

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Defenisi Tanah**

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara dan macam-macam organisme baik yang berupa masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan. Menurut para ahli lainnya menyebutkan bahwa tanah adalah benda alami yang terdapat dipermukaan bumi yang tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batuan dan bahan organik (pelapukan sisa tumbuhan dan hewan), yang merupakan medium pertumbuhan tanaman dengan sifat-sifat tertentu yang terjadi akibat gabungan dari faktor-faktor alami, iklim, bahan induk, jasad hidup, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan (Saifudin Sarief 1986).

Istilah tanah dalam bidang mekanika tanah dapat digunakan mencakup semua bahan seperti lempung, pasir, kerikil, dan batu-batu besar. Metode yang dipakai dalam teknik sipil untuk membedakan dan menyatakan berbagai tanah, sebenarnya sangat berbeda dibandingkan dengan metode yang dipakai dalam bidang geologi atau ilmu tanah. Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam mekanika tanah dimaksudkan untuk memberi keterangan mengenai sifat-sifat teknis dari bahan itu dengan cara yang sama, seperti hanya pernyataan-pernyataan secara geologis yang dimaksudkan untuk memberi keterangan mengenai asal geologis dari tanah.

#### **2.2 Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk tujuan rekayasa umumnya didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti gradasi

butiran tanah dan nilai-nilai batas *Atterberg* sebagai petunjuk kondisi plastisitas tanah, hal ini dikarenakan tanah tidak tersedimentasi, sehingga partikel-partikel tanah mudah untuk dipisah-pisahkan. Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok - kelompok dan subkelompok - subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku

Tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi. Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah.

### **2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)**

Sistem klasifikasi AASHTO ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration 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 AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini

dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada Tabel 2.2 dan kriteria di bawah ini :

Ukuran Butir :

1. Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).
2. Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).
3. Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

### 2.2.2 Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Klasifikasi tanah USCS diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American 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 ke dalam dua kategori utama yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ( $F_{200} < 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).

2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ( $F_{200} \geq 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (*inorganic silt*), atau **C** untuk lempung inorganik (*inorganic clay*), atau **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah :

1. **W** - untuk gradasi baik (*well graded*),
2. **P** - gradasi buruk (*poorly graded*),
3. **L** - plastisitas rendah (*low plasticity*)
4. **H** - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Adapun menurut Bowles, 1991. Kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified* diperlihatkan pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

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

Sumber : Bowles, 1991.

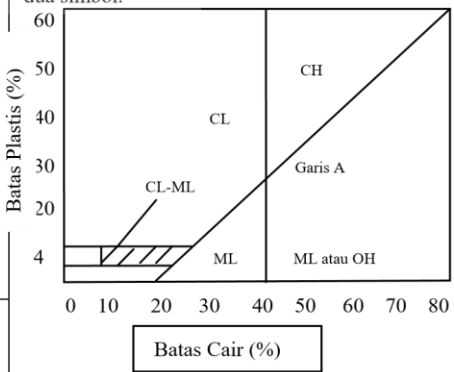
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan 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*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---	---	---	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≥ 41
Indek Plastisitas (PI)	≤ 6	---	NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Keterangan : \* Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$ \*\* Untuk A-7-6,  $PI > LL - 30$ 

Sumber : Das, 199

Gambar 2.1 Sistem klasifikasi *unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
		Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" ( <i>lean clays</i> )	
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH		Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
	CH		Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )			
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat	

Sumber : Hary Christady, 1996.

### 2.3 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif adalah istilah yang digunakan pada material tanah atau batuan yang mempunyai potensi penyusutan atau pengembangan oleh pengaruh perubahan kadar air. Jika tanah mempunyai potensi pengembangan, maka tanah juga mempunyai penyusutan oleh perubahan kadar air tersebut jadi, istilah tanah ekspansif dan potensi pengembangan (*swelling barrier*) umumnya digunakan untuk menunjukkan tanah yang mudah mengalami kembang susut.

Deformasi oleh akibat pengembangan tanah, umumnya menghasilkan permukaan yang tidak beraturan, dan tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat mengakibatkan kerusakan serius pada bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan yang berada di atasnya. Faktor utama yang perlu diidentifikasi di lapangan terkait dengan pembangunan di atas tanah ekspansif, bila faktor pengembangan kembang susut menjadi masalah adalah :

1. Sifat-sifat kembang susut tanah
2. Kondisi lingkungan yang menyokong perubahan kadar air tanah di lapangan.

#### 2.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Mekanisme Pengembangan

Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme pengembangan dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, seperti platisitas atau kepadatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kembang susut tanah dapat dibagi kedalam tiga kelompok berbeda:

- a. Karakteristik tanah yang mempengaruhi sifat dasar dari medan gaya internal
- b. Kondisi lingkungan.

##### 2.3.1.1 Karakteristik tanah

Karakteristik tanah dapat ditinjau dari faktor skala mikro. Maksud dari faktor skala mikro adalah faktor sifat-sifat mineralogy dan kimia tanah, sedangkan faktor skala makro adalah faktor sifat-sifat teknis tanah yang juga dipengaruhi oleh faktor skala makro.

