

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tanah

#### 1. Pengertian Tanah

Tanah dapat didefinisikan untuk maksud teknis sebagai bahan yang belum terkonsolidasi diatas batuan padat (*solid*). Didalamnya kita terutama dapat membedakan tanah atas (*topsoil*) yaitu bagian atas setebal 0,01-0,5 m dari bahan yang belum terkonsolidasi, yang mengandung bahan organik dan zat gizi tanaman. Tanah merupakan produk sampingan deposit akibat pelapukan kerak bumi dan/atau batuan yang tersingkap dalam matrik tanah (Bowles,1991).

Tanah didefinisikan sebagai suatu lapisan kerak bumi yang tidak padu dengan ketebalan beragam yang berbeda dengan bahan-bahan dibawahnya, juga tidak beku dalam hal warna, bangunan fisik, struktur susunan kimiawi, sifat biologis, proses kimiawi ataupun reaksi-reaksi (Sutedjo, 1988).

tanah adalah kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Tanah sebagai bahan teknik adalah bahan yang tak terkosolidasi (dikokohkan) yang tersusun dari partikel padat yang terpisah-pisah dengan cairan dan gas yang menduduki ruang-ruangan antar partikel tersebut (Forth,1994).

Tanah pada kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu dengan yang lainnya dengan kecocokan air. Material ini berasal dari hasil pelapukan batuan, baik secara fisik (mekanis) maupun kimia (Setyanto,1999).

## **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 teresimentasi, 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. Sistem-sistem tersebut adalah :

**a. Sistem Klasifikasi AASTHO (*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 (*sub-base*) 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 A-6, dan A-7.

Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

1) Ukuran Butir

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

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

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

2) Plastisitas

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

3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dileluarkan tersebut harus dicatat.

Tabel 1. Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan 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	$\leq 50$	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\geq 36$	$\geq 36$	$\geq 36$	$\geq 36$
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---	---	---	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 40$	$\leq 40$	$\geq 41$
Indek Plastisitas (PI)	$\leq 6$	---	NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
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, 1995.

**b. Sistem Klasifikasi Tanah 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 **W** - untuk gradasi baik (*well graded*), **P** - gradasi buruk (*poorly graded*), **L** - plastisitas rendah (*low plasticity*) dan **H** - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Adapun menurut *Bowles*, 1991 kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified* diperlihatkan pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Kelompok-Kelompok Tanah Utama Sistem Klasifikasi *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	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

Sumber : *Bowles*, 1991.

Klasifikasi sistem tanah *unified* secara visual di lapangan sebaiknya dilakukan pada setiap pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna di samping untuk dapat menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu ditambahkan, juga sebagai pelengkap klasifikasi yang di lakukan di laboratorium agar tidak terjadi kesalahan label.

Tabel 3. Sistem klasifikasi *unified*

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum	
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ 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
		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	
	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
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Tanah berbutir halus $50\%$ atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			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 diatomeae, atau lanau diatomeae, 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	



**Tabel 3.** (Lanjutan)

	Kriteria klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus < 5 % lolos saringan No. 200 GW, GP, SW, SP ≥ 12 % lolos saringan No. 200 GM, GC, SM, SC 5 - 12 % lolos saringan No. 200 klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60} / D_{10} > \text{dari } 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$	
	$C_u = D_{60} / D_{10}$ 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 <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$	

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  
 $PI = 0,73(LL - 20)$

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM designation D-2488

Sumber : Das, 1995.

## **B. Tanah Dasar (*Subgrade*)**

Tanah dasar merupakan lapisan tanah yang berada di permukaan, dimana sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar ini sangat mempengaruhi kekuatan dan keawetan konstruksi di atasnya secara keseluruhan. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tetapi jika tanah aslinya kurang baik maka tanah dasar dapat berupa tanah timbunan yang didatangkan dari tempat lain kemudian dipadatkan.(Nakazawa,1990). Fungsi tanah dasar adalah menerima tekanan akibat beban yang bekerja di atasnya, tanah dasar harus mempunyai kapasitas dukung yang optimal sehingga mampu menerima gaya akibat beban tanpa mengalami perubahan dan kerusakan yang berarti. Banyak metode yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah dasar, misalnya pemeriksaan CBR (*California bearing Ratio*), DCP (Dynamic Cone Penetrometer), dan  $k$  (modulus reaksi tanah dasar). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk perencanaan tebal perkerasan jalan ditentukan dengan pemeriksaan CBR dengan nilai minimal CBR sebesar 6% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga.

