

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Selain itu, tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, H.C., 1992).

Bagi insinyur sipil, kata "tanah" merujuk ke material yang tidak membatu, tidak termasuk batuan dasar, yang terdiri dari butiran-butiran mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta memiliki bentuk dan ukuran, bahan organik, air dan gas yang bervariasi. Jadi tanah meliputi gambut, tanah organik, lempung, lanau, pasir dan kerikil atau campurannya (Panduan Geoteknik 1, 2001). Sedangkan menurut Dunn, 1980 berdasarkan asalnya, tanah diklasifikasikan secara luas menjadi 2 macam yaitu :

- a. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.

- b. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

B. Klasifikasi Tanah

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

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau dan lempung), sifat plastisitas butir halus. Klasifikasi bermaksud membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama. Ada dua cara klasifikasi yang umum yang digunakan:

1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem klasifikasi ini bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

a. Ukuran butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (No.10).

Pasir : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,0075 mm (No.200).

Lanau & lempung : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,0075 mm (No.200).

b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Dan nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

- c. Apabila ditemukan batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah berdasarkan tekstur dan plastisitas tanah. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah menjadi 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah berbutir yang 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3. Tanah berbutir yang lebih dari 35 % butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Untuk mengklasifikasikan tanah, maka data yang telah didapat dari percobaan laboratorium dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 1. Kelompok tanah dari sebelah kiri adalah kelompok tanah baik dalam menahan beban roda, juga baik untuk lapisan dasar tanah jalan. Sedangkan semakin ke kanan kualitasnya semakin berkurang.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	- Maks 50 Maks 25	- Min 51 Maks 10	- - Maks 35	- - Maks 35	- - Maks 35	- - Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5	A-6		A-7	
Analisis 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 (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Maks 41 Maks 10	Maks 40 Maks 11		Min 41 Min 11	
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Sistem klasifikasi AASHTO secara garis besar membagi tanah dalam dua kategori pokok, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus, yang dipisahkan oleh saringan No. 200. Tanah dianggap sebagai tanah berbutir halus jika lebih dari 35% tanah lolos saringan No. 200. Gambar 1 menunjukkan rentang nilai dari batas cair (*liquid limit*) dan indeks plastisitas (*plasticity index*) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

2. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (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) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Sistem klasifikasi USCS mengklasifikasikan tanah ke dalam dua kategori utama yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G untuk tanah berkerikil dan S untuk tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik dan P untuk tanah bergradasi buruk.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah C untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.

Tabel 2. Sistem klasifikasi tanah *unified* (Bowles, 1991)

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

Faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan klasifikasi yang benar adalah sebagai berikut :

- a. Persentase butiran yang lolos saringan No. 200.
- b. Persentase fraksi kasar yang lolos saringan No. 40
- c. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar - 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	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 dobel simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir 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 atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair 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 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			
PT			<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hary Christady, 1996.

C. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai tinggi. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1987). Ukuran mineral lempung (0,002 mm, dan yang lebih halus) agak bertindihan (*overlap*) dengan ukuran lanau. Akan tetapi, perbedaan antara keduanya ialah bahwa mineral lempung tidak lembam.

Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering, tanah akan bersifat keras, Jika tanah dalam keadaan basah akan bersifat lunak plastis dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar karena pengaruh air.

Sifat-sifat umum mineral lempung adalah sebagai berikut :

1. Hidrasi

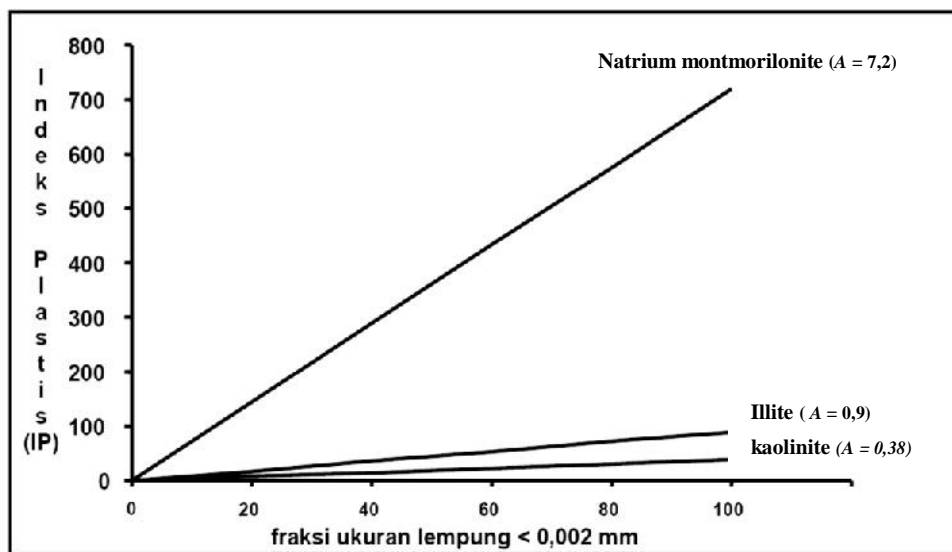
Partikel mineral lempung umumnya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi. Lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang di sekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60° C sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alami, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

2. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung merupakan perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dengan persentase butiran yang lebih kecil dari 2 μm yang dinotasikan dengan huruf *C* dan disederhanakan dalam persamaan berikut :

$$A = \frac{PI}{C}$$

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung.

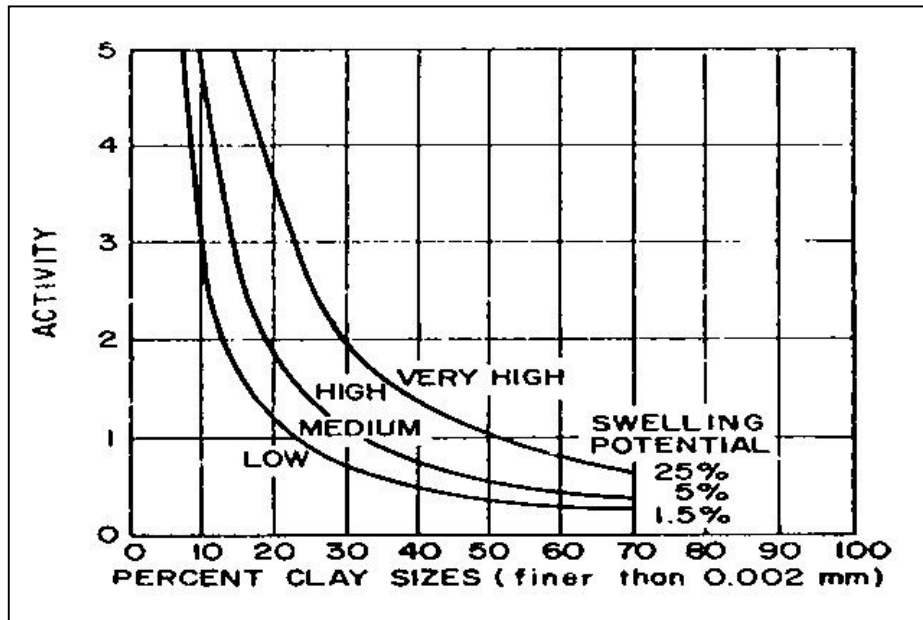


Gambar 1. Variasi indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung. (Hary Christady, 2002)

Gambar 1 di atas mengklasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitas yakni:

- a. *Montmorillonite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) 7,2
- b. *Illite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) 0,9 dan <math>< 7,2</math>
- c. *Kaolinite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) 0,38 dan <math>< 0,9</math>
- d. *Polygorskite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) <math>< 0,38</math>

Gambar 2 berikut ini menunjukkan grafik hubungan antara persentase ukuran lempung yang lebih kecil dari 0,002 mm dan aktivitas serta potensial pengembangan.



Gambar 2. Hubungan Antara Persentase butiran lempung dan Aktivitas. (Jhon D Nelson dan Debora J Miller, 1991)

3. Flokulasi dan dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal (*amorphus*) maka daya negatif *netto*, ion-ion H^+ di dalam air (gaya Van der Waals) dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk *flock* yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepat dan membentuk sedimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+),

sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropic*, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

4. Pengaruh zat cair

Kandungan air sangat berpengaruh terhadap perilaku tanah berbutir halus, sehingga tingkatan plastis tanah dapat ditentukan apabila batas plastis dan batas cairnya telah diketahui. Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas *Atterberg*, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi.

Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (*dipolar*). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya *dipolar* dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (Ccl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

Tabel 4. Sifat Tanah Lempung (Hary Christady, 2002)

Tipe Tanah	Sifat	Uji Lapangan
Lempung	Sangat Lunak	Meleleh diantara jari ketika diperas
	Lunak	Dapat diperas dengan mudah
	Keras	Dapat diperas dengan tekanan jari yang kuat
	Kaku	Tidak dapat diperas dengan jari, tapi dapat ditekan dengan jari
	Sangat Kaku	Dapat ditekan dengan jari

Faktor-faktor yang mempengaruhi plastisitas dan CBR tanah lempung (*clay*) adalah sebagai berikut :