- a. Faktor skala mikro

Macam dari mineral lempung mempengaruhi potensi pengembangannya oleh pengaruh variasi medan listrik yang ada

pada setiap mineral. Kapasitas pengembangan dipengaruhi oleh macam-macam mineral lempung didalam tanah, susunan dan spesifik partikel lempung dan kandungan kimia air tanah disekitar partikel. Tiga susunan kelompok mineral lempung yang penting adalah :

1. Kelompok kaolinite yang umumnya tidak ekspansif.
2. Kelompok yang menyurupai mika (*mica-line*), seperti illite dan vermiculite yang mungkin dapat ekspansif, tapi umumnya tidak mengakibatkan banyak masalah.
3. Kelompok *smectite* termasuk *montmorionolite* adalah kelompok mineral lempung yang sangat ekspansif dan merupakan mineral lempung yang banyak mengakibatkan masalah.

Kimia air tanah sangat mempengaruhi besarnya potensi pengembangan. Kation-kation garam seperti sodium, kalsium, magnesium, dan potasim larut dalam air tanah dan terserap pada permukaan partikel lempung sebagai kation- kation yang dapat bertukar untuk mengimbangi muatan permukaan listrik negatif. Hidrasi kation-kation ini dan gaya serap dari kristal kristal lempung sendiri dapat menyebabkan pengumpulan air secara berlebihan diantara partikel-partikel lempung.

b. Faktor skala makro

Sifat-sifat tanah skala makro mencerminkan sifat-sifat skala mikro tanah, karena hal ini lebih cocok dipakai dalam praktek pembangunan skala mikro. Karakteristik skala makro digunakan sebagai indikator utama perilaku pengembangan tanah. Umumnya sifat sifat tanah seperti plastisitas dan kepadatan dapat memberikan petunjuk penting dalam tinjauan potensi pengembangan tanah.

Konsistensi tanah seperti yang ditunjukkan dalam uji batas batas *atterberg* sering digunakan sebagai indikator potensi pengembangan tanah. Kebanyakan tanah-tanah ekspansif masih dalam kedudukan plastis pada



kisaran kadar air yang lebar (indeks plastisitas, PI tinggi) yang menunjukkan kemampuan mineral lempung ekspansif dalam menampung banyak air diantara partikel-partikel, namun masih tetap terjaga sebagai struktur yang menyatu lewat pengaruh gaya-gaya listrik interpartikel. Plastisitas tanah dipengaruhi oleh faktor-faktor skala mikro yang mengontrol potensi pengembangan, karena itu memberikan indikator berguna pada potensi pengembangan. Medan gaya listrik antara partikel-partikel bergantung pada jarak interpartikel, jadi berat volume kering dan susunan partikel-partikel akan mempengaruhi potensi pengembangan. Kenaikan kepadatan tanah oleh pemadatan atau pengendapan alami akan mengakibatkan pengembangan yang lebih besar dan tekanan pengembangan lebih tinggi pula ( Nelson dan Miller, 1992).

#### **2.3.1.2 Kondisi Lingkungan**

Potensi tanah untuk menarik dan melepas air bergantung pada kadar air relative terhadap kekurangan air di dalam tanah. Kadar air awal tanah sangat mempengaruhi potensi kembang susut tanah dan kadar air relatif terhadap kadar-kadar air dan batas-batas konsistensi, seperti batas plastis dan batas susut sangat penting diketahui, perubahan kadar air dibawah batas susutnya, akan menghasilkan sedikit atau tanpa perubahan volume tanah. Ketersediaan air profil tanah ekspansif dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan faktor perbuatan manusia. Biasanya, bagian atas atau beberapa meter dari permukaan tanah merupakan bagian yang sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air. Selain itu, karena tanah masih dangkal, tekanan *overburden* juga sangat rendah, sehingga berat sendiri tanah tidak dapat menahan gerakan ke atas. Lapisan tanah dibagian atas ini merupakan bagian yang banyak menimbulkan masalah kembang susut. zona tanah yang dibagian atas yang dipengaruhi oleh kembang susut ini disebut zona aktif.

Variasi kadar air ini akan berubah secara signifikan oleh adanya bangunan, semacam lantai bangunan atau struktur perkerasan jalan. Hal ini

akan merubah profil kadar air dari tanah bagian bawah bangunan tersebut. Drainase buruk merupakan faktor utama yang menyokong perubahan volume tanah yang merusakkan perkerasan,. Jika air dibiarkan tertinggal dalam parit, maka air akan merembes ke tanah dasar sehingga menyebabkan pengembangan.