## **C. Tanah Lempung Organik**

### **1. Proses Terjadinya Tanah Organik**

Tanah organik terbentuk karena pengaruh iklim dan curah hujan tinggi yang sebenarnya cukup merata sepanjang tahun dengan topografi tidak rata, sehingga memungkinkan terbentuknya depresi-depresi. Sebagai akibat tipe iklim serupa itu, tidak terjadi perbedaan menyolok pada musim

hujan dan kemarau. Vegetasi hutan berdaun lebar dapat tumbuh dengan baik sehingga menghalangi insolasi dan kelembaban yang tinggi dapat dipertahankan di lingkungan tersebut. Pada daerah cekungan dengan genangan air terjadi akumulasi bahan organik. Hal ini disebabkan suasana anaerob menghambat oksidasi bahan organik oleh jasad renik, sehingga proses humifikasi akan terjadi lebih nyata dari proses mineralisasi. Penguraian bahan organik hanya dilakukan oleh bakteri anaerob, cendawan dan ganggang. Kecepatan dekomposisi ini dipengaruhi oleh jenis dan jumlah bakteri anaerob, sifat vegetasi, iklim, topografi dan sifat kimia airnya.

## **2. Sifat Tanah Organik**

Sifat dan ciri tanah organik dapat ditentukan dengan berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Adapun sifat dan ciri tersebut antara lain:

### **a. Warna**

Umumnya tanah organik berwarna coklat tua dan kehitaman , meskipun bahan asalnya berwarna kelabu, coklat atau kemerah-merahan, tetapi setelah mengalami dekomposisi muncul senyawa-senyawa humik berwarna gelap. Pada umumnya, perubahan yang dialami bahan organik kelihatannya sama yang dialami oleh sisa organik tanah mineral, walaupun pada tanah organik aerasi terbatas.

### **b. Berat isi**

Dalam keadaan kering tanah organik sangat kering, berat isi tanah organik bila dibandingkan dengan tanah mineral adalah rendah, yaitu

0,2 - 0,3 merupakan nilai umum bagi tanah organik yang telah mengalami dekomposisi lanjut. Suatu lapisan tanah mineral yang telah diolah berat isinya berkisar 1,25 - 1,45.

c. Kapasitas menahan air

Tanah Organik mempunyai kapasitas menahan air yang tinggi. Mineral kering dapat menahan air  $1/5 - 2,5$  dari bobotnya, sedangkan tanah organik dapat 2 - 4 kali dari bobot keringnya. Gambut lumut yang belum terkomposisi sedikit lebih banyak dalam menahan air, sekitar 12 atau 15 bahkan 20 kali dari bobotnya sendiri.

d. Struktur

Ciri tanah organik yang lain adalah strukturnya yang mudah dihancurkan apabila dalam keadaan kering. Bahan organik yang telah terdekomposisi sebagian bersifat koloidal dan mempunyai kohesi dan plastisitasnya rendah. Suatu tanah berbahan organik yang baik adalah *poroous* atau mudah dilewati air, terbuka dan mudah diolah. Ciri-ciri ini sangat diinginkan oleh pertanian tetapi tidak baik untuk bahan konstruksi sipil.

Sebagai akibat dari kemampuan yang besar untuk menahan air, maka apabila terjadi perbaikan drainase dimana dengan adanya pengurangan kadar air akan terjadi pemadatan struktur tanah organik, hal ini akan menurunkan muka tanah dan kalau ada tumbuhan akarnya akan muncul di atas permukaan tanah.

e. Reaksi masam

Pada tanah organik, dekomposisi bahan organik akan menghasilkan asam-asam organik yang terakumulasi pada tubuh tanah, sehingga akan meningkatkan keasaman tanah organik. Dengan demikian tanah organik akan cenderung lebih masam dari tanah mineral pada kejenuhan basah yang sama.

f. Sifat koloidal

Sifat ini mempunyai kapasitas tukar kationnya lebih besar, serta sifat ini lebih jelas diperlihatkan oleh tanah organik daripada tanah mineral. Luas permukaan dua hingga empat kali daripada tanah mineral.

g. Sifat penyangga

Pada tanah organik lebih banyak diperlukan belerang atau kapur yang digunakan untuk perubahan pH pada tingkat nilai yang sama dengan tanah mineral. Hal ini disebabkan karena sifat penyangga tanah ditentukan oleh besar kapasitas tukar kation, dengan demikian tanah organik umumnya memperlihatkan gaya resistensi yang nyata terhadap perubahan pH bila diandingkan dengan tanah mineral.

### **3. Identifikasi Organik**

Terdapat dua sistem penggolongan utama yang dilakukan, yakni sistem penanggulangan AASHTO (metode AASHTO M 145 atau penandaan ASTM D-3282) dan sistem penggolongan tanah bersatu (penandaan ASTM D-2487). Dalam metode AASHTO, tidak tercantum untuk gambut

dan tanah yang organik, sehingga ASTM D-2487 harus digunakan sebagai langkah pertama pada pengidentifikasian gambut.

Tabel 4. Penggolongan tanah berdasarkan kandungan organik

KANDUNGAN ORGANIK	KELOMPOK TANAH
$\geq 75 \%$	GAMBUT
25 % - 75 %	TANAH ORGANIK
$\leq 25 \%$	TANAH DENGAN KANDUNGAN ORGANIK RENDAH

(SUMBER : PEDOMAN KONSTRUKSI JALAN DI ATAS TANAH GAMBUT DAN ORGANIK, 1996)

Pada penelitian ini tanah yang digunakan adalah tanah dari Rawa Sragi Lampung Timur.

