

**PENGARUH PEMERAMAN TERHADAP NILAI CBR  
TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN ZEOLIT  
(Studi Penelitian)**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan untuk melengkapi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu  
(S-1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas HKBP Nommensen Medan*

Disusun oleh :

**MAHERSYAL HAS BAS SARUMAH**

**19310087**

Telah diuji dihadapan Tim Penguji Tugas Akhir pada tanggal 22 Februari 2024  
dan dinyatakan telah lulus sidang sarjana

Disahkan oleh :

**Dosen Pembimbing I**



**Surta Ria Nurlana Panjaitan, ST, MT**

**Dosen Penguji I**



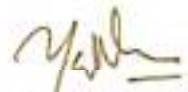
**Bartholomeus, ST, MT**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Yetty Riris Rotna Saragi, S.T., M.T., IPU ACPE**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Yetty Riris Rotna Saragi, S.T., M.T., IPU ACPE**

**Dosen Penguji II**



**Ir. Salomo Simanjuntak, M.T**

**Ketua Program Studi**



**Tiurma Elita Saragi, S.T., M.T**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Tanah adalah elemen penting dari struktur bawah konstruksi, baik untuk konstruksi bawah bangunan dan konstruksi perkerasan jalan. Tanah yang stabil tidak akan mendatangkan masalah tetapi bagaimana tanah yang tidak stabil seperti tanah lempung. Tanah jenis ini sebaiknya distabilkan terlebih dahulu sebelum membangun konstruksi di atasnya. Tanah juga merupakan elemen penting dari struktur bawah sebuah konstruksi, sehingga tanah harus mempunyai daya dukung yang baik. Namun kenyataan di lapangan banyak ditemukan tanah yang memiliki daya dukung yang rendah, sehingga perlu untuk melakukan stabilisasi tanah dengan penambahan zeolit.

Desa Gundaling I kecamatan Berastagi Kabupaten Karo merupakan daerah wisata yang penuh dengan keindahan alam. Jenis tanah di Desa tersebut didominasi oleh tanah lempung. Namun, pada kenyataannya tanah lempung memiliki sifat yang tidak stabil yaitu tanah kohesif yang mempunyai kekuatan geser rendah serta memiliki daya dukung yang rendah. Dengan begitu pembangunan konstruksi pada daerah Berastagi haruslah memperhatikan kestabilan tanah untuk mengurangi resiko-resiko yang fatal.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan variasi persentase yang efektif dalam penambahan zeolit dan pengaruh penambahan zeolit terhadap perubahan sifat fisis tanah dari segi nilai CBR (*California Bearing Ratio*) terhadap lama waktu pemeraman. Penelitian ini dilakukan di laboratorium, dengan melakukan pengujian sifat-sifat fisis tanah dan kuat dukung tanah (CBR) dengan variasi penambahan zeolit 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% dengan variasi lama pemeraman 0, 1, 4, 7 dan 14 hari.

Dalam penelitian ini penulis membuktikan stabilitas tanah lempung dengan penambahan zeolit. Maka penulis tertarik mengambil topik tugas akhir dengan judul “PENGARUH PEMERAMAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN ZEOLIT”.

#### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana stabilitas tanah lempung dengan penambahan zeolit 0%, 15%, 20%, 25% Dan 30%
2. Bagaimana perbandingan tanah lempung dengan waktu pemeraman 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari, dan 14 hari.

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Untuk membatasi lingkup permasalahan dan mempermudah pembahasan dalam penelitian ini, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Hasil analisis yang di peroleh hanya memfokuskan pada stabilitas tanah lempung dengan pemeraman 0 hari , 1 hari, 4 hari , 7 hari , dan 14 hari
2. Variasi tanah lempung dengan penambahan zeolit.
3. Peningkatan cbr untuk pedoman perkerasan jalan.
- 4.. Tidak melibatkan perhitungan anggaran biaya.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan sebagai berikut :

1. Untuk menganalisa stabilitas nilai cbr tanah lempung dengan penambahan zeolit.
2. Untuk mengetahui perbandingan hasil waktu pemeraman tanah lempung dengan penambahan zeolit.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Tujuan nya untuk mengetahui stabilitas nilai cbr tanah lempung dengan zeolit dalam waktu pemeraman nya sehingga kita bisa membandingkan tanah lempung yang layak di gunakan dalam dunia kontruksi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

## 2.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif (*lose*), yang terletak di atas batuan, dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari induknya, dapat berupa fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transportes soil*).

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 air cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran, atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir, dan mungkin terdapat campuran bahan organik.

## 2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi 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 terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas.

Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang bervariasi.

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification* dan *AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)*. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

### 2.2.1 Sistem klasifikasi Unified

Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah UCSC

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran lebih halus (saringan no. 200 (0,075 mm))	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_L < 4$  Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$  Bila batas Atterberg berada di daerah pasir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir leleh dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	NL	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung		
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung lurus ('fat clays')		
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi	F <sub>i</sub>	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manuel untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2493		

(Sumber: Hardiyatmo, 1996)

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah:

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly-graded*)

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

## 2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO yang di pakai diklasifikasikan kedalam kelompok tujuh kelompok besar , yaitu A-1 sampai dengan A-7 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 klasifikasi Tanah AASTHO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	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	Maks 50						
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40							
Batas Cair (LL)	Maks 6		NP	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indek Plastisitas (PI)				Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah kerikil pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

(Sumber : Buku Mekanika Tanah Braja M. Das. jilid 1)

Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Indeks kelompok (*group index*)

$$GI = ( F-35 ) [ 0,2 + 0,005 ( LL - 40 ) ] + 0,01 ( F-15 ) ( PI-10 ) \quad (2.1)$$

dengan,

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no.200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastis

### **2.3 Tanah Lempung Organik**

Setiap pekerjaan teknik sipil tidak lepas dengan aspek yang paling penting yaitu tanah. Sejumlah masalah dengan bangunan teknik sipil yang sering dijumpai di lapangan adalah akibat dari sifat-sifat teknik tanah yang buruk, yang ditandai dengan kadar air tanah yang tinggi, kompresibilitas yang besar dan daya dukung yang rendah. Sebagian dari jenis tanah yang memiliki sifat buruk tersebut adalah tanah yang mudah mengalami kembang susut besar (Sudjianti, 2012).

Beberapa jenis tanah yang memiliki potensi kembang susut besar adalah tanah yang dapat mengalami perubahan volume secara signifikan seiring dengan perubahan kadar airnya. Tanah jenis ini merupakan tanah lempung yang banyak mengandung mineral-mineral dengan potensi kembang tinggi. Tanah dengan kondisi seperti ini sering disebut sebagai tanah lempung organik (Hardiyatmo,2006).

Tanah Lempung organik adalah lempung yang memiliki sifat fisik dan dipengaruhi dengan bahan organik ,rata-rata berwarna hitam atau abu-abu. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan: *illite, kaolinite, halloysite, chlorite, vermiculite* dan *attapulgitite* (Chen, 1975).

Tanah lempung organik ini memiliki potensi kembang susut tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air. Sifat kembang susut ini berhubungan langsung dengan kadar air mineral lempung khususnya mineral *montmorillonite* dan *illite*. Bila kadar mineral lempung naik, maka



luas permukaan akan naik, dan batas cair serta indeks plastisitas akan naik, sehingga potensi kembang-susut akan naik (Muhunthan, 1991).

Pengertian tanah organik menurut Buku Pedoman Penanganan Tanah Organik untuk Konstruksi Jalan Departemen Pekerjaan Umum tahun 2005, yang dimaksud dengan tanah organik adalah tanah atau batuan yang kandungan lempungnya memiliki potensi kembang susut tinggi akibat perubahan kadar air.

Fenomena pengembangan pada tanah organik terjadi pada kondisi pembasahan dengan nilai derajat kejenuhan ( $S_r$ ) < 1, berarti tanah berada pada kondisi tidak jenuh. Pada kondisi tidak jenuh ini, maka tanah lempung organik terdiri dari tiga fase, yaitu: butiran, air dan udara, sehingga menghasilkan *suction*. Akibat perubahan nilai derajat kejenuhan ( $S_r$ ) dan angka pori ( $e$ ), maka nilai suction akan naik, sehingga suction yang terjadi pada tanah organik akan mempengaruhi perilaku kembang-susut tanah tersebut.