### 2.3.2 Ciri-ciri Tanah Ekspansif

Ciri-ciri tanah ekspansif adalah sebagai berikut :

- a. Mengandung mineral-mineral yang bersifat mengembang  
Tanah terdiri dari berbagai material , yang sebagian besar tidak mengembang pada saat lembab. Namun, ada beberapa mineral yang bersifat mengembang atau ekspansif salah satu menjadi penyebabnya adalah adanya kandungan mineral – mineral yang mudah mengembang seperti smeklit, bentonit , montmorillonite , beidellite , vermikulit , atapulgit, nontronie, illite , klorit , dan beberapa garam sulfat.
- b. Mempunyai struktur “*fissured*”  
Pada umumnya golongan – golongan tanah memiliki kandungan lempung yang tinggi dan mudah mengembang serta memiliki bentuk permukaan yang mudah pecah atau disebut “*fissured*” yakni membentuk granular , prismatic , dan bloky Granular atau butiran yaitu struktur tanah membulat atau banyak sisi dan masing masing butir tidak porous. Berbeda dengan prismatic dan bloky , prismatic mempunyai struktur tanah sumbu vertikal lebih panjang dari sumbu horizontal dan sisi atas tidak membulat. Bloky terdiri dari dua struktur yaitu subangular bloky dan angular bloky.
- c. Kembang Susut  
Kembang susut yang terjadi pada tanah ekspansif akan diakibatkan adanya perubahan kadar air yang berlebihan sehingga timbul perubahan volume yang besar. Membesarnya perubahan volume disebut pengembangan tanah dan mengecilnya perubahan volume disebut penyusutan tanah. Pengembangan pada permukaan tanah merupakan perubahan volume yang

dominan ke arah atas (vertikal), sedangkan pengembangan ke arah lateral akan relatif kecil karena akan tertahan oleh tanah yang berada pada sekelilingnya.

Pada musim hujan, pengembangan yang terjadi pada tanah yang berada pada dibawah konstruksi jalan, akan mendorong perkerasan ke arah atas. Bila berat konstruksi jalan atau perkerasan tidak dapat mengimbangi besarnya tekanan mengembang ke arah vertikal, maka permukaan jalan menjadi bergelombang disertai retakan. Pada musim kemarau air yang terkandung dalam massa tanah akan menguap yang mengakibatkan terjadinya penyusutan yang dapat menimbulkan retakan refleksi pada struktur jalan.

d. Dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan

Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang bermasalah dalam suatu proyek konstruksi dengan perubahan volume tanah akibat kadar air yang rendah dapat mengakibatkan penurunan pada bangunan yang ada di atasnya. Penurunan tersebut dapat terjadi pada masa konstruksi maupun selama operasional bangunan tersebut. Selain penurunan akibat kadar air yang tinggi dalam tanah dapat pula mengakibatkan tanah mengembang sehingga menyebabkan bangunan terangkat

e. Mempunyai tingkat kesuburan sedang hingga subur

Setiap jenis tanah mempunyai kesuburannya masing – masing begitu juga dengan tanah ekspansif hal ini karena dipengaruhi oleh :

1. Memiliki lapisan humus tebal

Ketersediaan humus juga sebagai tanda bahwa terdapat bahan organik dan unsur hara sehingga humus yang tebal akan meningkatkan daya hisap tanah terhadap air hal ini disebabkan struktur lapisan humus berongga sehingga memungkinkan air untuk masuk lebih banyak pada tanah.

2. Memiliki tekstur lempung

Tanah yang subur akan berstruktur lempung yang berfungsi untuk meningkatkan berbagai mineral sehingga tidak mudah hanyut terbawa

air. Namun kadar lempung harusah normal dan biasanya terletak pada lapisan tengah tanah.

3. Dapat ditumbuhi oleh berbagai macam tumbuhan

Tanah ekspansif kaya akan biota tanah yang mana sebagai salah satu faktor kesuburan tanah sehingga tanah tersebut mampu menunjang vegetasi tumbuh dengan baik di atasnya.

## 2.4 Identifikasi Tanah Ekspansif

### 2.4.1 Identifikasi Langsung

Identifikasi langsung dilakukan melalui pengukuran pengembangan secara langsung, baik terhadap contoh terganggu maupun tidak terganggu. Dalam hal ini metode yang digunakan sebagai berikut :

a. Kembang Bebas (*Free Swell*)

Uji kembang bebas dilakukan dengan cara menempatkan sejumlah tanah kering lolos saringan No.40 kedalam sebuah silinder ukur yang berisi air serta mengukur volume pengembangannya setelah tanah turun seluruhnya. Nilai kembang besar dinyatakan sebagai perbandingan perubahan volume terhadap volume awalnya, yang dinyatakan dalam persen.