1. Faktor lingkungan

Tanah dengan plastisitas tinggi dalam keadaan kadar air rendah atau hisapan yang tinggi akan menarik air lebih kuat dibanding dengan tanah yang sama dengan kadar air yang lebih tinggi. Perubahan kadar air pada zona aktif dekat permukaan tanah, akan menentukan besar plastisitas. Pada zona ini terjadi perubahan kadar air dan volume yang lebih besar. Variasi peresapan dan penguapan mempengaruhi perubahan kedalaman zona aktif. Keberadaan fasilitas seperti drainase, irigasi, dan kolam akan memungkinkan tanah memiliki akses terhadap sumber air. Keberadaan air pada fasilitas tersebut akan mempengaruhi perubahan kadar air tanah. Selain itu vegetasi seperti pohon, semak, dan rumput menghisap air tanah dan menyebabkan terjadinya perbedaan kadar air pada daerah dengan vegetasi berbeda.

2. Karakteristik material

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya di dalam struktur tanah. Gaya tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari gaya elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta gaya Van der Waals yang bergantung pada jarak antar permukaan partikel. Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listrik negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik. Sistem gaya internal kimia-listrik ini harus dalam keadaan seimbang antara gaya luar dan hisapan matrik. Apabila susunan kimia air tanah berubah sebagai akibat adanya perubahan komposisi maupun keluar masuknya air tanah, keseimbangan gaya-gaya dan jarak antar partikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antar partikel ini disebut sebagai proses kembang susut.

3. Kondisi tegangan

Tanah yang terkonsolidasi berlebih bersifat lebih ekspansif dibandingkan tanah yang terkonsolidasi normal, untuk angka pori yang sama. Proses pengeringan dan pembasahan yang berulang cenderung mengurangi potensi pengembangan sampai suatu keadaan yang stabil. Besarnya pembebanan akan menyeimbangkan gaya antar partikel sehingga akan mengurangi besarnya pengembangan. Ketebalan dan lokasi kedalaman lapisan tanah ekspansif mempengaruhi besarnya potensi kembang susut

dan yang paling besar terjadi apabila tanah ekspansif yang terdapat pada permukaan sampai dengan kedalaman zona aktif.

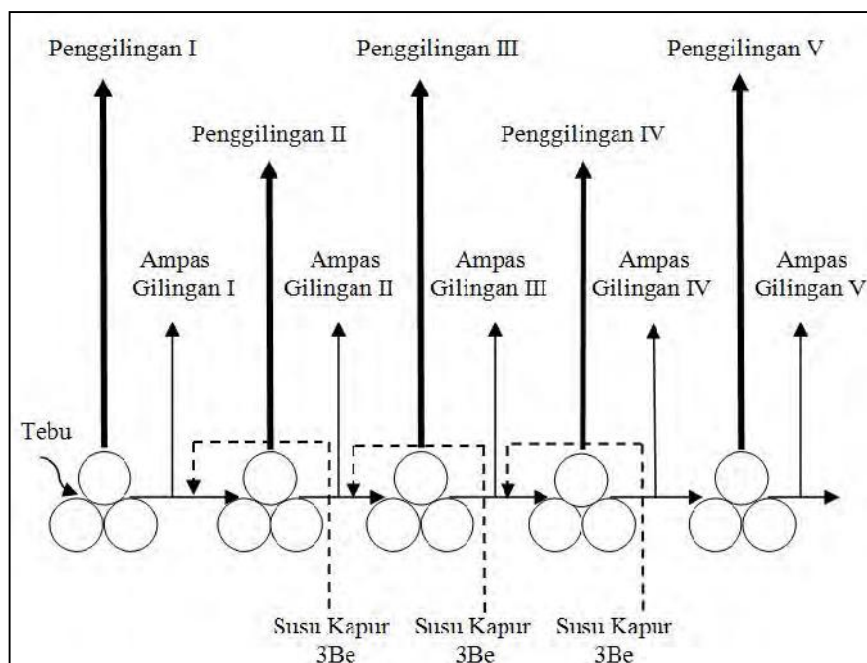
Penelitian ini menggunakan tanah lempung yang berasal dari desa Blimbingsari kecamatan Jabung Lampung Timur Tanah lempung tersebut akan distabilisasi menggunakan abu ampas tebu, dengan membandingkan batas-batas *Atterberg*, berat jenis (Gs), dan CBR tiap kadar campuran.

D. Ampas Tebu

Ampas tebu (*Bagasse*) adalah campuran dari serat yang kuat, dengan jaringan *parenchyma* yang lembut, mempunyai tingkat higroskopis yang tinggi, dan dihasilkan melalui proses penggilingan tebu (Kian dan Suseno. 2002).