Ada beberapa cara untuk mengetahui apakah tanah tersebut termasuk kategori tanah organik dan seberapa besar potensial pengembangan, di antaranya (Chen,1975):

1. Identifikasi Mineralogi dengan cara difraksi sinar-X ; analisa diferensial termal ; analisa kimia dan Mikroskop Elektron.
2. Cara Tidak Langsung: Tanah Organik dapat diidentifikasi berdasarkan nilai indeks plastisitas seperti terlihat pada Tabel 2.3. (Chen, 1975) berikut ini :

Tabel 2.3. Hubungan Indeks Plastisitas terhadap Potensial Pengembangan (Chen, 1975)

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

3. Cara Langsung: Pengukuran pengembangan tanah organik dengan cara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan alat konsolidasi satu dimensi. Untuk mengetahui angka persentase pengembangan. Untuk mengetahui tingkat pengembangan suatu tanah organik dapat dilihat pada Tabel 2.4. (Chen, 1975).

Tabel 2.4. Hubungan Persentase Pengembangan terhadap Tingkat Pengembangan (Chen,1975)

Persentase Pengembangan (%)	Tingkat Pengembangan
100	Kritis
50 - 100	Batas
>50	Aman

Sifat yang menonjol dari tanah organik adalah daya dukung nya yang sangat rendah, kekakuannya menurun drastis pada kondisi basah dan kembang susutnya sangat tinggi bila mengalami perubahan kadar air sehingga akan retak-retak pada kondisi kering dan mengembang pada kondisi basah.

Hal ini disebabkan tanah organik banyak mengandung mineral montmorillonite bermuatan negatif yang besar, menyerap air yang banyak dengan mengisi rongga pori sehingga tanahnya mengembang dan akibat selanjutnya adalah kekuatannya menurun drastis. Oleh karena itu salah satu cara untuk mengatasi perilaku tanah organik yang kurang menguntungkan tersebut perlu dilakukan stabilisasi.

## 2.4 Mineral Lempung

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedral dan aluminium octahedral. (Das, Braja M, 1988). Hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbedaan antara luas permukaan dan massa) yang tinggi. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan.

Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi *isomorf* dan oleh karena pecahnya keping partikel pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar. Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung *kaolinite*, *montmorillonite*, dan *illite*.

## 2.5 Zeolit

Zeolit adalah mineral yang terbentuk dari kristal batuan gunung berapi yang terjadi karena endapan magma hasil letusan gunung berapi jutaan tahun lalu. Zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah yang sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek/ dibawah standar. Penambahan zeolit ini akan meningkatkan kepadatan, meningkatkan ikk, kuat tekan serta kuat gesekan antar partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atasnya.

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali dan alkali tanah dalam rangka tiga dimensinya, secara empiris mempunyai rumus sebagai berikut :  $Mx/n(AIO_2)_x(SiO_2)_yH_2O$  dimana M= kation alkali tanah atau alkali, n=valensi logam alkali dan x,y= bilangan tertentu.

Menurut Aslina Br, Dkk(2007), sifat kimia zeolite adalah sebagai berikut:

### a. Dehidrasi

Dehidrasi bertujuan untuk melepaskan molekul air dan kisi kristal sehingga terbentuk suatu rongga dengan permukaan yang lebih besar dan tidak lagi terlindungi oleh sesuatu yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi

### b. Penyerapan

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolite terisi oleh molekul air yang berada di sekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan

### c. Penukar ion

Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung pada sifat kation, suhu, dan jenis anion.

### d. Katalis

Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi keseimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekulnya dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk

### e. Penyaring/Pemisah

Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar hampa akan ditahan.

Adapun keuntungan pemakaian zeolit sebagai bahan campuran stabilisasi adalah:

1. Memperbaiki dan meningkatkan kualitas mineral yang ada dalam tanah
2. Meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan daya dukung dan kuat tekan tanah
3. Meningkatkan tahanan tanah terhadap geser yang terjadi di lereng

Adapun mekanisme kerja zeolit secara kimiawi pada tanah antara lain (Susanto, Dedi 2015):

1. Lempung terdiri dari partikel mikroskopik yang berbentuk plat yang mirip lempengan-lempengan kecil dengan susunan yang beraturan, mengandung ion(+) pada bagian tepi platnya. Dalam kondisi kering, ikatan antara tepi plat cukup kuat menahan lempung dalam satu kesatuan, tetapi bagian tersebut sangat mudah menyerap air.

2. Karena komposisi mineraloginya, pada saat turun hujan, partikel yang memiliki kelebihan ion negative (*anion*) akan menarik ion positif (*kation*) air yang akan menyebabkan air tersebut menjadi perekat antara partikel satu dengan partikel lainnya dan tak hilang meski tanah lempung dalam kondisi kering sekalipun. Ini merupakan sifat alamiah dari tanah lempung yang mudah mengembang dan menyusut. Hal ini menyebabkan tanah lempung sulit digunakan untuk konstruksi.

3. Dengan komposisi kimianya, zeolit memiliki kemampuan yang sangat besar untuk melakukan sebagai penukar kation (*cation exchanger*), dan pengikat air. Pada saat Zeolit dijadikan bahan campuran tanah, zeolit akan dapat mengikat molekul H<sub>2</sub>O sehingga sebagian besar molekul tersebut tidak bercampur dengan tanah, sehingga sebagian besar molekul tersebut tidak bercampur dengan tanah, sehingga pada saat kondisi panas molekul H<sub>2</sub>O sehingga pada saat kondisi panas molekul H<sub>2</sub>O akan dilepaskan oleh zeolit sehingga pada saat tanah menjadi kering molekul H<sub>2</sub>O tidak tertahan di dalam tanah.

## **2.6 Stabilisasi Tanah**

Stabilisasi dalam bidang rekayasa Teknik sipil disebut dengan perbaikan tanah. Stabilisasi dapat dilaksanakan dengan menambah suatu bahan atau komposit tertentu untuk menambah kekuatan pada tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu meningkatkan kapasitas daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Banyak material tanah di lapangan yang tidak dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pengerjaan konstruksi. Kondisi material tanah yang tidak memenuhi syarat ini dapat diperbaiki sifat teknisnya sehingga kekuatannya meningkat. Secara umum, stabilisasi tanah dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu stabilisasi mekanis, kimiawi, dan fisik. Cara mekanis didasarkan atas usaha-usaha mekanis, seperti kompaksi dan konsolidasi. Melalui cara paling umum yang digunakan, akan mengakibatkan kerapatan tanah meningkat, kompersibilitas tanah berkurang, yang kemudian diikuti pula dengan peningkatan kapasitas daya dukung dan stabilitas tanah. Pada kimiawi, suatu bahan kimia aditif seperti semen Portland, kapur, dan bahan kimia lainnya dicampurkan dalam tanah yang kemudian akan mengubah properties dan kekuatan tanah. Sedangkan pada cara fisik, suatu bahan perkuatan seperti geotekstil dimasukkan atau disusun pada lapisan tanah untuk memperkuat tanah.

Menurut Bowles (1986) beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasi 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 material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah,
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah),
5. Mengganti tanah yang buruk. Stabilisasi tanah menggunakan bahan stabilisator adalah untuk merubah interaksi air dengan tanah terhadap reaksi permukaan, karena itu aktivitas permukaan dari partikel tanah, muatan kutub, penyerapan, dan daerah penyerapan air memegang peranan penting. Agar terjadi interaksi yang lebih baik antara air dan tanah perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Tanah yang distabilisasi dengan bahan stabilisator mempunyai ikatan yang lebih kuat pada permukaan partikel tanah, sehingga sensitifitasnya terhadap pengaruh air menjadi berkurang. Bahan stabilisator menggantikan molekul-molekul air pada permukaan butiran, mencegah adanya ikatan baru, sehingga tanah tidak lembab.
- Tanah yang distabilisasi dengan ion-ion bermuatan positif nonhydrated ditarik ke permukaan oleh muatan negatif dan diganti dengan ion-ion lain. Melalui transformasi seperti itu sensitifitas tanah terhadap pengaruh air akan menurun dan suatu kerja akan kering.
- Interaksi air dan tanah dapat diubah dengan memisahkan ikatan kation (Mg, Ca) bervalensi banyak pada permukaan partikel tanah dengan cara menambahkan bahan stabilisator tertentu, sehingga air bebas berinteraksi dan tanah busa menjadi cair.

#### 2.6.1 Prinsip Dasar Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah terbagi atas dua kelompok, yakni perbaikan tanah secara kimiawi dan perbaikan tanah secara fisik. Kedua cara tersebut memiliki kesamaan dalam tujuan dan sasaran yang ingin dicapai, namun banyak perbedaan dalam metode maupun bahan pencampur

(*addictive*) yang dipergunakan. Teknik perbaikan tanah memiliki prinsip dasar bahwa kapasitas tanah yang kurang baik (dalam berbagai aspek), dapat diperbaiki melalui peningkatan sifat-sifat (*properties*) dari pada tanah, sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan.

