisasi.
- b. Butiran, dalam arti campuran tersebut masih dalam keadaan butiran dicampur dengan tanah yang akan distabilisasikan kemudian diberi air, baru diaduk.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut (Joseph E. Bowles, 1986 hal. 216) :

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi dan atau tahanan geser yang timbul.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah.
4. Merendahkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk dengan tanah yang baik.

2.8 Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Stabilisasi tanah dengan kapur, yaitu mencampur tanah dengan kapur untuk merubah sifat-sifat tanah menjadi material yang lebih baik yang memenuhi ketentuan sebagai bahan konstruksi yang diijinkan dalam perencanaan. Sifat ekspansif yang menyusut dan berkembang karena kondisi airnya akan berkurang secara drastic karena butir kapur. Ada beberapa jenis kapur antara lain :

1. Kapur tipe I adalah kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi dengan kadar Magnesium Oksida (MgO) paling tinggi 4% berat.
2. Kapur tipe II adalah kapur Magnesium dan Dolomit yang mengandung Magnesium Oksida lebih dari 4% dan paling tinggi 36% berat.
3. Kapur tohor (CaO) adalah hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar Kalsium Karbonat (CaCO₃).
4. Kapur padam adalah hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga membentuk hidrat [Ca(OH)₂].

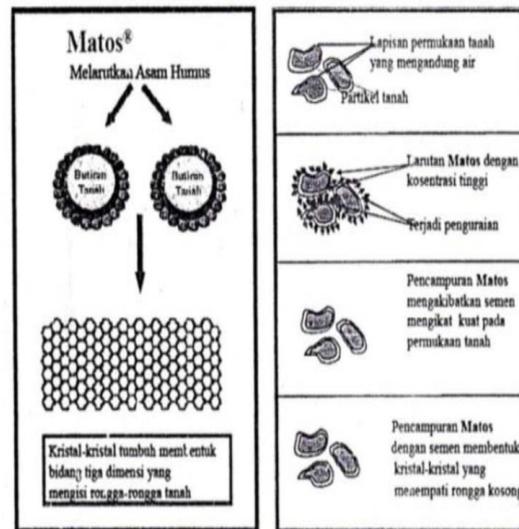
Berdasarkan SNI 03-4147-1996 kapur yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah adalah kapur padam dan kapur tohor. Stabilisasi tanah dengan kapur efektif digunakan pada tanah lempung yang plastisitasnya tinggi karena membuat struktur tanah jadi rapuh sehingga mudah dipadatkan dengan konsekuensi nilai kepadatan maksimum menjadi turun.

2.9 Stabilisasi Tanah dengan Matos

Matos merupakan bahan *additive* yang berfungsi untuk memadatkan (*solidifikasi*) dan menstabilkan (*stabilizer*) tanah secara fisik-kimia, bahan ini berupa serbuk putih halus terdiri dari komposisi mineral anorganik dan lain-lain. Matos digunakan pada campuran tanah dan semen. Matos berfungsi sebagai berikut:

1. Melarutkan humus pada permukaan partikel tanah yang menghalangi ikatan tanah-semen sehingga ikatan lebih kuat,
2. Membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah,
3. Mencegah keretakan akibat panas reaksi hidrasi semen. Humus terbentuk akibat tanaman-tanaman yang sudah mati larut kedalam air yang menempel pada permukaan tanah dan humus (*humic acid*) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium (Ca^{++}) semen dan anion (-) partikel-partikel tanah.

Matos bekerja dengan memperlemah fungsi negatif humus dan menurunkan kadar humus sehingga kation kalsium yang ada 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 potensi keretakan yang sering timbul pada stabilisasi tanah-semen. Ilustrasi proses reaksi tanah-semen Matos dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 2. 7 Reaksi Tanah – Semen – Matos

2.10 Pengembangan (*Swelling*)

Pengertian mengembang (*swelling*) yaitu volume tanah menjadi lebih besar dari volume sebelumnya karena bertambahnya kadar air, (Das, 1983). Perubahan volume terjadi akibat dari perubahan lingkungan, (Mitchell, 1976). Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi terjadinya penyusutan dan pengembangan antara lain :