b. Perubahan Volume Potensial

Perubahan volume potensial atau disebut juga *potensial volume change* (PVC) diukur dengan PVC meter. Pengujian ini dilakukan dengan cara menempatkan contoh tanah terganggu pada cetakan pemadatan. Selanjutnya contoh tanah dipadatkan dengan usaha pemadatan dengan metode *modified proctor* sebesar pada kadar air alami lapangan. Contoh tanah dijenuhkan dan biarkan mengambang hingga menekan cincin ukur. Besarnya tekanan pada cincin ukur dinyatakan sebagai indeks pengembangan dan nilainya dikolerasikan dengan nilai PVC. Satuan indeks pengembangan pada grafik tersebut adalah  $lb/ft^2$ . Dalam penerapannya sebaiknya dikonversikan terlebih dahulu ke SI yaitu  $KN/m^2$ .

c. Uji Indeks Pengembangan

Uji indeks pengembangan ini telah distandarisasi. Prinsip pengujiannya serupa dengan uji perubahan volume potensial. Yang membedakannya hanya penggunaan beban tambahan konstan. Pengujian dilakukan terhadap contoh tanah yang lolos asaringan No.4 dan berada pada kondisi kadar air mendekati optimum. Tanah dibiarkan selama 6-30 jam dan dipadatkan di dalam cetakan (*mould*) berdiameter 10,2 cm. jika dibuthkan selanjutnya kadar air disesuaikan agar contoh tanah mendekati derajat kejenuhan sebesar 50% kemudian diberikan bebsan tambahan sebesar 6,9 kPa dan contoh tanah dibasahi. Perubahan volume dipantau selama 24 jam. Nilai indeks pengembangan hingga pembulatan terkecil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$EI = 100 \times \Delta H \times F \quad (2.1)$$

Keterangan :

- EI = indeks pengembangan
- $\Delta H$  = persentase pengembangan
- F = persentase butiran tanah lolos saringan No 4.

Potensi pengembangan tanah dikelompokan berdasarkan nilai indeks pengembangannya akan ditampilkan Tabel 2.3 sebagi berikut :

Tabel 2.3 Korelasi Nilai Indeks Pengembangan dengan Nilai Potensial Pengembangan.

Indeks Pengembangan (EI)	Potensi pengembangan
0-20	Sangat Rendah
21-50	Rendah
51-90	Sedang
91-130	Tinggi
>130	Sangat Tinggi

(Sumber: Nelson dan Miler,1992)

#### 2.4.2 Identifikasi Tidak Langsung

Identifikasi tanah ekspansif secara sederhana melalui uji laboratorium umumnya menggunakan nilai batas *Atterberg* dan presentase kandungan lempung

untuk menggambarkan potensi pengembangan suatu tanah secara kualitatif. Identifikasi tidak langsung ini tidak merupakan berdiri sendiri tetapi perlu dibandingkan dengan beberapa cara lainnya. Dari berbagai metode identifikasi tanah ekspansif secara tidak langsung yang tersedia saat ini adalah klasifikasi berdasarkan faktor-faktor indeks plastisitas, fraksi lempung, dan batas susut.

a. Batas-batas *Atterberg* dan fraksi lempung

Identifikasi tanah ekspansif secara tidak langsung dengan menggunakan nilai indeks plastisitas (PI) dan fraksi lempung (CF) serta membagi tanah ekspansif kedalam tiga kelas, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Selain itu dapat pula menggunakan indeks plastisitas sebagai identifikasi tanah ekspansif yang diperlihatkan pada Tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Korelasi Indeks Plastisitas dengan Potensi Pengembangan

Indeks Plastisitas (%)	Potensial Pengembangan
0-15	Rendah
15-35	Sedang
20-55	Tinggi
>55	Sangat Tinggi

(Sumber: Chen, 1968)

b. Tingkat keaktifan

Batas *Atterberg* dan fraksi lempung dapat dikombinasikan menjadi satu parameter yang dinamakan tingkat keaktifan (*activity*). Pada umumnya, tanah dengan indeks plastisitas (PI) kurang dari 15 persen tidak akan memperlihatkan perilaku pengembangan, untuk tanah dengan PI lebih dari 15 persen, kadar lempungnya dan batas *Atterberg*-nya harus diuji. Tingkat keaktifan suatu tanah dapat ditentukan dari persamaan dan akan ditampilkan nilai keaktifan pada Tabel 2.5 sebagai berikut:

$$Ac = \frac{PI}{(CF-10)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- Ac adalah tingkat keaktifan
- PI adalah indeks plastisitas (%)

- CF adalah presentase fraksi lempung ukuran kurang dari 0,002 mm (%)

Tabel 2.5 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan

Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
<0,75	Rendah
0,75-1,25	Sedang
1,25-2,00	Tinggi
>2,00	Sangat Tinggi

(Sumber : Skempton,1953)

### c. Mineralogi

Mineralogi lempung merupakan faktor utama yang mengontrol perilaku tanah ekspansif, pada Tabel 2.6 dibawah ini memperlihatkan hubungan antara jenis mineral dengan tingkat keaktifan. Dari tabel tersebut dilihat bahwa apabila suatu lempung memiliki kandungan montmorilonite maka tanah tersebut merupakan tanah ekspansif. Uji mineralogy menggunakan metode *X-ray diffraction* merupakan rekomendasi karena pengujian ini relative murah dan cepat.