Pada penggilingan tebu, terdapat 5 kali proses penggilingan dari batang tebu sampai menjadi ampas tebu, pada penggilingan pertama dan kedua dihasilkan nira mentah yang berwarna kuning kecokelatan, kemudian proses penggilingan ketiga, keempat dan kelima menghasilkan nira dengan volume yang berbeda-beda. Setelah gilingan terakhir, dihasilkan ampas tebu kering.

Pada proses penggilingan awal yaitu tahap penggilingan pertama dan kedua dihasilkan ampas tebu basah. Hasil dari ampas tebu gilingan kedua diberi tambahan susu kapur 3Be yang berfungsi sebagai senyawa yang menyerap nira dari serat ampas tebu sehingga pada penggilingan ketiga, nira masih dapat diserap meskipun volumenya lebih sedikit dari hasil gilingan kedua. Penambahan pada penggilingan ketiga, keempat dan kelima dilakukan dengan volume yang berbeda-beda. Semakin sedikit nira dalam ampas tebu, maka akan semakin banyak susu kapur 3Be yang ditambahkan. Proses penggilingan tebu dapat dilihat pada **Gambar 3**. berikut ini.



Gambar 3. Proses penggilingan tebu.

E. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu (*Bagasse Ash*) adalah produk buangan yang dihasilkan dalam jumlah besar dari pembakaran ampas tebu yang terdiri dari garam-garam anorganik. Komposisi kimia *bagasse ash* terdiri atas beberapa senyawa kimia yaitu Silica (SiO_2) sebesar 71 %, Alumina (Al_2O_3) sebesar 1,3 %, Ferri Trioksida (Fe_2O_3) sebesar 7,8 %, Calsium Oksida (CaO) sebesar 3,4 %, Magnesium Oksida (MgO) sebesar 0,3 %, Kalium Oksida (KaO) sebesar 8,2 %, Potasium Penta Oksida (P_2O_5) sebesar 3 % dan Mangan (MnO) sebesar 0,2 % (menurut *Dubey dan Varma Sugar By-Products & Subsidiary Industries dalam Kian dan Susesno. 2002*).

Dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas MIPA Unila tahun 2005, kandungan SiO_2 yang terkandung pada *bagasse ash* mencapai 44,87 % dan Fe_2O_3 sebesar 1,39 %. Pengujian yang

dilakukan, menunjukkan bahwa senyawa SiO_2 pada *bagasse ash* dapat bereaksi pada larutan basa kuat (NaOH) dan larutan asam pekat (HNO_3) 10% yang ditunjukkan dengan terdapatnya gelembung, timbulnya asap dan terjadinya penggumpalan. Kondisi ini menguatkan hipotesis bahwa *bagasse ash* memiliki sifat pozzolanik yaitu sifat dengan bertambahnya waktu, abu ampas tebu tersebut apabila bereaksi dengan alumina (Al_2O_3) dan CaO yang ada di lempung, maka tanah tersebut akan menjadi bertambah keras.

F. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mendapatkan kondisi tanah yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, serta untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Ingels dan Metcalf (1972), mengatakan bahwa sifat-sifat tanah yang diperbaiki dengan stabilisasi dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan/daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Bowless (1991), dalam bukunya Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis (Mekanika Tanah) stabilisasi tanah dalam realisasinya terdiri dari salah satu atau gabungan pekerjaan-pekerjaan berikut:

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis pemadatan mekanis, seperti mesin gilas, benda berat yang dijatuhkan (*pounder*), pemanasan, peledakan dengan alat peledak, tekanan statis, pembekuan, dan lain-lain.

2. Bahan pencampur (aditif), seperti; kerikil untuk kohesif (lempung), lempung untuk tanah berbutir kasar, pencampur kimiawi (semen portland, gamping/kapur, abu batu bara, semen aspal, dan lain-lain). Metode ini sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia yang memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada di dalam aditif tersebut untuk bereaksi.

G. California Bearing Ratio (CBR)

CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1” atau 0,2”. Jadi harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100% dalam memikul beban lalu lintas (Sukirman, 1992).

Penetrasi 0,1” (0,254 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \text{CBR (\%)} = \frac{P1}{1000} \times 100\%$$

Penetrasi 0,2” (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \text{CBR (\%)} = \frac{P2}{1500} \times 100\%$$

dengan :

P1 : tekanan uji pada penetrasi 0,1” (g/cm³).

P2 : tekanan uji pada penetrasi 0,2” (g/cm³).

Dari kedua nilai perhitungan tersebut digunakan nilai terbesar.