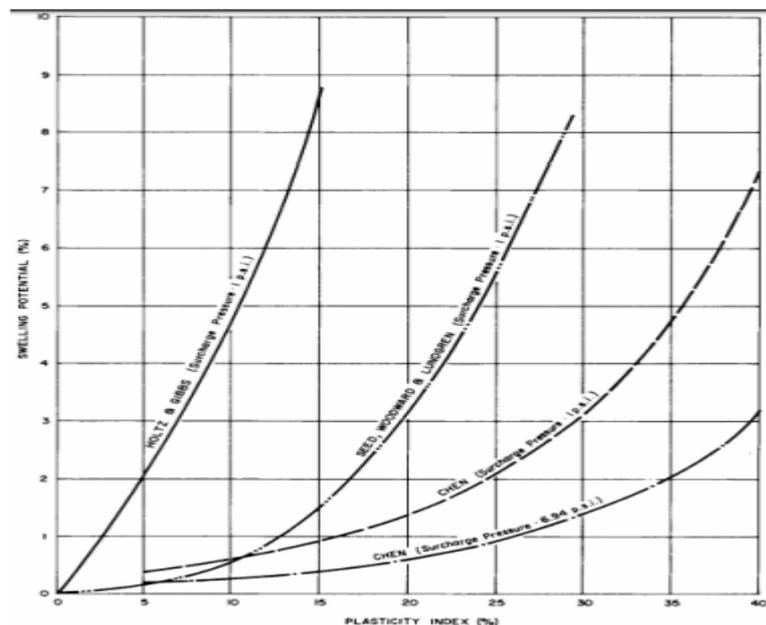
- Kadar air (*water content*)
- Kepadatan (*density*)
- Tekanan yang mengikat (*confining pressure*)
- Suhu (*temperature*)
- Susunan struktur tanah (*fabric*)
- Air yang tersedia (*availability of water*)

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

Salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk memperkirakan tingkat mengembang adalah menggunakan konsolidasi satu dimensi atau oedometer. Proses mengembang (*swelling*) merupakan kebalikan dari konsolidasi

adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori yang berlebihan negative (Craig, 1991).

Prediksi persen pengembangan sudah pernah dibuat oleh beberapa peneliti antara lain Seed (1962) dalam Muntohar (2006), Nayak dan Christensen (1974) dalam Phanikumar dan Bhyravajjula (2006), Chen (1975) dalam Muntohar (2006), Muntohar (2006) dengan model empiris yang menggunakan sejumlah parameter indeks property tanah. Seed (1962) dan Chen (1975) mengemukakan hubungan persentase mengembang dengan indeks plastisitas sebagaimana pada gambar 2.6 berikut :



Gambar 2. 8 Hubungan indeks plastisitas dan potensi mengembang
(Sumber: Chen, 1975)

Model Seed (1962) memberikan model empiris untuk persentase mengembang dengan menggunakan parameter PI. Model Seed ditunjukkan pada persamaan (2.6) sebagai berikut :

$$S = 60 K (PI)^{2,44} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- S = Persentase Mengembang
- K = $3,6 \times 10^{-5}$
- PI = Indeks Plastisitas

Tabel 2. 12 Kriteria Seed 1962 Klasifikasi Derajat Expansif (%)

Swelling Potential (%)	Swelling Degree
0 -1,5	Rendah
1,5 – 5	Sedang
5 – 25	Tinggi
> 25	Sangat Tinggi

(sumber: Das, 1995)

Model Chen (1975) memberikan model empiris untuk persentase mengembang dengan PI sebagai parameter serta A dan B sebagai konstanta. Model Chen ditunjukkan pada persamaan (2.7)

$$S = B e^{A(PI)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

- S = Presentase Mengembang (%)
- A = 0,0838 konstan
- B = 0,2558
- PI = Indeks Plastisitas (%)
- e = Angka Eksponensial 2,71828

Nayak dan Christensen (1974) memberi persamaan model empiris untuk persentase mengembang dengan beberapa parameter. Model Nayak dan Christensen (1974) ditunjukkan pada persamaan (2.8) sebagai berikut :

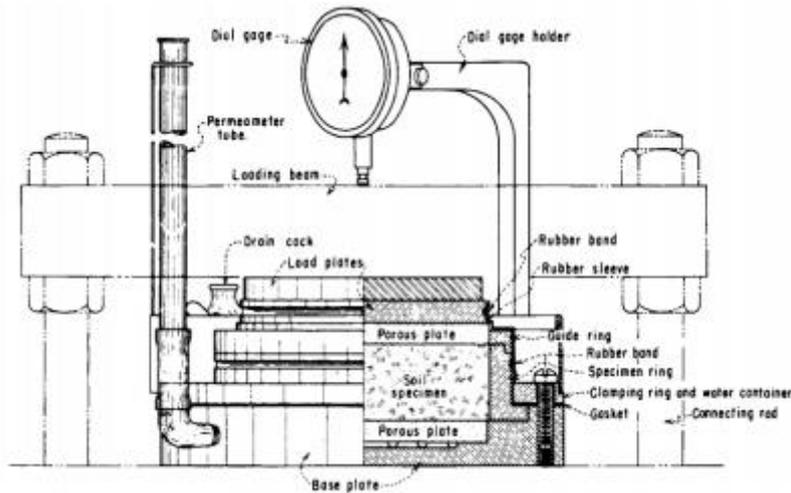
$$S = 0,0229PI^{1,45} \left(\frac{C}{W}\right) + 6,38 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- S = Persentase Mengembang (%)
- PI = Indeks Plastisitas (%)
- C = Fraksi Lempung (%)
- W = Kadar Awal (%)

Swelling adalah suatu proses yang berlawanan dengan konsolidasi, maka pengujian pengukuran besar swelling dicoba dengan memanfaatkan alat pengujian konsolidasi yaitu oedometer. Alat ini hanya digunakan untuk mengukur besarnya perubahan volume sampel dalam arah vertikal saja atau hanya satu dimensi. Hal ini memberikan arti bahwa pada kondisi dilapangan dianggap tidak ada perubahan kearah horizontal atau dua dimensi diperlukan modifikasi khusus pada alat oedometer.