Tabel 2.6 Hubungan Antara Jenis Mineral dengan Tingkat Keaktifan

Mineral	Keaktifan
Kaolinite	0,33-0,46
Illite	0,90
Montmorilonite (Ca)	1,5
Montmorilonite (Na)	7,2

(Sumber : Skempton,1953)

## 2.5 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah besarnya tekanan atau kemampuan tanah untuk menerima beban dari luar . daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh jenis tanah , tingkat kepadatan , kadar air , kondisi drainase , dan lain-lain. Tingkat kepadatan dinyatakan dengan presentase berat volume kering tanah terhadap

berat volume kering maksimum. Daya dukung tanah dasar (subgrade) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR.

Daya dukung tanah bias kita dapat dengan cara mekanis seperti dengan bantuan alat berat. Ada beberapa cara seperti melakukan penggilasan dengan alat penggilas, menjatuhkan benda berat, ledakan, melakukan tekanan statis, melakukan proses pembekuan, pemanasan, dan sebagainya.

Tujuan perbaikan daya dukung tanah yang paling utama adalah untuk memadatkan tanah yang memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan spesifikasi pekerjaan tertentu. Perbaikan daya dukung juga merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energy mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Energi pemadatan dilapangan dapat diperoleh dari alat-alat berat, pemadatan getaran, mesin gilas dan benda-benda yang dijatuhkan. Di laboratorium untuk emndapatkan daya dukung dilakukan dengan gaya tumbukan (dinamik), alat penekan, alat tekan statik yang memakai piston dan mesin tekan.

CBR hingga saat ini digunakan secara luas sebagai evaluasi daya dukung *Subgrade* atau tanah dasar. Serta sebagai sandar dalam perencanaan perkerasan fleksibel. Berdasarkan pedoman perancangan dan pelaksanaan untuk lapis fondasi menggunakan kapur dan semen. Syarat-syarat sifat lapis fondasi akan disajikan pada Tabel 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2.7 Persyaratan Sifat-sifat Lapis Fondasi Tanah Kapur Semen

Pengujian	Batas - Batas Sifat (Setelah Perawatan 7 Hari )			Metode Pengujian
	Minimum	Target	Maksimum	
California Bearing Ratio (CBR) % untuk Campuran Stabilisasi Tanah Dasar	12	15	-	SNI 1744:2-12
Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength, UCS)	20	24	35	SNI 03-6887-2002
Uji Basah dan Kering untuk Lapis Fondasi Tanah Semen :	-	-	7	
(i) % Kehilangan Berat				
(ii) % Perubahan Volume	-	-	2	SNI 13-6427-2000

(sumber : pedoman perancangan dan pelaksanaan stabilisasi dua tahap dengan kapur dan semen untuk lapis fondasi perkerasan jalan,2012)



## 2.6 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 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul, menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisik pada tanah, menurunkan muka air tanah (drainase tanah) mengganti tanah yang buruk. Adapun jenis-jenis perbaikan tanah yang diklasifikasikan menjadi 4 bagian yaitu :

a. Stabilisasi dengan cara mekanis

Stabilisasi mekanis adalah stabilitas mekanikal dengan cara mencampur dua macam tanah yang bergradasi berbeda untuk memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran ini dapat dilakukan di lokasi proyek , di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan contoh perbaikan secara mekanis yaitu dengan menggunakan metal strip , geotextile , geomembrane , geogrid, vertical drain dan lain sebagainya.

b. Stabilisasi dengan cara kimiawi

Stabilitas dengan cara kimiawi yaitu dengan menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurannya yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik. Metode perbaikan tanah dengan bahan kimia dapat menggunakan bahan kimia dan/atau bubuk kimia yang dicampurkan dengan tanah yang akan diperbaiki dengan beberapa metode

pencampuran yang disesuaikan kondisi bahan stabilizer maupun kondisi tanahnya.

Kondisi tanah yang akan diperbaiki sangat penting diketahui secara komprehensif, baik sifat fisik maupun sifat kimia tanah, terutama yang menyangkut tentang komposisi kimia dari mineral tanah yang ada. Hal ini sangat menentukan dalam pemilihan jenis bahan stabilizer yang cocok dipergunakan untuk perbaikan tanah, sehingga target perbaikan diinginkan dapat tercapai, sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan konstruksi yang akan dibangun diatas lapisan tanah tersebut.

Jenis bahan stabilizer yang digunakan mempengaruhi target perbaikan dimana jenis bahan secara kimiawi terdapat variasi bahan contohnya dengan menggunakan :

1. Bahan Kapur

Kapur merupakan bahan stabilizer yang secara kimiawi bersifat basa. Prinsip perbaikan tanah dengan kapur adalah mencampurkan kapur untuk memanfaatkan keunggulan sifat teknis dari bahan kapur dengan tanah yang memiliki karakteristik kurang baik , seperti tanah dengan plastisitas tinggi, potensi ekspansif yang tinggi, kompresibilitas dan lain sebagainya.