Menurut AASHTO T-193-74 dan ASTM D-1883-73, *California Bearing Ratio* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu beban terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Pemeriksaan CBR laboratorium dilaksanakan dengan dua macam metode yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*) (Sukirman, 1992). Hal yang membedakan pada dua macam metode tersebut adalah contoh tanah atau benda uji sebelum dilakukan pemeriksaan CBR.

Uji CBR metode rendaman adalah untuk mengasumsikan keadaan hujan atau saat kondisi terjelek di lapangan yang akan memberikan pengaruh penambahan air pada tanah yang telah berkurang airnya, sehingga akan mengakibatkan terjadinya pengembangan (*swelling*) dan penurunan kuat dukung tanah (Wikoyah, 2006).

Untuk metode CBR rendaman, contoh tanah di dalam cetakan direndam dalam air sehingga air dapat meresap dari atas maupun dari bawah dengan permukaan air selama perendaman harus tetap kemudian benda uji yang direndam telah siap untuk diperiksa.

Sedangkan untuk metode CBR tanpa rendaman, contoh tanah dapat langsung diperiksa tanpa dilakukan perendaman (ASTM D-1883-87).

H. Sifat Pengembangan Tanah (*Swelling*)

Proses pengembangan tanah (*swelling*) pada prinsipnya adalah peristiwa perubahan volume yang akan terus berlangsung sepanjang tahun seiring dengan perubahan musim.

Swelling Potential atau kemampuan mengembang tanah dipengaruhi oleh nilai aktivitas tanah. Setiap tanah lempung memiliki nilai aktivitas yang berbeda-beda, yang diidentifikasi tingkat aktivitas tanah dalam empat kelompok, yaitu :

- Low / Rendah : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* 1,5%.
- Medium / Sedang : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* > 1,5% sampai 5%.
- High / Tinggi : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* > 5% sampai 25%.
- Very High / Sangat Tinggi : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential* > 25%.

Tabel 5. Potensi pengembangan berbagai nilai indeks plastisitas.

Indeks Plastisitas (PI)	Potensi Pengembangan
0–15	Rendah
10–20	Sedang
20–35	Tinggi
> 35	Sangat Tinggi

Sumber : Chen, 1975 (dalam Warsiti, 1998).

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan.

Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

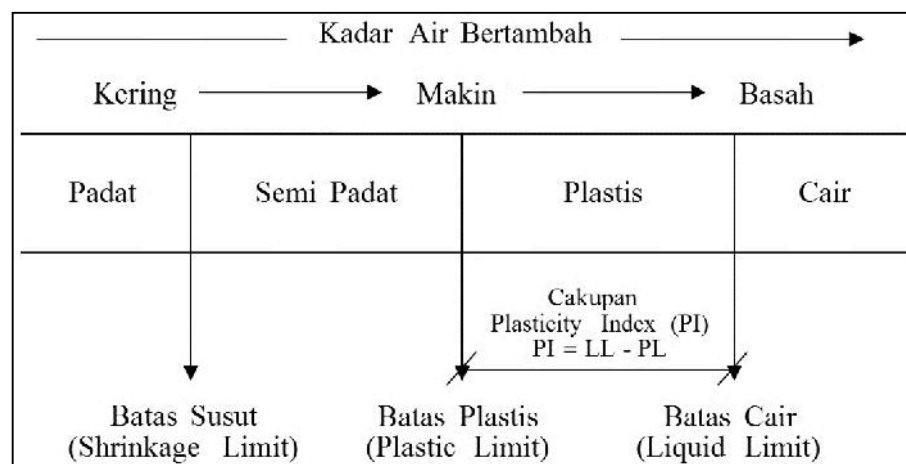
- 1) Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- 2) Kadar air.
- 3) Susunan tanah.
- 4) Konsentrasi garam dalam air pori.
- 5) Sementasi.
- 6) Adanya bahan organik, dan lain-lain.

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang (Usman, 2008).

I. Batas-batas Konsistensi

Batas-batas konsistensi atau disebut juga batas-batas *Atterberg* (yang diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu *Atterberg* pada tahun 1911) adalah batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah.

Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi. Kadar air tersebut bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung, bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel. Sedangkan jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, berdasarkan kadar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*). Seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 4**



Gambar 4. Batas Konsistensi Tanah.

Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas *Atterberg* antara lain:

- Batas cair (*Liquid Limit*).

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

- Batas plastis (*Plastic Limit*).

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

- Batas susut (*Shrinkage Limit*).

Batas susut (SL) adalah kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan 100%, dimana untuk nilai-nilai di bawahnya tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus. Harus diketahui bahwa batas susut makin kecil maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume.