### 2.6.2 Jenis Perbaikan Tanah

Dalam upaya memperbaiki parameter tanah, maka berbagai teknik perbaikan tanah yang telah dihasilkan oleh para rekayasawan (*engineer*). Berbagai jenis perbaikan tanah yang telah dikembangkan selama ini, antara lain:

1. Perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*) ; yaitu perbaikan tanah dengan menggunakan bahan semen sebagai pencampur.
2. Perbaikan tanah dengan kapur (*soil lime*) ; yaitu perbaikan tanah dengan menggunakan kapur sebagai bahan pencampur tanah yang lemah. Cara ini merupakan metode paling tua yang dikenal sejak zaman Romawi Kuno, ketika desakan mobilisasi alat perang dan personil militer mereka semakin tinggi seiring dengan perkembangan ekspansi kekuasaan pada zaman itu.
3. Perbaikan tanah dengan abu (*soil ash*) ; yaitu perbaikan tanah dengan menggunakan bahan abu sebagai pencampur, dapat berasal dari abu batu, abu terbang, abu sekam, dan lain sebagainya.
4. Perbaikan tanah dengan larutan kimia (*sovent stabilization*) ; yang mana berbagai bahan kimia yang biasa digunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), dan berbagai larutan lain. Cairan campuran yang sekarang banyak digunakan cukup bervariasi, yang mana beberapa pabrikan telah mengembangkan berbagai jenis cairan *addictive* sebagai bahan *stabilizer* untuk perbaikan tanah.
5. Perbaikan tanah dengan pemadatan ; yaitu penyaluran enersi tumbukan dan/atau vibrasi (*dynamic load*) secara langsung ke lapisan tanah yang kurang padat (gembur). Metode ini dimaksudkan untuk memperbaiki parameter tanah yang berhubungan dengan daya dukung, kuat geser, penurunan, dan permeabilitas tanah.
6. Perbaikan tanah dengan konsolidasi ; yaitu pemberian beban statis secara langsung di atas lapisan tanah (*static load*), sehingga tanah akan terkompresi sebelum pelaksanaan konstruksi dilakukan.

7. Perbaiki tanah dengan teknik pengeringan (*dewatering*) ; yaitu upaya peningkatan *bearing capacity* tanah melalui proses pengeringan tanah, sehingga kadar air tanah menurun, dan meningkatkan tegangan efektif di dalam tanah.

8. Perbaiki tanah dengan pengganti tanah (*replacement*) ; yaitu perbaiki gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang baik, sehingga tercapai gradasi yang rapat dan memiliki parameter yang lebih baik. Untuk meningkatkan parameter tanah, seperti larutan soda kaustik (NaOH),

9. Perbaiki tanah dengan permeation *resin* ; yaitu pengaliran bahan perekat (*resin*) yang memiliki viskositas rendah ke dalam pori-pori tanah tanpa menggusur atau mengubah struktur tanah.

## **2.7 Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Zeolit**

Akurasi dan efektifitas dalam penerapan suatu metode perbaikan tanah, ada beberapa hal yang harus di pahami dengan baik, antara lain; prinsip teknis dari jenis perbaikan tanah yang akan diterapkan, sifat-sifat bahan *stabilizer*, kriteria tanah yang cocok dengan bahan *stabilizer*, dan perubahan properties tanah yang terjadi dan relevansinya dengan syarat teknis yang ingin dicapai. Dengan demikian, perbaikan tanah tersebut termasuk dalam perbaikan tanah dengan abu dimana hasil pecahan batuan zeolit tersebut yang di gunakan sebagai bahan *stabilizer*.

### **2.7.1 Prinsip Teknis**

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. Sifat-sifat tanah yang dapat 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 batubara, abu vulkanik, batuan kapur, 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.

#### 2.7.2 Karakteristik Bahan Stabilizer

Zeolit adalah mineral yang terbentuk dari kristal batuan gunung berapi yang terjadi karena endapan magma hasil letupan gunung berapi jutaan tahun yang lalu. zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek/di bawah standar. Penambahan zeolit ini akan meningkatkan kepadatan, meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atas nya.

Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi

dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion. zeolit mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul H<sub>2</sub>O) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H<sub>2</sub>O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat-pusat aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe *Bronsted* maupun *Lewis*. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi. Pusat- pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi. Sedangkan sifat zeolit sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas didalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama. Akibat struktur zeolit berongga, anion atau molekul berukuran lebih kecil atau sama dengan rongga dapat masuk dan terjebak. Pada kebanyakan orang pemakaian zeolit biasanya di pergunakan untuk pertanian dan perikanan, ini menjadi bukti bahwa zeolit tidak berbahaya bagi hewan mau pun tumbuhan yang ada di tanah yang akan di stabilisasi dengan zeolit.

### 2.7.3 Kriteria Tanah

Zeolit juga banyak di manfaatkan di bidang konstruksi sebagai bahan additive, adapun keuntungan pemakaian zeolit sebagai bahan campuran stabilisasi tanah adalah :

1. Memperbaiki dan meningkatkan kualitas mineral yang ada dalam tanah.
2. Meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan daya dukung dan kuat tekan tanah.
3. Meningkatkan tahanan tanah terhadap geser yang terjadi di lereng.

Zeolit yang akan di gunakan untuk stabilisasi tanah lempung merupakan zeolit yang sudah di tumbuk hingga membentuk ukuran p<sub>1</sub> atau kurang dari 0,002 mm. Adapun mekanisme kerja zeolit secara kimiawi pada tanah lempung, antara lain :

1. Lempung terdiri dari partikel mikroskopik yang berbentuk plat yang mirip lempengan-lempengan kecil dengan susunan yang beraturan, mengandung ion (+) pada bagian muka/datar dan ion (-) pada bagian tepi platnya. Dalam kondisi kering, ikatan antara tepi plat cukup kuat menahan lempung dalam satu kesatuan, tetapi bagian tersebut sangat mudah menyerap air.

2. Karena komposisi mineraloginya, pada saat turun hujan, plat yang memiliki kelebihan ion negatif (*anion*) akan menarik ion positif (*kation*) air yang akan menyebabkan air tersebut menjadi air pekat yang melekat dan juga sekaligus sebagai perekat antara partikel satu dengan partikel lainnya dan tak hilang meski tanah lempung dalam kondisi kering sekalipun. Ini merupakan sifat alamiah dari tanah lempung yang mudah mengembang dan menyusut. Hal ini menyebabkan tanah lempung sulit digunakan untuk konstruksi.

## 2.8 Kadar Air (*Water Content*)

Secara umum, tanah terdiri dari tiga unsur yaitu butiran tanah atau partikel padat (*solid*), air (*water*), dan udara (air dan gas). Kandungan air dan udara yang terdapat di dalam tanah menempati rongga (*void*) yang terdapat di antara butiran, yang disebut pori tanah. Bila volume pori di dalam tanah dipenuhi oleh air, maka tanah dinyatakan dalam kondisi jenuh. Sebaliknya bila di dalam pori tanah tidak berisi air sama sekali, maka tanah dalam kondisi kering. Besarnya volume air yang terkandung di dalam pori tanah dibandingkan dengan volume pori tanah yang ditempati oleh air dan udara disebut derajat kejenuhan (*degree of saturation*) yang dinotasikan dengan *S*. Besarnya kandungan air yang terdapat di dalam suatu contoh tanah yang sering disebut kadar air, *wc* (*moisture content* atau *water content*) dinyatakan dalam persentase terhadap berat tanah dalam keadaan kering, sehingga dimana:

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \quad (2.2)$$

*W* = Kadar air yang dinyatakan dalam persen (%)

*W*<sub>1</sub> = Berat cawan kosong (gr)

*W*<sub>2</sub> = Berat cawan + berat tanah basah (gr)

*W*<sub>3</sub> = Berat cawan + berat tanah kering (gr)

## 2.9 Specific Gravity (*G<sub>s</sub>*)

Berat spesifik atau berat jenis (specific gravity) ( $G_s$ ) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_d$ ), dengan berat volume ( $\gamma_w$ ) pada temperature 4°C.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.3)$$

Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis tanah  $G_s = 2,67$  biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkoheisi atau tanah granuler, sedang untuk tanah-tanah kohesif tidak mengandung bahan organik  $G_s$  berkisar diantara 2,68 sampai 2,72. Nilainilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.5 Nilai khas berat jenis  $G_s$  partikel tanah

Jenis Tanah	$G_s$
Kerikil	2.65 - 2.68
Pasir	2.65 - 2.68
Lanau, anorganik	2.62 - 2.68
Lempung, organik	1.58 - 2.65
Lempung, anorganik	2.68 - 2.75

(Sumber: Bowles J. E, Analisis dan desain pondasi jilid 1 dan 2)

## 2.10 Analisa Saringan

### 2.10.1 Analisa Ayakan (Grain size)

Uji analisa ayakan (grain size) merupakan menggetarkan atau mengayak sampel tanah dengan satu set ayakan yang bertujuan untuk menentukan gradasi dari suatu sampel tanah dengan ukuran partikel-partikel yang memiliki diameter lebih besar dari 0,075 mm. Sampel tanah yang digunakan dalam pengujian analisa saringan sampel dengan berat 1000 gr. Untuk mengetahui jumlah % tertahan, digunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Jumlah \% yang tertahan} = (\text{jumlah berat tertahan}) / (\text{berat total}) \times 100$$

Sedangkan untuk mengetahui jumlah % yang lewat dapat menggunakan persamaan berikut ini :

Jumlah % yang lewat = 100% – jumlah % tertahan

Untuk mengetahui jenis tanah, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
$$C_c = \frac{D_{30}}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

Cu = Koefisien keseragaman

Cc = Koefisien gradasi

D60 = Diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan

D30 = Diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan

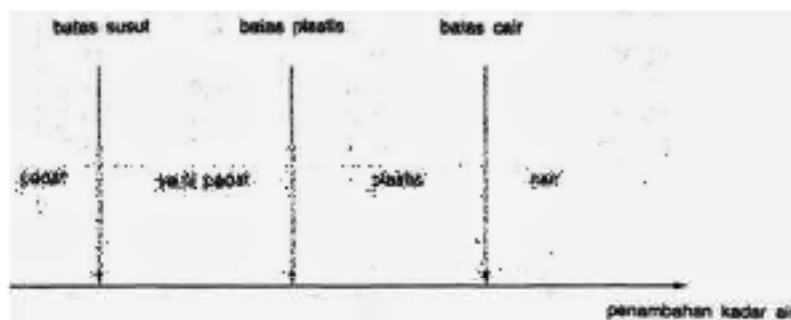
D10 = Diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan

## 2.10.2 Analisa Hidrometer

Uji analisa hidrometer merupakan suatu cara dari analasi distribusi ukuran tanah berdasarkan sedimentasi tanah di dalam air dengan ukuran halus yang lolos saringan no.200. Uji analisa hidrometer berfungsi untuk menentukan partikel-partikel tanah yang berdiameter lebih dari 0,075 mm dengan menggunakan alat hidrometer. Metode ini berdasarkan pada hukum Stokes mengenai kecepatan pengendapan butiran pada larutan suspense.

## 2.11 Batas – batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remak.



Gambar 2.1 Batas-batas Atterberg

Sumber: Hary Christady Hardlyatmo, Mekanika Tanah I

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation yang menyebabkan bertambahnya gaya tarik partikel.

Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain, dengan kohesi yang tetap terpelihara. Pengurangan kadar air menghasilkan pengurangan volume tanah. *Atterberg* (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam gambar (2.1).

### 2.11.1 Batas Cair (Liquid Limit, LL)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Pengujian batas cair dimaksudkan untuk menentukan besarnya kadar air di dalam contoh tanah pada fase tanah akan berubah dari air menjadi plastis atau sebaliknya.

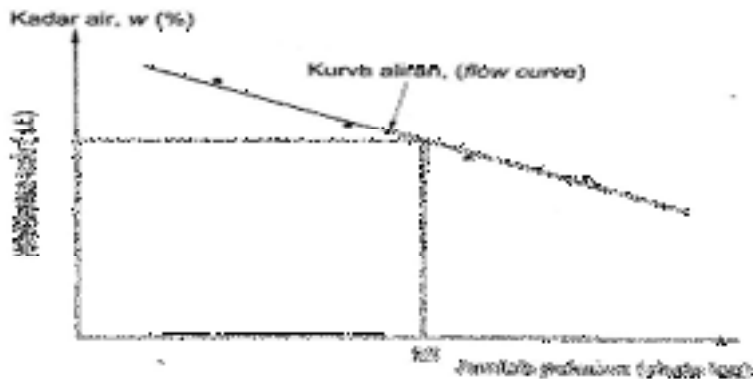


Gambar 2.2 Skema alat uji batas cair

(Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1)

Batas cair biasanya ditentukan dari uji *Casagrande* (1948). Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.2. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan.

Tinggi contoh dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut. (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Kurva untuk penentuan batas cair lempung

(Sumber : Hary Chritady hardiyatmo, Mekanika Tanah 1)

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*), dan dinyatakan dalam persamaan:

$$IF = \frac{w_1 - w_2}{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \quad (2.5)$$

dimana :

IF = indeks aliran

w1 = air (%) pada N1 pukulan

w2 = kadar air (%) pada N2 pukulan

Perhatikan bahwa nilai  $w_1$  dan  $w_2$  dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif.

Dari banyak uji batas-cair, Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi (1949), mengusulkan persamaan batas cair:

$$LL = WN \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad (2.6)$$

dimana:

$N$  = jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

$WN$  = kadar air

$\text{tg } \beta = 0,121$  (tapi  $\text{tg } \beta$  tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

Table 2.6 Harga-Harga  $(N/25)^{0.121}$

$N$	$\left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$	$N$	$\left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$
20	0,973	26	1,005
21	0,979	27	1,009
22	0,985	28	1,014
23	0,990	29	1,018
24	0,995	30	1,022
25	1,000		

(Sumber : Braja M. Das ,Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis )

### 2.11.2 Batas Plastis (*Plastic Limit, PL*)

Batas plastis ( $PL$ ), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

### 2.11.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas ( $PI$ ) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

$$PI = LL - PL \quad (2.7)$$



Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh *Atterberg* terdapat dalam Tabel (2.3).

**Tabel 2.7** Nilai Indeks plastisitas dan macam tanah (Jumikis, 1962)

<i>PI</i>	Sifat	Macam Tanah	Kohesif
0	Non plastis	Pasir	Non Kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

*Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1*

## 2.12 Pemadatan

Dalam mekanika tanah, kata kerja "memadat" adalah menekan partikel-partikel tanah sampai rapat bersamaan dengan keluarnya udara dari ruang pori. Dengan demikian, yang disebut pemadatan tanah adalah usaha memadatkan tanah (mengurangi ruang pori) dengan cara mekanis, yaitu dengan menumbuk, menggilas, atau menggetarkan tanah.

Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki mutu/ kualitas tanah, karena:

1. Dapat memperbesar daya dukung tanah, karena sudut gesek dalam tanah bertambah besar dan kohesi ( $C$ ) bertambah besar pula
2. Mengurangi permeabilitas
3. Mengurangi settlement (penurunan tanah)
4. Mengurangi kembang susut tanah karena ruang pori sedikit

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah

tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat (Gambar 2.3). Harap dicatat bahwa pada saat kadar air  $w = 0$ , berat volume basah dari tanah ( $\gamma$ ) adalah sama dengan berat volume keringnya ( $\gamma_d$ ), atau

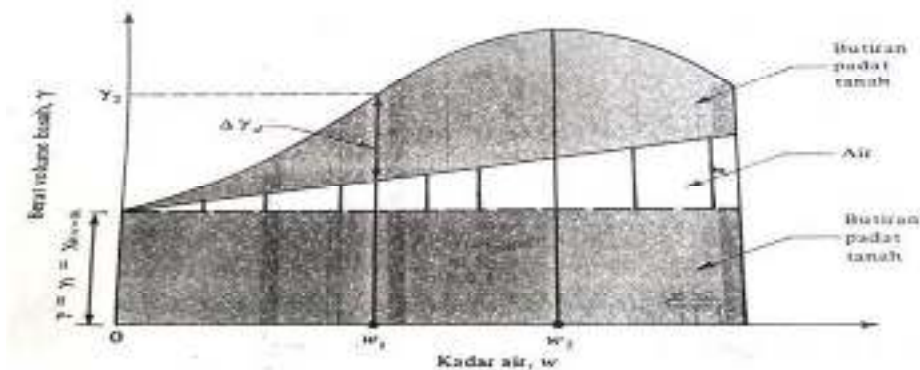
$$\gamma = \gamma_d(w = 0) = \gamma_1 \quad (2.8)$$

Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Misalnya, pada  $w = w_1$ , berat volume basah dari tanah sama dengan:

$$\gamma = \gamma_2 \quad (2.9)$$

Berat volume kering dari tanah tersebut pada kadar air ini dapat dinyatakan dalam:

$$\gamma_d(w = w_1) = \gamma_d(w = 0) + \Delta \gamma_d \quad (2.10)$$



Gambar 2.4 : Prinsip pemadatan ( dari Braja M. Das, 1985 )

Setelah mencapai kadar air tertentu  $w = w_2$  (lihat Gambar 2.4), adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat di tempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air dimana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum.

Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat memberikan kuat geser tinggi. Stabilisasi terhadap sifat kembang-susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Sebagai contoh, lempung montmorillonite akan mempunyai kecenderungan yang lebih besar terhadap perubahan volume disbanding dengan lempung kaolinite. Lempung padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak apat dipadatkandengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja dengan tanah lempung yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan, karena pada saat lempung dipadatkan, air sulit mengalir ke luar dari rongga pori lempung. Air yang tidak mau ke luar dari rongga pori tanah ini menyebabkan butiran sulit merapat satu sama lain saat dipadatkan.

Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut pemadatan. Oleh akibat beban dinamis, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai akibat berkurangnya rongga udara. Percobaan-percobaan di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah *Proctor Compaction Test* ( Uji Pemadatan Poctor, menurut nama penemunya, *Proctor*, 1933 ). Cara dan prosedur untuk melakukan percobaan tersebut akan dibahas dalam uraian-uraian berikut.

#### 2.12.1 Uji Proctor Standar ( *Standard Proctor Test* )

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

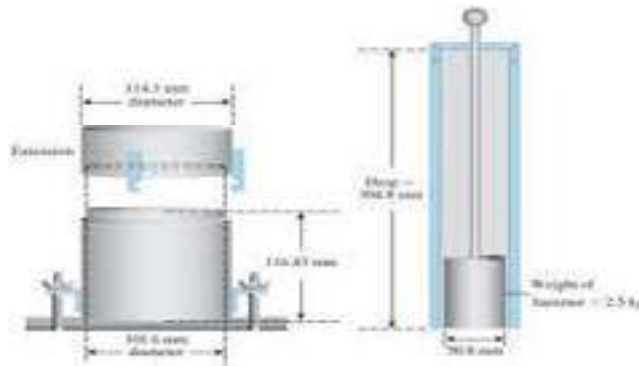
Hubungan berat volume kering ( $\gamma_d$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (2.11)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari

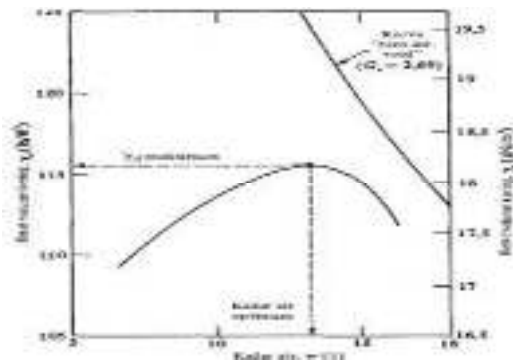
pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Pada uji Proctor, tanah dipadatkan dalam sebuah alat pemadat berupa silinder mould yang mempunyai volume  $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ .

Tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Tanah di dalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1ft). tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan.



Gambar 2.5 : Alat uji standar proctor

(Sumber : Hary Chritady hardiyatmo, Mekanika Tanah 1)



Gambar 2.6 : hubungan kadar air dan berat volume kering

(Sumber : Hary Chritady hardiyatmo, Mekanika Tanah 1)

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (*w<sub>opt</sub>*) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum.

Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada pada kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi, dalam praktik, kondisi ini sulit dicapai. Kemungkinan berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering saat tanah menjadi jenuh ( $\gamma_{zav}$ ), dapat dihitung dari persamaan:

$$\gamma_{zav} = \frac{Y_{wet}}{w + \frac{1}{G_s}} \quad (2.12)$$

dimana,

$\gamma_{zav}$  = berat volume pada kondisi zero air void

$\gamma_w$  = berat volume air

$e$  = angka pori

$G_s$  = berat spesifik butiran pada tanah

Berat volume kering ( $\gamma_d$ ) setelah pemadatan pada kadar air  $w$  dengan kadar udara (air content),  $A$  ( $A = V_a/V = \text{volume udara/volume total}$ ) dapat dihitung

dengan persamaan: 
$$\gamma_d = \frac{G_s (1-A) Y_w}{w + \frac{1}{G_s}} \quad (2.13)$$

Spesifikasi yang diberikan untuk uji Proctor menurut ASTM dan AASHTO dengan volume cetakan sebesar  $1/30 \text{ ft}^3$  dan jumlah tumbukan 25 kali per lapisan pada umumnya dipakai untuk tanah-tanah berbutir halus yang lolos ayakan Amerika no. 4. Sebenarnya, pada masing-masing ukuran cetakan masih ada empat metode lain yang disarankan, yang berbeda-beda menurut ukuran cetakan, jumlah tumbukan per lapisan, dan ukuran partikel tanah maksimum pada agregat tanah yang dipadatkan.

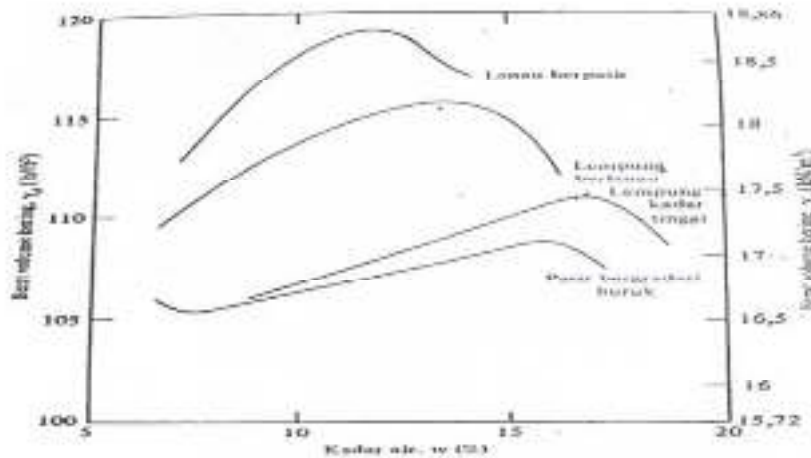
### 2.12.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan

Pada sub-sub terdahulu ditunjukkan bahwa kadar air mempunyai pengaruh yang besar terhadap tingkat kepadatan yang dapat dicapai oleh suatu tanah. Selain kadar air, factor yang sangat mempengaruhi kepadatan adalah jenis tanah dan usaha pemadatan.

## 1) Pengaruh Jenis Tanah

Jenis tanah, seperti distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya. Gambar 2.7 memperlihatkan sifat-sifat khusus kurva pemadatan yang diperoleh oleh beberapa macam tanah, yang diuji menurut prosedur pemadatan ASTM Test Designation D – 698.

kurva empat



Gambar 2.7 :  
Bentuk umum  
pemadatan untuk  
jenis tanah  
(ASTM D-698)

(Sumber : Hary  
Chritady)

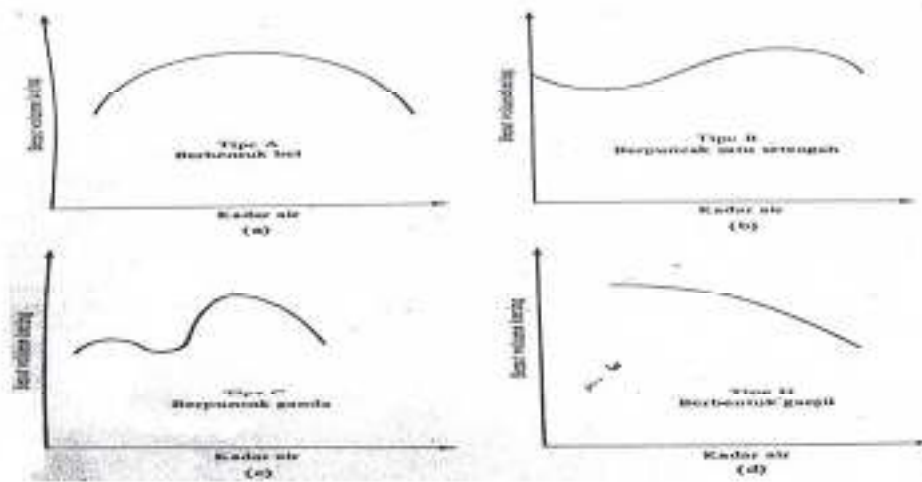
*hardiyatmo, Mekanika Tanah 1)*

Gambar 2.7 memperlihatkan bentuk umum kurva pemadatan untuk empat jenis tanah (ASTM D-698). Kurva pemadatan berbentuk bel adalah umum terdapat pada hampir semua tanah lempung. Pada tanah pasir, harga berat volume kering cenderung menurun dahulu dengan naiknya kadar air, kemudian naik sampai mencapai harga maksimum dengan penambahan kadar air lebih lanjut. Penurunan berat volume pada awal kurva disebabkan karena pengaruh peristiwa kapiler pada tanah. Pada kadar air yang lebih rendah, adanya tegangan tarik kapiler pada pori-pori tanah mencegah kecenderungan partikel tanah untuk bergerak lebih bebas untuk menjadi lebih padat