#### D. 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 mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Sifat – sifat tanah yang telah diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Menurut *Bowles*, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.

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

Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut (Bowles, 1991) :

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Bahan Pencampur (*Additiver*), yaitu penambahan kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir, dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu vulkanik/batubara, gamping dan/atau semen, semen aspal, sodium dan kalsium klorida, limbah pabrik kertas dan lain-lainnya.

Metode atau cara memperbaiki sifat – sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat – sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam *additive* untuk bereaksi.

#### **E. Abu Vulkanik Merapi**

Abu Vulkanik Merapi adalah abu yang berasal dari aktivitas vulkanik gunung berapi. Pada penelitian kali ini abu vulkanik yang digunakan adalah abu

vulkanik yang berasal dari aktivitas vulkanik Gunung Merapi yang ada di daerah Yogyakarta. Stabilisasi Elektro-Kimiawi Abu Vulkanik Merapi adalah pencampuran tanah asli dengan Abu Vulkanik Merapi yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat buruk tanah, seperti kembang susut menjadi tanah yg mudah dipadatkan dan stabil secara permanen. Abu Vulkanik adalah Abu yang berasal dari aktivitas vulkanik dari Gunung berapi. Pada penelitian ini abu vulkanik yang digunakan adalah abu vulkanik yang berasal dari aktivitas vulkanik gunung Merapi yang ada di daerah lereng gunung Merapi di daerah Yogyakarta.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL), 1994 Yogyakarta, Abu vulkanik gunung Merapi mengandung komposisi kimia seperti yang tercantum pada Tabel berikut ini :

Tabel 5. Komposisi Kimia Abu Vulkanik Gunung Merapi

NamaUnsur	Sampel 1 (%)	Sampel 2 (%)
SiO <sub>2</sub>	54.56	54.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.37	18.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.59	8.43
CaO	8.33	8.31
MgO	2.45	2.17
Na <sub>2</sub> O	3.62	3.82
K <sub>2</sub> O	2.32	2.23
MnO	0.17	0.17
TiO <sub>2</sub>	0.92	0.91
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32	0.3
H <sub>2</sub> O	0.11	0.12
HD	0.2	0.18

Sumber :Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL), 1994 Yogyakarta

Dari data diatas terlihat unsur silika (SiO<sub>2</sub>) merupakan unsur yang dominan (terbanyak). Seperti kita ketahui bahwa silika adalah unsur pembentuk utama dalam pembuatan semen.



Suatu bahan bersifat *pozzolani*, salah satunya apabila mengandung jumlah  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  minimum 70 % (ASTM C.618). Mekanisme proses terjadinya peningkatan kekuatan beton oleh adanya bahan bersifat *pozzolan* adalah sebagai berikut:

Terjadinya proses hidrasi antara Abu Gunung Merapi dengan air



Trikalsium Silikat

Kapur Bebas



Dikalsium Silikat

Kapur Bebas



Tetra Kalsium Alumino Ferite

Kalsium Alumino Hidrat



Trikalsium Aluminat

Tetra Kalsium Aluminat Hidrat



Gypsum

Kalsium Mono Sulfoaluminat

Dari persamaan reaksi tersebut diatas, terlihat adanya  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bebas.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  bebas akan diikat oleh silikat yang terkandung didalam abu gunung merapi, dengan reaksi sebagai berikut:



#### *Reaksi Pozzoland*

dengan demikian abu vulkanik Gunung Merapi mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat yang bertambahnya waktu, maka bahan tersebut apabila bereaksi dengan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan CaO yang ada dilempung organik akan menjadi bertambah keras.



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

1. 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.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah yang di buat menyerupai lidi-lidi sampai dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak, putus atau terpisah ketika digulung.

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

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

4. 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.

### **G. *California Bearing Ratio (CBR)***

*California Highway-Division* di Amerika Serikat mempergunakan istilah *California Bearing Ratio (CBR)* untuk menyatakan daya dukung tanah. Istilah ini menunjukkan suatu perbandingan (ratio) antara beban yang diperlukan

untuk menekan piston logam (luas penampang 3 sqinch) ke dalam tanah untuk mencapai penurunan (penetrasi) tertentu dengan beban yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991).

## 1. Kegunaan *CBR*

Metode perencanaan perkerasan jalan yang digunakan sekarang yaitu dengan metode empiris, yang biasa dikenal *CBR (California Bearing Ratio)*. Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Nilai *CBR* akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dari nilai *CBR* digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas.

## 2. Jenis *CBR*

*CBR* terdiri dari dua jenis :

### a. *CBR Lapangan*

*CBR lapangan* disebut juga *CBR in-place* atau *field CBR* dengan kegunaan sebagai berikut :

1. Mendapatkan *CBR* asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah dasar. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.

2. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan ini tidak umum digunakan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

b. CBR Laboratorium

CBR Laboratorium dapat disebut juga CBR Rencana Titik. Tanah dasar pada jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan.