Sel oedometer terdiri dari *ring* atau cincin besi, batu tembus air dan pelat penutup atau plat beban. Cincin besi oedometer biasanya mempunyai ukuran tinggi $\pm 19,5$ mm dan diameter ± 51 mm, berfungsi untuk tempat sampel tanah sedangkan batu tembus air berfungsi untuk tempat keluar masuknya air dalam sampel tanah. Gambar 2.8 Merupakan skema pengujian pada alat oedometer.



Gambar 2. 9 Skema pengujian pada alat oedometer

(Sumber: Hardiyatmo, 2007)

2.11 Bentonite

Bentonite adalah istilah pada lempung yang mengandung *monmorillonit* dalam dunia perdagangan dan termasuk dioktohedral. Penamaan jenis lempung tergantung dari penemu atau peneliti, misal ahli geologi, minerologi, mineral industri dan lain-lain.

Bentonite dapat dibagi menjadi 2 golongan berdasarkan kandungan aluminium 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 sebelumnya. Keunikan sifat *bentonite* mampu untuk mengembang dan memebentuk koloid jika dimasukkan kedalam air.

Bentonite merupakan mineral alumina silikat hidrat yang termasuk dalam pilosilikat, atau silikat berlapis yang terdiri dari jaringan tetrahedral $(\text{SiO}_4)^{2-}$ yang terjalin dalam bidang tak hingga membentuk anion $(\text{SiO}_3)^{2-}$ 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 versifat ekspansif, yang mempunyai kemampuan mengembang cukup besar bila kondisinya jenuh, akibat “*Compressibility*”-nya tinggi dan sulit memadatkannya, sehingga *bentonite* jenuh ini tidak mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

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

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

Free Swell Index Test atau uji indeks pengembangan bebas adalah suatu metode pengujian sifat fisik tanah dengan mengganti tingkat ekspansi tanah yang berada dalam suatu koloid yaitu air sulingan (air destilasi) dan minyak tanah (korosen) dalam waktu 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 korosen tidak akan mengalami pengembangan karena sifat koloidnya non-polar (Anonymous, 1977). Standar pengujian ini mengacu pada I.S 2720 Part40 (1977).

Untuk menghitung nilai *index swelling* tanah maka menggunakan rumus :

$$FSI = \frac{V_d - V_k}{V_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

FSI = *Free Swelling Index (%)*

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

Vk = Volume tanah pada gelas ukur yang berisi korosen (ml)

Tabel 2. 13 Klasifikasi Derajat Ekspansif

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

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

2.13 Swelling Potential

Untuk melihat hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang dapat dilihat pada tabel 2.14 sebagai berikut :

Tabel 2. 14 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang Menurut Gracia-Iturbe (1980)

Swelling Potential	Swelling Preasure
Low	< 2
Medium	2,00-4,00
High	4,00-7,00
Very High	> 7

(sumber: Gracia-Iturbe, 1980)

Gracia-Iturbe (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang dengan tekanan mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai swelling preasure dibawah 2 memiliki swelling potential yang rendah sedangkan untuk swelling preasure diatas 7 memiliki swelling preasure sangat tinggi.

2.14 Penelitian Terdahulu

1. Hasil penelitian Andi Saputra, (2021)

Penelitian Andi Saputra (2021), berjudul “Pengaruh Kadar Air Terhadap Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung Di Capkala Kabupaten Bengkayang”. Berdasarkan analisis hasil identifikasi, tanah yang diamati merupakan tanah lempung dengan potensi mengembang sangat tinggi (>35%). Hasil pengujian

menunjukkan bahwa semakin besar kadar air pada tanah maka persentase mengembangnya semakin kecil. Kajian pengembangan tanah ini menghasilkan model empiris yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam memprediksi besarnya presentase mengembang tanah dengan parameter indeks plastisitas dan kadar air.

2. Hasil penelitian

Penelitian Aldi Rifani, berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Pada Tanah Lunak Terhadap Nilai Pengembangan (*Swelling*)”. Berdasarkan analisis hasil identifikasi, tanah yang diamati merupakan tanah lempung dengan *swelling pressure* tanah termasuk dalam *swelling potential low*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan *bentonite* dapat meningkatkan pengembangan tanah sebesar 324,860% dan 649,72% terhadap tanah *Disturbed*, sedangkan dengan ditambahkan *fly ash* dapat menurunkan potensi pengembangan tanah.