Kemudian tegangan kapiler tersebut akan berkurang dengan bertambahnya kadar air sehingga partikel-partikel menjadi mudah bergerak dan menjadi lebih dekat. Lee dan Suedkamp (1972) mempelajari kurva-kurva pemadatan untuk 35 jenis tanah, hasilnya terdapat beberapa perbedaan bentuk kurva pemadatan. Kurva tipe A (Gambar 2.8), adalah kurva yang mempunyai

satu puncak. Tipe ini biasanya ditemukan pada tanah-tanah yang mempunyai batas cair 30 dan 70. Kurva tipe B mempunyai bentuk seperti huruf S pada arah mendatar.

Kurva tipe C mempunyai dua puncak. Kurva tipe B dan C adalah kurva pemadatan yang dapat diperoleh pada tanah yang mempunyai batas cair (LL) kurang dari 30. Kurva tipe D adalah kurva yang tidak mempunyai puncak. Tipe ini disebut sebagai berbentuk ganjil. Kurva C atau D dapat terjadi pada pemadatan tanah-tanah dengan batas cair (LL) lebih besar daripada 70.



Gambar 2.8 : Berbagai – macam tipe kurva yang sering di jumpai pada tanah

Sumber : Braja M.Das, *Mekanika Tanah (prinsip – prinsip rekayasa geoteknis jilid 1)*

## 2) Sifat-sifat Tanah Lempung Dipadatkan

Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah pemadatan bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah, dan kadar airnya. Pada usaha pemadatan yang lebih besar diperoleh kepadatan yang lebih tinggi. Biasanya, posisi kadar air tanah yang dipadatkan, didasarkan pada posisi-posisi kadar air sisi kering optimum (*dry side of optimum*), dekat optimum atau optimum, dan sisi basah optimum (*wet side of optimum*). Kering optimum didefinisikan sebagai kadar air yang lebih dari kadar air optimumnya.

Demikian juga dengan dekat optimum atau optimum, yang berarti kadar air yang kurang lebih mendekati optimumnya. Penyelidikan pada tanah lempung yang dipadatkan memperlihatkan bahwa bila lempung dipadatkan pada kering optimum, susunan tanah akan tidak bergantung pada macam pemadatan (Seed dan Chan, 1959). Pemadatan tanah dengan kadar

air pada basah optimum akan mempengaruhi susunan, kuat geser serta sifat kemampatan tanah. Pada usaha pemadatan yang sama, dengan penambahan kadar air, penyesuaian susunan butiran menjadi bertambah. Pada kering optimum, tanah selalu terflokulasi. Sebaliknya, pada basah optimum susunan tanah menjadi terdispersi beraturan.

### 2.13 CBR (*California Bearing Ratio*)

Lapisan tanah yang akan dipakai sebagai lapisan sub-base atau sub-grade suatu konstruksi jalan pada umumnya memerlukan proses pemadatan agar mampu menerima beban sesuai dengan yang direncanakan. Salah satu cara untuk mengukur kekokohan (*bearing*) lapisan tanah adalah pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). *California Bearing Ratio* (CBR) merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standar load*) dan dinyatakan dalam persentase. CBR juga merupakan perbandingan antara bahan penetrasi suatu bahan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Lebih jelas lagi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{CBR} = \frac{PT}{PS} \times 100 \% \quad (2.14)$$

Dalam hal ini:

PT = beban percobaan (*test load*)

PS = beban standar (*standard load*)

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas.

Prinsip dasar dari pengujian CBR adalah membandingkan besarnya beban (gaya) yang diperlukan untuk menekan torak dengan luas penampang 3 *inch* 2 ke dalam lapisan perkerasan sedalam 0,1 *inch* (2,54 mm) atau 0,2 *inch* (5,08 mm) dengan beban standar. Oleh karena itu, kekokohan lapisan perkerasan dinyatakan dalam “kekokohan relatif” atau persen kekokohan. Besarnya beban standar penetrasi 0,1 *inch* adalah 3000 lbs (*pound*) atau sekitar 1350 kg, sedangkan besarnya beban standar untuk penetrasi 0,2 *inch* adalah 4500 lbs atau sekitar 2025 kg.



Alat percobaan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch. Piston digerakkan dengan kecepatan 0,05 inch/menit, vertikal kebawah. Proving Ring digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Berikut ini adalah tabel beban yang digunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar :

**Tabel 2.8** Beban Penetrasi Bahan Standar

Penetrasi (inch)	Beban Standar (lbs)
0,1	3000
0,2	4500

Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2”, yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$CBR_{0,1''} = x / 3000 \times 100\% = a \%$$

$$CBR_{0,2''} = x / 4500 \times 100\% = b \%$$

Nilai CBR adalah nilai yang terbesar antara a dan b. Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR diatas.

Suatu hal yang perlu diingat bahwa pengujian CBR hanya mengukur kekokohan relatif dari lapisan permukaan tanah, karena diameter penampang torak yang dipergunakan hanya sekitar 4,96 cm, sehingga daerah (volume) lapisan tanah di bawah torak yang terpengaruhi tekanan (*stress bulb*) hanya di permukaan. Metoda CBR ini mula-mula diciptakan oleh O.J. Porter, kemudian dikembangkan oleh *California State Highway Departement*, tetapi kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh *corps insinyur-insinyur tentara Amerika Serikat (U.S. Army Corps of Engineers)*.

Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan di laboratorium atau di lapangan dengan rencana empiris (*empirical design charts*) untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metoda perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya dan lapangan terbang.

Kemudian dari hasil CBR dapat dilihat besarnya daya dukung tanah yang dapat ditentukan berdasarkan korelasi hubungan nilai CBR dengan daya dukung tanah seperti pada tabel 2.9.

**Tabel 2.9.** Daya Dukung Tanah Dihubungkan Dengan Nilai CBR

CBR	DAYA DUKUNG TANAH
2% - 5%	Jelek
6% - 9%	Sedang
> 9%	Baik

*Sumber : Guide For Design Of Pavement Structures. AASTHO, The American Association of state Highway and official, Washington, 1986*

### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

##### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Katolik St.Thomas Medan. Pada penelitian ini menggunakan tanah lempung ekspansif daerah Berastagi, Medan.



*(Sumber : Google Earth)*

Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung , Desa Gundaling I kecamatan Berastagi Kabupaten Karo.