### 3. Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 sqinch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *Proving Ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1" dan penetrasi 0,2", yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,1"} = \frac{A}{3000} \times 100\%$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,2"} = \frac{B}{4500} \times 100\%$$

Dimana :

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1"

B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2"

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terbesar diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR diatas.

## H. Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1991). Usaha pemadatan tersebut akan menyebabkan volume tanah akan berkurang, volume pori berkurang namun volume butir tidak berubah. Hal ini bisa dilakukan dengan cara menggilas atau menumbuk.

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

1. Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai  $\theta$  dan C (memperkuat tanah),
2. Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban,
3. Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai k,
4. Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Adapun prosedur dinamik laboratorium yang standar digunakan untuk pemadatan tanah biasanya disebut uji "*Proctor*". Berdasarkan tenaga pemadatan yang diberikan, pengujian *proctor* dibedakan menjadi 2 macam :

1. Proctor Standar
2. Proctor Modifikasi

Rincian mengenai persamaan ataupun perbedaan dari kedua *proctor* tersebut, diperlihatkan dalam Tabel 6 berikut ini :

Tabel 6. Elemen-elemen uji pemadatan di laboratorium

	<b>Proctor Standar</b> (ASTM D-698)	<b>Proctor Modifikasi</b> (ASTM D-1557)
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 <sup>3</sup>	
Tanah	saringan (-) No. 4	
Energi pemadatan	595 kJ/m <sup>3</sup>	2698 kJ/m <sup>3</sup>

Sumber : Bowles, 1991.

## I. Tinjauan Penelitian Terdahulu

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

### 1. Stabilisasi pada tanah Organik menggunakan Sekam Padi dan Semen.

Penelitian yang dilakukan oleh Andri Frandustie pada tahun 2011 adalah mengenai pemanfaatan sekam padi pada stabilisasi tanah organik dengan menggunakan semen Sebagai Lapis Pondasi Tanah Dasar (*Subgrade*) mengatakan bahwa penambahan 12% kadar campuran semen dan sekam padi dengan perilaku tanpa rendaman mampu meningkatkan nilai CBR sebanyak 2,54% dari tanah asli dan dapat dilihat hasil uji laboratorium

pada uji batas-batas konsistensi tanah sebelum dan setelah distabilisasi pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Batas-batas Konsistensi Pra dan Pasca Stabilisasi Menggunakan Sekam Padi dan Semen (Andri Frandustie, 2011)

Parameter batas-batas konsistensi	Tanah Asli	Tanah dicampur semen dan sekam padi
Batas cair (LL)	133,18 %	87,51 %
Batas plastis (PL)	96,84 %	83,91 %
Indeks plastisitas (IP)	36,35 %	25,71 %

## **2. Stabilisasi pada tanah berbutir halus menggunakan abu gunung Merapi.**

Penelitian yang dilakukan oleh Taufik Usman pada tahun 2008 yaitu Pengaruh Stabilisasi Tanah Berbutir Halus yang Distabilisasi Menggunakan Abu Merapi pada Batas Konsistensi dan CBR Rendaman yang menggunakan variasi campuran 4%, 6%, dan 8% dengan pemeraman dan perendaman. Stabilisasi dengan menambahkan aditif yaitu abu Merapi dengan campuran 8% dengan pemeraman selama 14 hari dan perendaman selama 4 hari diperoleh peningkatan nilai CBR rendaman sebesar 60% dan dapat dilihat hasil uji laboratorium pada uji batas-batas konsistensi tanah sebelum dan setelah distabilisasi pada Tabel .



Tabel 8. Nilai Batas-batas Konsistensi Pra dan Pasca Stabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi (Taufik Usman, 2008)

Parameter batas-batas konsistensi	Tanah Asli	Tanah dicampur Abu Gunung Merapi
Batas cair (LL)	103,21%	73,15%
Batas plastis (PL)	61,50%	47,92%
Batas susut (SL)	36,91%	20,02%
Indeks plastisitas (IP)	41,71%	25,44%

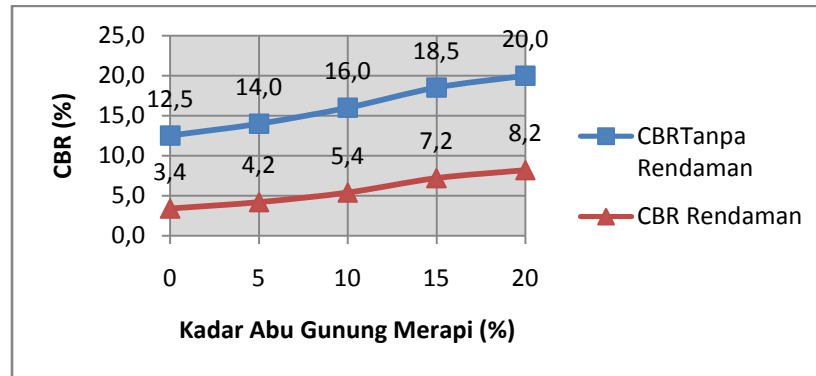
### 3. Daya dukung tanah menggunakan tanah pasir berlempung dengan bahan stabilisasi abu gunung Merapi

Penelitian stabilisasi abu gunung Merapi yang dilakukan oleh Daru (2011) yaitu mengenai *daya dukung tanah menggunakan tanah pasir berlempung dengan bahan stabilisasi abu gunung Merapi*.