- Indeks plastisitas (*Plasticity Index*).

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis.

- Berat spesifik (*Specific Gravity*).

Berat jenis tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (w) pada temperatur $t^\circ \text{C}$.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

J. Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung pada nilai kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya, bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah.

Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat teknik tanah, antara lain:

- Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai ϕ dan C (memperkuat tanah).
- Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban.
- Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai k (koefisien permeabilitas)
- Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Pemadatan tanah dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Di lapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang di dalamnya terdapat alat penggetar, getaran tersebut akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan di laboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan uji *proctor*, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah *mold*. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan

antara kadar air dengan berat volume. Berdasarkan tenaga pemadatan yang diberikan, pengujian *proctor* dibedakan menjadi 2 macam:

- *Proktor Standar.*
- *Proktor Modifikasi.*

Rincian mengenai persamaan ataupun perbedaan dari kedua *proctor* tersebut, diperlihatkan dalam **Tabel 6.**

Tabel 6. Elemen-elemen uji pemadatan di laboratorium (Das, 1988)

	<i>Proctor Standar (ASTM D-698)</i>	<i>Proctor Modifikasi (ASTM D-1557)</i>
Berat palu	24,5 N (5,5 lb)	44,5 N (10 lb)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12 in)	457 mm (18 in)
Jumlah lapisan	3	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25	25
Volume cetakan	1/30 ft ³	
Tanah	saringan (-) No. 4	
Energi pemadatan	595 kJ/m ³	2698 kJ/m ³

K. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian laboratorium yang menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian ini dikarenakan adanya kesamaan metode digunakan, akan tetapi untuk bahan aditif dan variasi campuran yang berbeda, antara lain :

Asnaning (2010) adalah mengenai “Pengujian Dampak Variasi Waktu Perendaman Terhadap Daya Dukung dan Pengembangan Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi Menggunakan Ionic Soil Stabilizer 2500“ mengatakan bahwa nilai CBR untuk tiap masa perendaman cenderung menurun seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman. Hal ini disebabkan semakin lamanya waktu perendaman, air yang terserap oleh tanah juga semakin banyak.

Tabel 7. Hasil Pengujian CBR Rendaman (Asnaning, 2010).

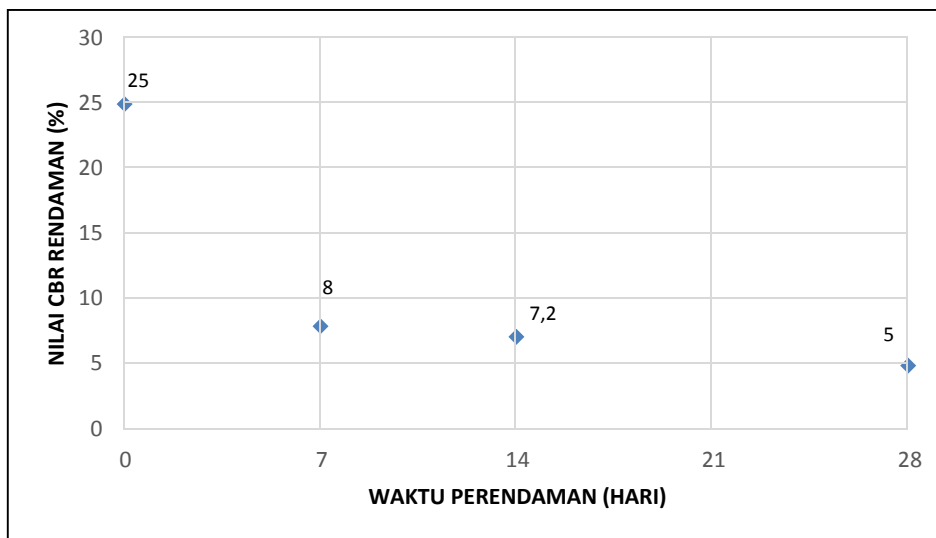
Lama Waktu Perendaman	Nilai CBR (%)
0 hari	29,5
7 hari	6,9
14 hari	4,8
28 hari	3,6

Fauzi (2011) adalah mengenai “Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung Plastisitas Rendah Menggunakan Ionic Soil Stabilizer 2500” mengatakan bahwa nilai CBR untuk tiap masa perendaman cenderung menurun seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman. Hal ini disebabkan semakin lamanya waktu perendaman, air yang terserap oleh tanah juga semakin banyak.

Tabel 8. Hasil Pengujian CBR Rendaman (Fauzi, 2011)

Lama Waktu Perendaman	Nilai CBR (%)
0 hari	25
7 hari	8
14 hari	7,2
28 Hari	5

Hubungan antara nilai CBR rendaman dengan lama waktu perendaman, disajikan dalam grafik pada **Gambar 5**.