### **3.2 Bahan Uji**

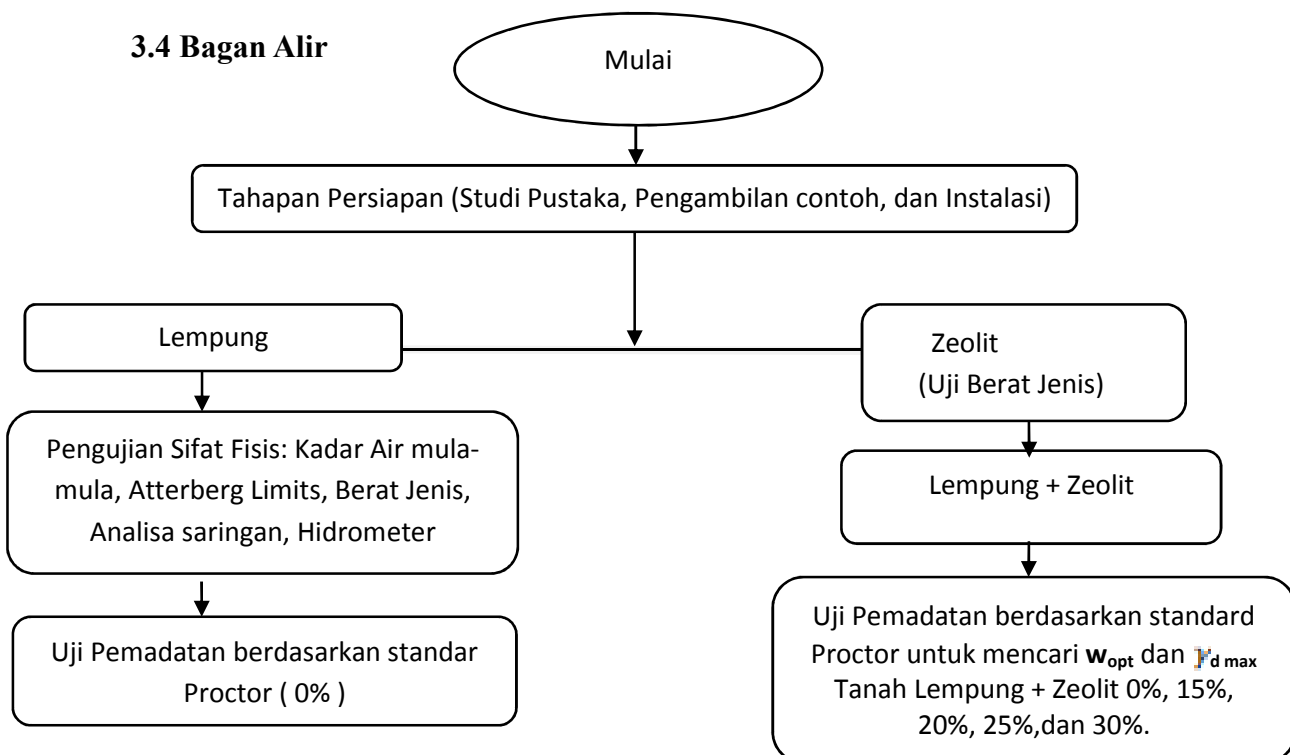
1. Tanah, dalam penelitian ini tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang diperoleh dari Jln. Pendidikan, Berastagi, Medan.
2. Zeolit, yang digunakan berasal dari Toko bahan kimia Sari Abadi, Jalan Sutomo Simpang Jalan seram No.512
3. Aquades, aquades yang digunakan berasal dari dari Toko bahan kimia Sari Abadi, Jalan Sutomo Simpang Jalan seram No.512

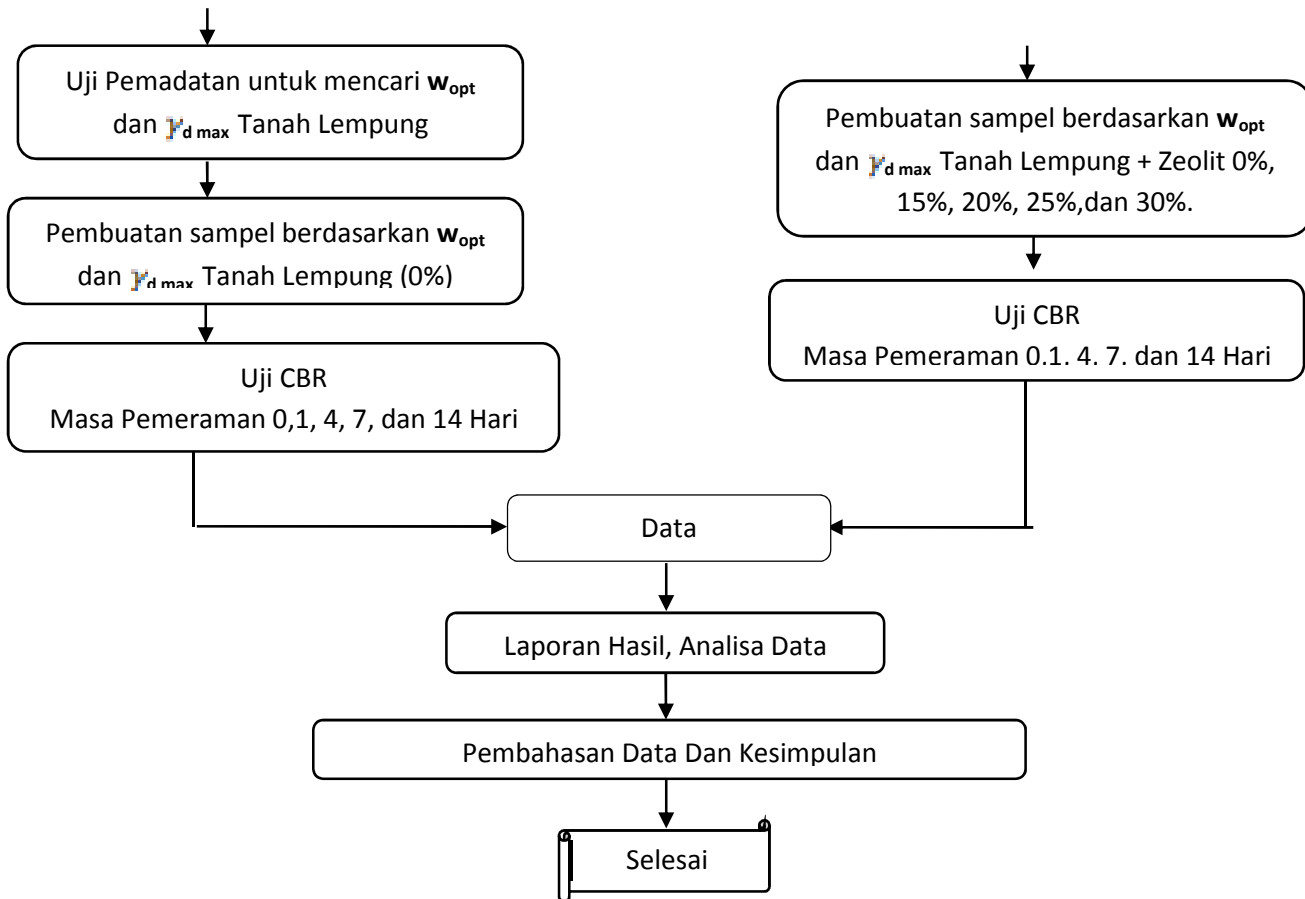
### 3.3 Pengujian Laboratorium

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Katolik St.Thomas Medan. Beberapa pengujian yang dilakukan antara lain adalah:

1. *Basic Properties*, meliputi test kadar air (*water content*), berat jenis, batas cair - batas plastis (*atberbeg limits*), analisa saringan dan hidrometer
2. *Engineering Properties*, meliputi percobaan pemadatan *Modified Proctor* dan *CBR Unsoaked* Laboratorium.

### 3.4 Bagan Alir





Gambar 3.2. Bagan Alir Penelitian

### 3.5 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dimana mahasiswa melakukan suatu percobaan tentang suatu hal. Mengamati prosesnya serta menuliskan hasil percobaannya. Penelitian ini melakukan uji laboratorium yang meliputi beberapa pengujian, yaitu:

1. Penentuan Kadar Air (*Water Content*), yang bertujuan untuk menentukan kadar air yang terkandung di dalam contoh tanah yang digunakan.
2. Penentuan *Specific Gravity* (Gs), yang bertujuan untuk menentukan berat jenis contoh tanah yang digunakan. Pengujian berat jenis tanah dilakukan untuk menentukan kepadatan massa butiran atau partikel tanah yaitu perbandingan antara berat butiran tanah dan berat air suling dengan volume yang sama pada temperature tertentu.

3. Penentuan Batas-batas Atterberg yang meliputi batas cair, dan batas plastis tanah sehingga mendapatkan nilai IP (*Indeks Plasticity*). Pengujian Batas Cair Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah dalam keadaan batas antara air dan plastis. Pengujian ini untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no 40. Pengujian Batas Plastis Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis (kadar air peralihan dari kondisi semi solid ke kondisi plastis

#### 4. Pengujian Analisa Saringan Dan Analisis Hidrometer

Uji analisis saringan tujuannya untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no 200 dan untuk menentukan pembagian butir-butir tanah (gradasi) agregat halus dan agregat kasar. Pengujian analisis hidrometer adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang tidak mengandung butir tanah saringan no 10, pengujian ini dilakukan dengan cara analisa sedimen menggunakan hidrometer.