Nilai CBR dengan berbagai waktu variasi campuran waktu pemeraman 14 hari dan perendaman 4 hari pada jenis tanah pasir berlempung dengan hasil pengujian seperti terlihat dalam Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian CBR tiap kadar campuran (Daru, 2011)

Kadar Abu Merapi	CBR (Tanpa Rendaman)	CBR (Rendaman)
0 %	12,5 %	3,4 %
5 %	14 %	4,2 %
10 %	16 %	5,4 %
15 %	18,5 %	7,2 %
20 %	20 %	8,2 %



Gambar 2. Hubungan nilai CBR rendaman dan tanpa rendaman Terhadap kadar Abu Gunung Merapi (Daru, 2011)

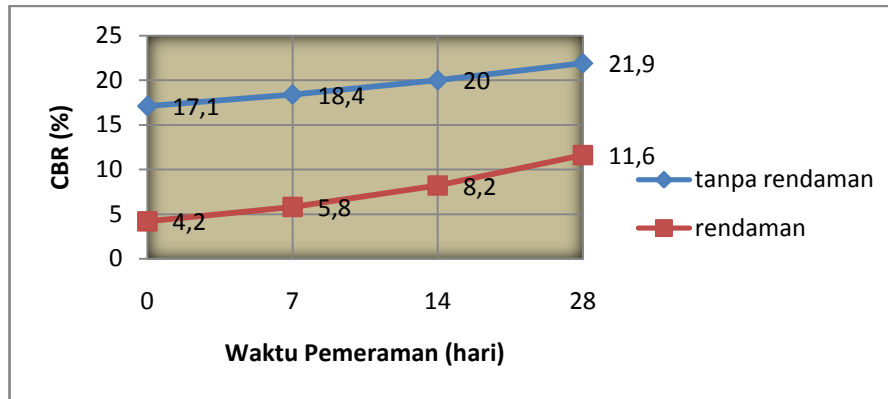
#### 4. Stabilisasi pada tanah pasir berlempung menggunakan abu Gunung Merapi dengan variasi waktu pemeraman.

Penelitian yang dilakukan oleh Andre Mei B. pada tahun 2012 yaitu mengenai *Pengaruh Waktu Pemeraman (Curing Time) Stabilisasi Tanah Pasir Berlempung Menggunakan Abu Gunung Merapi*.

Nilai CBR dengan waktu variasi pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari serta perendaman 4 hari pada jenis tanah pasir berlempung menggunakan bahan stabilisasi abu Gunung Merapi dengan kadar campuran abu optimum dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil uji CBR tiap waktu pemeraman (Andre Mei B, 2012)

Waktu Pemeraman (hari)	CBR (Tanpa Rendaman)	CBR (Rendaman)
0	17,9 %	4,2 %
7	18,4 %	5,8 %
14	20 %	8,2 %
28	21,9 %	11,6 %



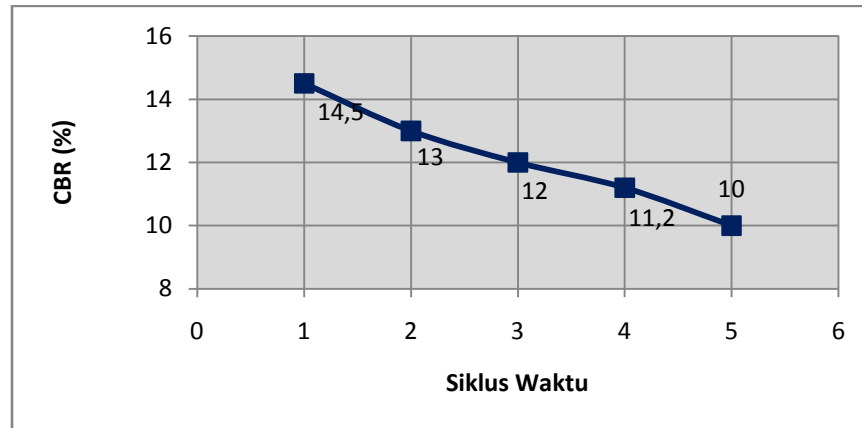
Gambar 3. Hubungan Nilai CBR Tanpa Rendaman Dan Rendaman Dengan Waktu Pemeraman (Andre Mei B, 2012)

### 5. Pengaruh Durabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah Pasir Berlempung yang di stabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi

Penelitian yang dilakukan oleh Edi Supriyono pada tahun 2013 yaitu mengenai *Pengaruh Durabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah Pasir Berlempung yang distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi*. Nilai CBR dengan beberapa waktu siklus pada jenis tanah pasir berlempung dengan kadar campuran abu optimum 20 % dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil pengujian CBR tiap siklus (Edi Supriyono, 2013)