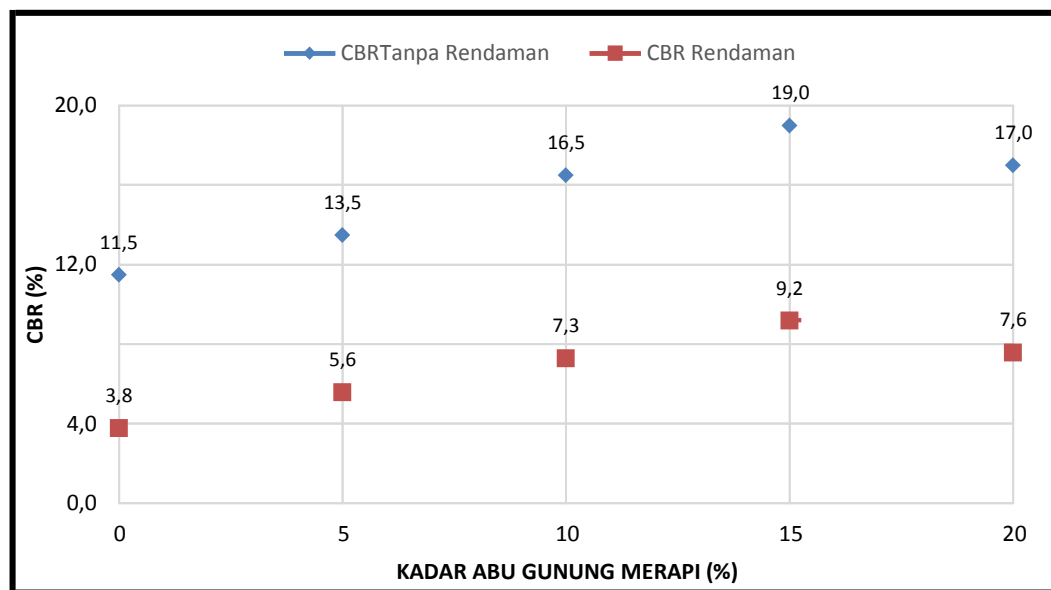
Gambar 5. Hubungan antara nilai CBR dengan variasi waktu perendaman (Fauzi, 2011)

Komarullah (2011), “Studi Daya Dukung Tanah Lempung Plastisitas Rendah yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi” menyatakan bahwa nilai CBR tanpa rendaman dengan waktu pemeraman selama 14 hari mengalami peningkatan sebesar 65,22% dari nilai CBR tanah asli sebesar 11,5% menjadi 19% pada kadar abu gunung Merapi 15%. Nilai CBR rendaman dengan waktu perendaman selama 4 hari mengalami peningkatan sebesar 142,11% dari nilai CBR tanah asli sebesar 3,8% menjadi 9,2% pada kadar abu gunung Merapi 15%. Berikut adalah tabel hasil pengujian CBR tiap kadar campuran.

Tabel 9. Hasil Pengujian CBR Tiap Kadar Campuran (Komarullah, 2011).

Kadar abu gunung Merapi	CBR (Tanpa Rendaman)	CBR (Rendaman)
0%	11,5%	3,8%
5%	13,5%	5,6%
10%	16,5%	7,3%
15%	19,0%	9,2%
20%	17,0%	7,6%

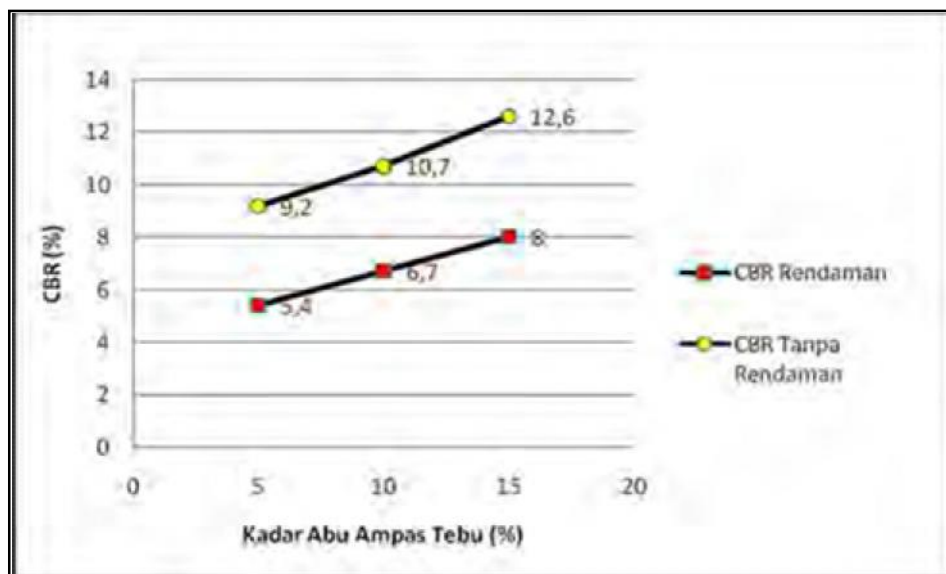
Hubungan antara nilai CBR rendaman dan CBR tanpa rendaman terhadap kadar abu gunung Merapi dengan kadar yang berbeda, disajikan dalam grafik pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hubungan Nilai CBR Rendaman dan CBR Tanpa Rendaman Terhadap Penambahan Kadar Abu Gunung Merapi (Komarullah, 2011)