Perbaikan tanah dengan kapur tidak sekedar dicampurkan, namun juga diikuti dengan pemadatan. Oleh karena itu tanah yang diperbaiki dengan bahan kapur akan mempermudah pekerjaan pemadatan tanah, karena kapur akan mengurangi kelekagtan dan kelunakan tanah , serta membuat struktur patikel tanah menjadi rapuh, sehingga mudah untuk dipadatkan. Namun, demikian konsekuensi negative tanah dari perbaikan dengan bahan kapur adalah menurunkan nilai kepadatan maksimum dari massa tanah.

Berdasarkan persyaratan SNI 03-4147-1996, jenis kapur yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai bahan perbaikan tanah

adalah kapur padam dan kapur tohor. Sebagaimana diketahui bahwa beberapa jenis kapur antara lain :

a. Kapur Tohor (CaO)

Kapur tohor yaitu kapur dari hasil pembakaran batu kapur pada suhu  $\pm 90^{\circ}\text{C}$  , dengan komposisi sebagian besar berupa kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>).

b. Kapur Padam

Kapur padam yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air sehingga membentuk senyawa kalsium hidrat [Ca(OH)<sub>2</sub>].

c. Kapur Tipe I

Kapur tipe I yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat [Ca(OH)<sub>2</sub>] tinggi, dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4% berat.

d. Kapur tipe II

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

2. Bahan Semen

Perbaikan tanah dengan semen adalah suatu campuran dari tanah yang dihancurkan, semen dan air yang kemudian dilakukan proses pemadatan yang akan menghasilkan suatu bahan baru yang disebut material tanah-semen. Reaksi semen dengan material tanah dan air, akan membuat senyawa yang mengeras sehingga memperbaiki kekuatan tanah dan sifat-sifat teknis tanah tersebut menjadi lebih kuat dan lebih tahan terhadap air.

Semen merupakan material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen - fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi

dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air, seperti semen portland, semen putih dan sebagainya. Sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Kriteria bahan stabilizer Semen Portland sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO<sub>2</sub>), oksida alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan oksida besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips, untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat. Berdasarkan pengalaman jenis semen yang paling efektif dipergunakan sebagai bahan stabilizer dalam pekerjaan perbaikan tanah adalah semen portland. Hal ini ukuran partikel semen portland relatif halus ( $\pm 20$  micron), sehingga proses hidrasi lebih cepat. Menurut Ingles & Metcalf (1972), bahwa penggunaan semen yang memiliki partikel lebih halus dari saringan No. 300, akan memberikan tambahan kuat geser sampai 40%. Oleh karena itu dalam spesifikasi yang ditentukan dalam SNI 03 – 3438 – 1994, disyaratkan jenis semen untuk pekerjaan perbaikan tanah adalah semen portland.

c. Stabilisasi dengan cara perkuatan

Stabilisasi dengan cara perkuatan tanah merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang bertujuan untuk memperbaiki daya dukung tanah sesuai dengan spesifikasi beberapa metode perbaikan dengan cara perkuatan contohnya antara lain :

1. Pemasangan vertical drain
2. Cerucuk bamboo
3. Geosintetik
4. stone coloum

d. Stabilisasi dengan cara hidrolis

Lapisan tanah lunak umumnya disebabkan banyaknya kandungan air yang tertahan dalam tanah, secara sederhana upaya perbaikan tanah lunak adalah dengan mengeluarkan air dari pori-pori tanah, usaha perbaikan tanah dengan cara mengeluarkan air dari pori-pori tanah ini disebut perbaikan tanah secara hidrolis. Perbaikan tanah secara hidrolis dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pra pembebanan (*preloading*)

Prapembebanan merupakan suatu metode perbaikan tanah dengan cara menempatkan timbunan pada lokasi yang akan distabilisasi dengan berat sekurang-kurangnya dengan berat struktur dimasa yang akan datang. Akibat adanya beban timbunan tersebut maka lapisan tanah dibawahnya akan tertekan sehingga air yang berada di dalam pori-pori tanah akan terperas terkonsolidasi lebih cepat.

2. Drainase vertikal

Prinsip drainase vertikal seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa tanah lempung lunak memiliki permeabilitas yang rendah, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan konsolidasi. Untuk mempersingkat waktu konsolidasi tersebut, drainase vertikal dikombinasikan dengan teknik *preloading*. Vertikal drainase tersebut sebenarnya merupakan jalur drainase buatan yang dimasukkan kedalam lapisan lempung dengan kombinasi *preloading*, air pori diperas keluar selama konsolidasi dan mengalir lebih cepat pada arah horizontal dari pada arah vertikal. Selanjutnya, air pori tersebut mengalir sepanjang jalur drainase vertikal yang telah diinstalasi. Oleh karena itu vertikal drainase berfungsi memperpendek jalur drainase dan sekaligus mempercepat proses konsolidasi.