Siklus	Nilai CBR %	Persentase Penurunan %
1 Siklus	14.5	10.34
2 Siklus	13	7.69
3 Siklus	12	6.67
4 Siklus	11.2	10.71
5 Siklus	10	



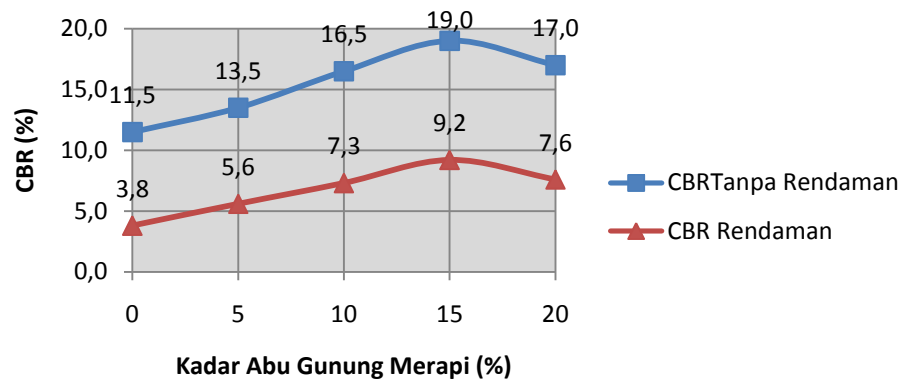
Gambar 4. Grafik CBR terhadap waktu siklus (Edi Supriyono, 2013)

## 6. Stabilisasi pada tanah lempung plastisitas rendah menggunakan abu Gunung Merapi.

Penelitian yang dilakukan oleh Chairul pada tahun 2011 yaitu mengenai *Daya Dukung Tanah Menggunakan Tanah Lempung Plastisitas Rendah Dengan Bahan Stabilisasi Abu Gunung Merapi*. Nilai CBR dengan perilaku pemeraman 14 hari dan perendaman 4 hari pada jenis tanah lempung plastisitas rendah dengan campuran abu gunung Merapi dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil uji CBR tiap kadar (Chairul, 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%



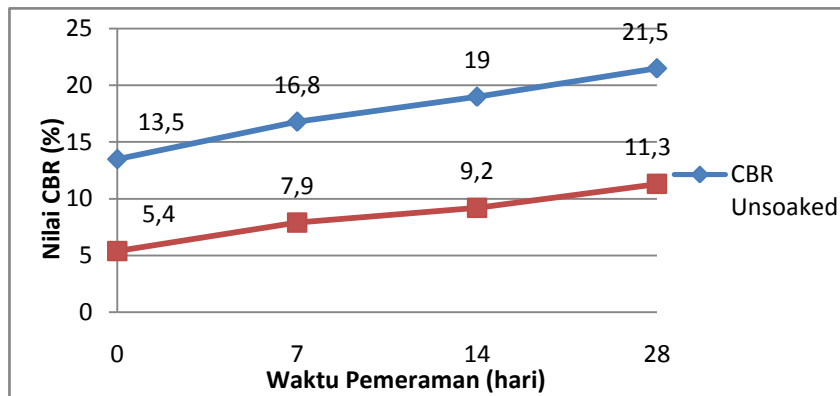
Gambar 5. Hubungan nilai CBR rendaman dan CBR tanpa rendaman terhadap kadar abu gunung Merapi (Chairul, 2011)

## 7. Pengaruh Waktu Pemeraman (Curing Time) Stabilisasi Tanah Lempung Plastisitas Rendah Menggunakan Abu Gunung Merapi.

Penelitian yang dilakukan oleh I Made Adi Irawan pada tahun 2011 yaitu mengenai *Pengaruh Waktu Pemeraman (Curing Time) Stabilisasi Tanah Lempung Plastisitas Rendah Menggunakan Abu Gunung Merapi*. Nilai CBR dengan waktu variasi pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari serta perendaman 4 hari pada jenis tanah lempung plastisitas rendah menggunakan stabilisasi abu Gunung Merapi dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 13. Hasil uji CBR tiap waktu pemeraman (I Made Adi, 2011)

Waktu Pemeraman (hari)	CBR Tanpa Rendaman (%)	CBR Rendaman (%)
0	13,5	5,4
7	16,8	7,9
14	19	9,2
28	21,5	11,3



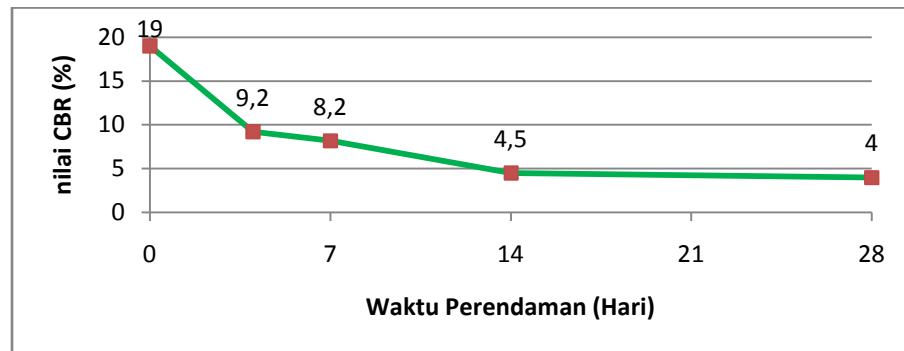
Gambar 6. Hubungan nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* dengan waktu Pemeraman (I Made Adi, 2011)