Penelitian ini menghasilkan suatu kesimpulan bahwa Kadar Abu Gunung Merapi Optimum sebesar 15%. Berdasarkan penelitian tersebut dan pertimbangan bahwa tanah yang digunakan sama, maka dalam penelitian lanjutan ini ditetapkan Kadar Abu Gunung Merapi Optimum adalah 15%.

Safitri (2012), “Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu (*Bagasse Ash*) Sebagai Bahan Stabilisator Pada Tanah Lempung”. Menyatakan bahwa Penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung lunak Rawa Sragi mampu meningkatkan kekuatan daya dukungnya, hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

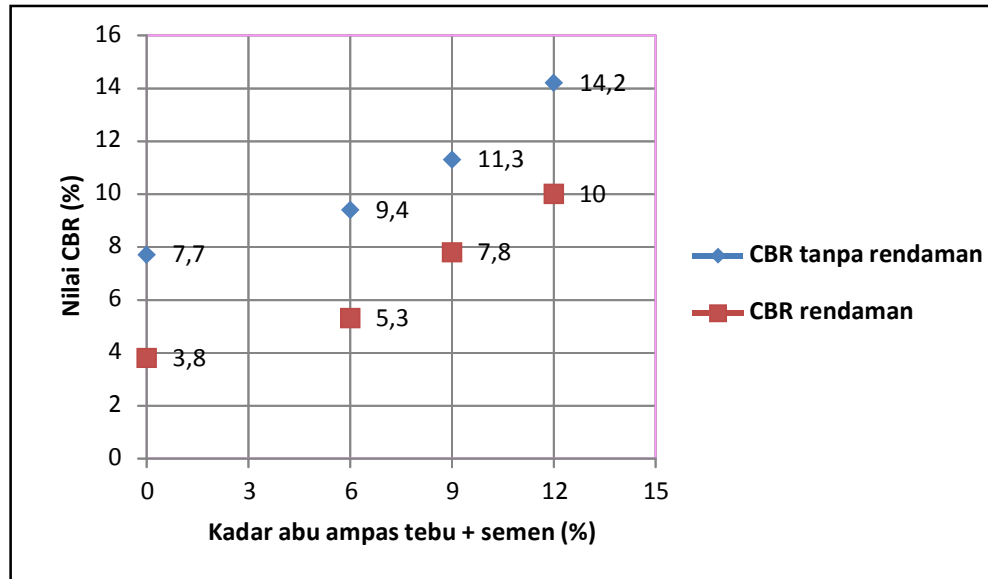


Gambar 7. Grafik Nilai CBR Pemeraman & Perendaman Tanah Lempung Lunak Menggunakan Abu Ampas Tebu.

Fitrian Sari (2012), “Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Yang Dicampur Semen Pada Stabilisasi Tanah Lempung Lunak”. Menyatakan bahwa penggunaan bahan campuran abu ampas tebu dan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung lunak Rawa Sragi mampu meningkatkan kekuatan daya dukungnya, hal ini dapat dilihat pada **Tabel 10** dan **Gambar 8** berikut ini.

Tabel 10. Hasil Pengujian CBR Tiap Kadar Campuran.

Kadar Abu Ampas Tebu + Semen	CBR (Tanpa Rendaman)	CBR (Rendaman)
0% (Tanah Asli)	7,7%	3,8%
6% (4% AAT + 2% PC)	9,4%	5,3%
9% (6% AAT + 3% PC)	11,3%	7,8%
12% (8% AAT + 4% PC)	14,2%	10%



Gambar 8. Hubungan Nilai CBR Rendaman dan CBR Tanpa Rendaman Terhadap Penambahan Kadar Abu Ampas Tebu + Semen.