## 2.7 Studi Terdahulu

### 2.7.1 Stabilisasi Tanah Menggunakan Kapur

Kapur adalah jenis bahan stabilisasi yang sudah sejak lama digunakan, terutama untuk tanah lempung. Jenis kapur yang umum digunakan mencakup kapur kembang (kalsium oksida, CaO) dan kapur padam (kalsium hidroksida, Ca(OH)<sub>2</sub>). Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2010) reaksi pozolan terjadi dengan berlalunya waktu, maka silika (SiO<sub>2</sub>) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang terkandung dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan bereaksi dengan kapur dan membentuk kalsium silikat hidrat seperti tobermorit, kalsium aluminat hidrat 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.12H<sub>2</sub>O dan gehlenit hidrat 2CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O.

Pembentukan senyawa-senyawa kimia ini berlangsung terus menerus untuk waktu yang lama sehingga berperilaku sebagai pengikat (*binder*), dan menyebabkan tanah menjadi keras serta tidak mudah rapuh (*durable*). Hasil-hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa stabilisasi dengan kapur menurunkan batas cair dan meningkatkan batas plastis yang selanjutnya berpengaruh terhadap penurunan indeks plastisitas tanah (Little, 1995; Mallela et al., 2004). Penurunan indeks plastisitas memfasilitasi kemudahan pelaksanaan (*workability*). Stabilisasi dengan kapur meningkatkan kadar air optimum dan mengurangi kepadatan kering maksimum tanah (C. H. Neubauer, Jr. and Thompson 1972; Little 1995). Stabilisasi dengan kapur dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas tanah.

Peningkatan kekuatan tekan bebas tersebut sebagai hasil dari reaksi flokulasi-aglomerasi dan mengarah kepada *workability* yang lebih baik, dan terus meningkat untuk jangka panjang akibat reaksi pozolan. Kekuatan tekan bebas meningkat sesuai meningkatnya waktu pemeraman (*mellowing time*) (Mallela, J., Quintus, H. V. and Smith 2004). Tipikal kriteria minimum kekuatan tekan bebas stabilisasi tanah dengan kapur untuk lapis fondasi bawah dan fondasi atas berada pada kisaran 7 kg/cm<sup>2</sup> dan 14 kg/cm<sup>2</sup> (Little 1995).

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh Sutikno dan Budi Damianto pada jurnalnya stabilisasi tanah ekspansif dengan penambahan kapur aplikasi pada pekerjaan timbunan pembahasan pengujian tanah ekspansif dengan kapur.

Berdasarkan indeks plastisitas (IP) terhadap penambahan kapur tanah ekspansif mengalami peningkatan indeks plastisitas (IP) bersamaan dengan penambahan kadar kapur. Penambahan kadar kapur yang dapat mempengaruhi IP pada kondisi cukup signifikan hanya sampai pada penambahan 6%. Pada kapur penambahan lebih dari 6% perubahan sangat kecil, yaitu 9,34% (dari penambahan kapur 6% ke 9%), sedangkan penambahan kadar kapur 6% mampu menambah IP sebesar 30,87% sehingga mengalami peningkatan maksimum.

### 2.7.2 Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen

Semen merupakan bahan anorganik halus yang memiliki sifat mengikat kuat secara hidrolis bila dicampur dengan air untuk menghasilkan produk yang stabil dan tahan lama. Ketika semen dicampur dengan tanah, reaksi utama yang terjadi adalah reaksi semen dengan air dalam tanah yang mengarah pada pembentukan material yang bersifat semen (*cementitious material*). Reaksi yang terjadi tidak tergantung dari sifat tanah dan untuk alasan tersebut maka semen dapat digunakan untuk menstabilkan berbagai jenis tanah, kecuali untuk tanah organik atau mengandung sulfat. Beberapa hasil penelitian memperlihatkan bahwa tanah-tanah berbutir (*granular*) dan lempung berplastisitas rendah lebih cocok untuk distabilisasi dengan semen (Currin, Allen, and Little 1976; Prusinski 1999).

Stabilisasi dengan semen menyebabkan perubahan kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum, tetapi arah perubahan tidak dapat diprediksi (ACI 1990). Untuk tanah yang menurut USCS diklasifikasikan sebagai lanau plastisitas rendah (ML), pasir lanauan bergradasi buruk (SP-SM) dan lanau lempungan berplastisitas rendah (MLCL), stabilisasi dengan semen mampu meningkatkan kekuatan tekan bebas, akan tetapi tegangan aksial maksimum cenderung tercapai pada persentase regangan yang semakin kecil sesuai meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan (Muhunthan and Sariosseiri 2008).