### 8. Stabilisasi pada tanah lempung plastisitas rendah menggunakan abu Gunung Merapi dengan variasi waktu perendaman.

Penelitian yang dilakukan oleh Soraya Putri pada tahun 2012 yaitu mengenai *Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung Plastisitas Rendah Yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi*. Nilai CBR dengan waktu pemeraman 14 hari dan variasi waktu perendaman pada jenis tanah lempung plastisitas rendah menggunakan stabilisasi abu Gunung Merapi dengan kadar campuran abu optimum dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Uji CBR Tiap Waktu Perendaman (Soraya Putri, 2011)

Lama Waktu Perendaman	Nilai CBR (%)
0 hari	19
4 hari	9,2
7 hari	8,2
14 hari	4,5
28 hari	4



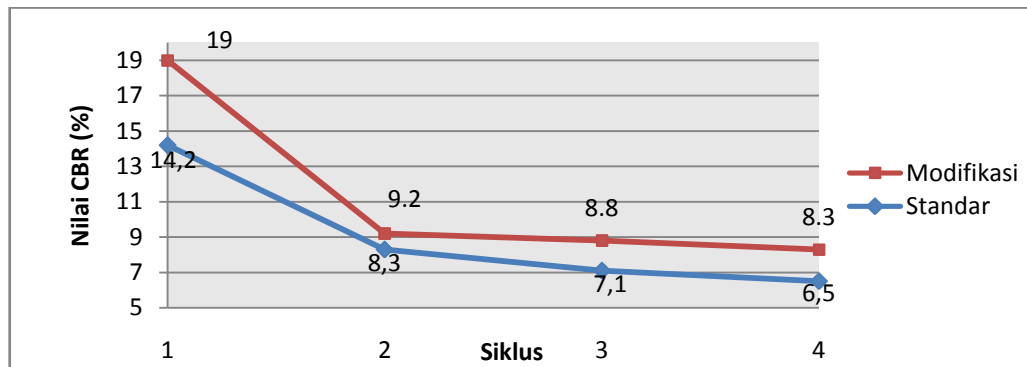
Gambar 7. Hubungan Antara Nilai CBR dengan Variasi Lama Waktu Perendaman (Soraya Putri, 2011)

**9. Stabilisasi pada tanah lempung plastisitas rendah menggunakan abu Gunung Merapi dengan membandingkan antara pemadatan standar dan pemadatan modifikasi.**

Penelitian yang dilakukan oleh Devi Fitriyani pada tahun 2012 yaitu mengenai *Perbandingan Antara Pemadatan Standar dengan Pemadatan Modifikasi Pada Tanah Lempung Plastisitas Rendah Yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi*. Nilai CBR dengan waktu tiap variasi siklus pada jenis tanah lempung plastisitas rendah menggunakan bahan stabilisasi abu Gunung Merapi dengan kadar campuran abu optimum dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil Uji CBR Tiap Siklus (Devi Fitriyani, 2011)

Perlakuan	CBR	
	Modifikasi	Standar
Siklus 1	19,0 %	14,2 %
Siklus 2	9,2 %	8,3 %
Siklus 3	8,8 %	7,1 %
Siklus 4	8,3 %	6,5 %



Gambar 8. Grafik Hubungan CBR Terhadap Waktu Siklus (Devi Fitriyani, 2011)

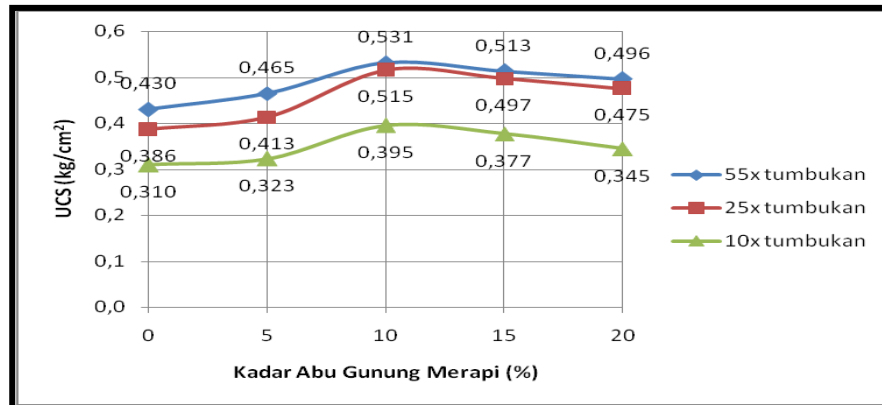
### 10. Studi Dan Analisis Kuat Tekan Tanah Lempung Organik yang Distabilisasi dengan Abu Gunung Merapi