Hal tersebut menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dengan semen cenderung bersifat mudah rapuh (*brittle*). Untuk stabilisasi dengan semen, kriteria

utama yang digunakan adalah kekuatan tekan bebas. Berdasarkan kriteria tersebut, Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) menetapkan persyaratan untuk lapis fondasi tanah semen setelah *curing time* 7 hari sebesar 20 kg/cm<sup>2</sup> – 35 kg/cm<sup>2</sup> dengan kekuatan tekan bebas target 24 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk jalan lalu lintas ringan (*light traffic*), nilai kekuatan tekan bebas untuk lapis fondasi bawah dan fondasi tanah-semen masing-masing sekitar 7 kg/cm<sup>2</sup> dan 14 kg/cm<sup>2</sup> (Ingles, O.G. and Metcalf 1973).

Sedangkan pada pengujian yang dilakukan oleh roni indra lesmana, muhardi, dan soewignjo agus nugroho pada jurnalnya yang berjudul stabilisasi tanah plastisitas tinggi dengan semen menunjukkan hasil penelitiannya bahwa terjadinya peningkatan nilai daya dukung tanah pada pemeraman 28 hari secara signifikan. Pada tanah semen OPC peningkatan nilai CBR maksimum terjadi pada campuran 10% yaitu 139,70%, sedangkan pada tanah semen PCC peningkatan nilai CBR maksimum terjadi pada campuran 10% yaitu sebesar 116,43%. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu pemeraman yang dilakukan akan membentuk partikel yang lebih keras sehingga campuran tanah dengan semen mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan tanah asli.

### 2.7.3 Stabilisasi Dua Tahap Menggunakan Kapur dan Semen

Kapur umumnya digunakan untuk memperbaiki karakteristik kembang susut dari tanah ekspansif karena mengandung mineral bersifat *pozzolanic*, yaitu senyawa silika dan alumina yang bereaksi dengan kapur untuk menghasilkan bahan bersifat semen berupa kalsium-silikat-hidrat (C-S-H) dan kalsiumaluminat-hidrat (C-A-H), mirip dengan produk hidrasi semen Portland. Namun, karena reaksi *pozzolanic* ini sangat tergantung pada waktu dan suhu, peningkatan kekuatan biasanya lambat dan terus berlanjut untuk jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, semen biasanya ditambahkan ke tanah yang telah dimodifikasi dengan kapur untuk meningkatkan laju peningkatan kekuatan atau yang sering dikenal dengan istilah stabilisasi dua tahap.

Lucian (2018) memperlihatkan bahwa memodifikasi tanah ekspansif yang mengandung senyawa kimia utama silika (55%), alimuna (18%) dan ferioksida



(7%), dengan menambahkan kapur sebanyak 4% dapat menurunkan indeks plastisitas dari 36,7% menjadi 5,9% setelah melalui proses pemeraman 4 jam. Untuk penambahan persentase kadar kapur 6%, 8% dan 10% indeks plastisitas juga mengalami penurunan menjadi 7,9%, 9,5% dan 8,5%. Stabilisasi tanah ekspansif dengan kapur dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas (Lucian 2018). Peningkatan kekuatan tekan bebas cenderung semakin tinggi sesuai meningkatnya persentase kadar kapur yang digunakan. Setelah melalui proses pemeraman selama 7 hari, stabilisasi dengan 4%, 6%, 8% dan 10% kapur pada tanah asli dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas dari 1,08 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 2,42 kg/cm<sup>2</sup> , 3,58 kg/cm<sup>2</sup> , 15,91 kg/cm<sup>2</sup> dan 8,06 kg/cm<sup>2</sup> . Stabilisasi dengan semen pada tanah asli dengan 2%, 4% dan 6% semen (setelah pemeraman 7 hari) dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas dari 1,08 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 4,13 kg/cm<sup>2</sup> , 8,85 kg/cm<sup>2</sup> dan 8,01 kg/cm<sup>2</sup> .

Sementara jika dilakukan stabilisasi dua tahap dengan 4% kapur kemudian diperam 7 hari dan dilanjutkan dengan penambahan 6% semen dan diperam kembali 7 hari, akan meningkatkan kekuatan tekan bebas menjadi 22,94 kg/cm<sup>2</sup> . Berdasarkan hasil tersebut, stabilisasi dua tahap dengan kapur dan semen sangat dianjurkan bila dihadapkan pada tanah ekspansif serupa atau termasuk kelompok lempung dengan plastisitas tinggi.

Pengujian yang kedua dilakukan oleh Nyoman Suaryana dan Silvester Fransisko (2018) bahwa pengaruh kapur pada kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum menunjukkan stabilisasi dengan 4% kapur menghasilkan *OMC* (*optimum moisture content*) sebesar 24,00% dan *MDD* (*maximum dry density*) sebesar 1,569% dan hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan stabilisasi dua tahap dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari 1,9 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 9,05 kg/cm<sup>2</sup> dengan kadar kapur 6% pada tahap pertama dan dengan menggunakan semen sebanyak 8% pada tahap kedua dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari 9,05% kg/cm<sup>2</sup> menjadi 14,55 kg/cm<sup>2</sup>. Hal tersebut menunjukkan stabilisasi

menggunakan dua tahap menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode satu tahap.