Penelitian yang dilakukan oleh Imargani pada tahun 2012 yaitu mengenai *Studi Dan Analisis Kuat Tekan Tanah Lempung Organik yang Distabilisasi dengan Abu Gunung Merapi*. Nilai UCS dengan perilaku waktu pemeraman 14 hari pada jenis tanah lempung Organik menggunakan bahan stabilisasi abu gunung Merapi dengan variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Pengujian UCS setiap Campuran (M. Imargani Pranata, 2011)

Kadar Abu Merapi	10x Tumbukan (kg/cm <sup>2</sup> )	25x Tumbukan (kg/cm <sup>2</sup> )	55x Tumbukan (kg/cm <sup>2</sup> )
0 %	0,310	0,386	0,430
5 %	0,323	0,413	0,465
10 %	0,395	0,515	0,531
15 %	0,377	0,497	0,513
20 %	0,345	0,475	0,496





Gambar 9. Hubungan nilai UCS terhadap kadar abu Gunung Merapi (M. Imargani Pranata, 2011)

Tabel 18. Tabel Penelitian Menggunakan Abu Gunung Merapi

Nama	Judul	Waktu	Kadar Campuran	Pengujian / Perlakuan						
				CBR				UCS		
				Perendaman	Pemeraman	Standar	Modifikasi	10x Tumbukan (kg/cm <sup>2</sup> )	25x Tumbukan (kg/cm <sup>2</sup> )	55x Tumbukan (kg/cm <sup>2</sup> )
Daru Arga SDA	<i>Pemanfaatan Abu Gunung Merapi Sebagai Bahan Adiktif Pada Tanah Pasir Berlempung Sebagai Lapis Tanah Dasar (Subgrade) (2011)</i>	Pemeraman 14 hari + Perendaman 4 hari	0%	3,40%	12,50%					
			5%	4,20%	14%					
			10%	5,40%	16%					
			15%	7,20%	18,50%					
			20%	8,20%	20%					
Andre Mei B	<i>Pengaruh Waktu Pemeraman (Curing Time) Stabilisasi Tanah Pasir Berlempung Menggunakan Abu Gunung Merapi (2012)</i>	Peram 0 hari + Rendam 4 hari	20%	4,20%	17,90%					
		Peram 7 hari + Rendam 4 hari		5,80%	18,40%					
		Peram 14 hari + Rendam 4 hari		8,20%	20%					
		Peram 28 hari + Rendam 4 hari		11,60%	21,90%					
Edi Supriyono	<i>Pengaruh Durabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah Pasir Berlempung yang distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi (2013)</i>	1 Siklus	20%	14,50%						
		2 Siklus		13%						
		3 Siklus		12%						
		4 Siklus		11,20%						
		5 Siklus		10%						
Chairul Komarullah	<i>Daya Dukung Tanah Menggunakan Tanah Lempung Plastisitas Rendah Dengan Bahan Stabilisasi Abu Gunung Merapi (2011)</i>	Pemeraman 14 hari + Perendaman 4 hari	0%	3,80%	11,50%					
			5%	5,60%	13,50%					
			10%	7,30%	16,50%					
			15%	9,20%	19,00%					
			20%	7,60%	17,00%					
I Made Adi Irawan	<i>Pengaruh Waktu Pemeraman (Curing Time) Stabilisasi Tanah Lempung Plastisitas Rendah Menggunakan Abu Gunung Merapi (2011)</i>	Peram 0 hari + Rendam 4 hari	15%	5,40%	13,50%					
		Peram 7 hari + Rendam 4 hari		7,90%	16,80%					
		Peram 14 hari + Rendam 4 hari		9,20%	19%					
		Peram 28 hari + Rendam 4 hari		11,30%	21,50%					
Soraya Putri Zainanda	<i>Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung Plastisitas Rendah Yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi (2012)</i>	Perendaman 0 hari	15%	19%						
		Perendaman 4 hari		9,20%						
		Perendaman 7 hari		8,20%						
		Perendaman 14 hari		4,50%						
		Perendaman 28 hari		4%						
Devi Fitriyani	<i>Perbandingan Antara Pemasatan Standar dengan Pemasatan Modifikasi pada Tanah Lempung Plastisitas Rendah Yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi (2012)</i>	Siklus 1				14,20%	19,00%			
		Siklus 2				8,30%	9,20%			
		Siklus 3				7,10%	8,80%			
		Siklus 4				6,50%	8,30%			
M. Imargani Pranata	<i>Studi Dan Analisis Kuat Tekan Tanah Lempung Organik yang Distabilisasi dengan Abu Gunung Merapi (2012)</i>	Pemeraman 14 hari	0%					0,31	0,386	0,43
			5%					0,323	0,413	0,465
			10%					0,395	0,515	0,531
			15%					0,377	0,497	0,513
			20%					0,345	0,475	0,496