#### 5. Uji *Standard Proctor* (Pemadatan Tanah),

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kadar air dengan berat volume tanah yang akan di uji, kegunaannya untuk menentukan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dan kepadatan maksimum dari sampel tanah lempung yang di uji. Pengujian laboratorium dilakukan dengan cara penambahan air pada tanah asli dengan beberapa interval sehingga didapatkan kadar air optimum dan volume kering maksimum. Jika penambahan air pada interval tertentu membuat sampel mengalami penurunan, itu disebabkan oleh rongga pori yang sebelumnya terisi butiran-butiran tanah padat diisi oleh air.

6. Uji CBR (*California Bearing Ratio*), yang bertujuan untuk menentukan kekokohan permukaan lapisan tanah yang umumnya akan dipakai sebagai *sub-base* (urugan) atau *sub-grade* (lapisan tanah dasar).

### **3.6 Prosedur Penelitian**

#### **3.6.1 Pengujian kadar air ( SNI-1965-2008)**

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan kadar air yang terkandung di dalam suatu contoh tanah.

a. Alat yang digunakan:

1. Cawan aluminium
2. Contoh tanah basah yang akan ditentukan kadar airnya
3. Oven
4. Timbangan

b. Prosedur Pengujian:

1. Timbang beberapa cawan aluminium kosong (bersih dan kering), kemudian catat beratnya masing-masing menurut kode yang tercantum di cawan (W1).
2. Masukkan contoh tanah basah ke dalam cawan aluminium dan timbang (W2).
3. Masukkan cawan yang berisi tanah ke dalam oven yang mempunyai *temperature* 105 +/- 5oC dan biarkan selama 24 jam.
4. Keluarkan cawan yang berisi contoh tanah dari oven, dinginkan beberapa saat dan timbang (W3).

### **3.6.2 Pengujian *Specific Gravity* (SNI-1964-2008)**

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan *Specific Gravity* suatu contoh tanah.

a. Alat yang digunakan:

1. Contoh tanah
2. Piknometer 100 ml
3. Air suling yang sudah divakum (*de-aired-distilled water*)
4. Timbangan
5. Pompa hisap (*vacuum pump*)

b. Prosedur Pengujian:

1. Timbang piknometer kosong dan kering (W1)
2. Masukkan contoh tanah (yang sudah dikeringkan dengan cara dioven) ke dalam piknometer yang sudah diketahui beratnya (W1), lalu timbang piknometer yang berisi tanah (W2). Untuk tanah lempung sebaiknya ditumbuk agar butiran tanah terpisah antara yang satu dengan yang lain.
3. Masukkan air suling ke dalam piknometer yang berisi tanah sampai hampir penuh.
4. Hisap piknometer yang berisi air dan tanah dengan menggunakan pompa penghisap (*vacuum pump*), sampai tidak ada gelembung udara.
5. Tambahkan air suling ke dalam piknometer sampai batas penuh.
6. Timbang berat piknometer yang berisi tanah dan air (W3).
7. Kosongkan dan bersihkan piknometer, lalu isi kembali piknometer dengan air suling sampai hampir penuh dan hisap dengan pompa penghisap sampai tidak ada gelembung udara di dalam air.
8. Penuhi piknometer dengan air suling sampai batas penuh dan timbang (W4).

### **3.6.3 Pengujian Batas – batas *Atterberg* (SNI-1967-2008)**

*Atterberg Limit*, yang diuji yaitu :

#### **3.6.3.1 Batas Cair (*Liquid Limit, LL*)**

Pengujian batas cair dimaksudkan untuk menentukan besarnya kadar air di dalam contoh tanah pada fase tanah akan berubah dari air menjadi platis atau sebaliknya.

a. Alat yang digunakan:

1. Alat Casagrande untuk menentukan batas cair.
2. Alat *grooving tool* untuk membuat alur (coakan) berbentuk “V”.
3. Cawan aluminium.



4. Timbangan.
5. Mangkok tempat mengaduk tanah.
6. Spatula.
7. Oven.
8. Botol air (*squeezer*).

b. Prosedur Pengujian:

1. Ambil 4 atau 5 buah cawan aluminium (kosong, bersih dan kering) dan timbang masing-masing berat dan kodenya.
2. Masukkan contoh tanah ke dalam mangkok pengaduk dan tambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk memakai spatula sampai adonan merata dan terlihat “plastis”.
3. Tuangkan adonan tanah ke dalam *container* alat *Casagrande* dan ratakan hingga ketebalan tanah kurang lebih 1 cm.
4. Buat alur atau coakan (*grooving*) pada adonan di dalam container (*grooving tool*) digerakkan dari arah pukul 12 ke arah pukul 6). Pada saat membuat alur, alat pembuat coakan (*grooving tool*) harus tegak lurus dengan dasar container.
5. Gerakkan tuas pemutar berlawanan arah jarum jam dengan kecepatan 2 putaran (ketukan) per detik dan hitung jumlah putaran samai kedua dinding alur adonan tanah di dalam containermenutup.
6. Ambil contoh tanah dan masukkan ke dalam salah satu cawan aluminium yang sudah diketahui beratnya dan timbang.
7. Masukkan cawan dan tanah ke dalam oven yang mempunyai temperature  $105^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , dan diamkan selama 24 jam.
8. Ulangi langkah ke-2 sampai dengan langkah ke-7 pada contoh tanah yang mempunyai kadar air berbeda-beda, sehingga didapatkan contoh adonan yang menutup sepanjang 1,27 cm pada jumlah putaran kurang dari 25 dan lebih dari 25 putaran, masingmasing dua buah. Sedapat mungkin jumlah putaran antara 20 sampai 35. Apabila alur pada adonan sudah menutup sebelum

20 putaran maka tanah terlalu basah, sebaliknya apabila alur belum menutup setelah 35 putaran, maka tanah terlalu kering, sehingga kedua percobaan harus diulang.

9. Ambil semua cawan dari oven, dinginkan dan timbang.

10. Batas cair tanah ditentukan berdasarkan besarnya kadar air, dimana alur menutup sepanjang 1,27 cm (1/2 inch) pada putaran ke 25. Oleh karena sulit untuk mendapatkan adonan yang tepat pada batas cairnya, maka kadar air ditentukan dengan cara menggambar grafik hubungan antara jumlah putaran (ketukan) dengan kadar air.

### **3.6.3.2. Batas Plastis (*Plastic limit, PL*)**

Pengujian batas plastis dimaksudkan untuk menentukan besarnya kadar air di dalam contoh tanah pada saat tanah akan berubah dari fase plastis menjadi fase semi padat atau sebaliknya.

a. Alat yang digunakan:

1. Cawan aluminium
2. Timbangan
3. Mangkok tempat mengaduk tanah
4. Spatula
5. Oven
6. Botol air
7. Kaca datar
8. Standar ukuran berbentuk silinder yang terbuat dari logam dengan diameter mm dan panjang 10 cm sebagai acuan.

b. Prosedur Pengujian:

1. Bersihkan cawan aluminium dan timbang beserta tutupnya, catat beratnya.
2. Ambil tanah (yang agak kering) dan letakkan di dalam mangkok.

3. Tambahkan air ke dalam contoh tanah dan aduk dengan spatula sampai merata
4. Ambil contoh tanah kira-kira setengah ruas ujung jari kelingking dan remas-remas sehingga berbentuk seperti bola (kelereng).
5. Letakkan bola tanah tersebut di atas kaca datar dan gulung atau gelintir (*rolled*) menggunakan telapak tangan berulang kali sampai tanah berbentuk silinder dengan diameter 3 mm.
6. Amati tekstur tanah dengan seksama. Apabila contoh tanah yang berbentuk silinder dengan diameter 3 mm tersebut terlihat mulai retak, maka masukkan tanah tersebut ke dalam cawan aluminium dan tutup cawan dengan rapat agar kadar air tidak berubah.
7. Jika tanah yang digulung sampai diameter 3 mm belum terlihat retak, maka tanah terlalu basah dan sebaliknya bila tanah sudah retak sebelum mencapai 3 mm, maka tanah terlalu kering.
8. Ulangi proses ke-3 sampai dengan ke-7, sampai mendapatkan silinder tanah yang mulai retak pada diameter 3 mm.
9. Timbang contoh tanah dan cawan, kemudian masukkan ke dalam oven selama 24 jam pada temperatur 105o +/- 5oC.
10. Keluarkan contoh tanah dari oven dan timbang cawan yang berisi tanah kering.
11. Batas plastis ditentukan berdasarkan kadar air, dimana contoh tanah yang digulung (*rolled*) sampai diameter 3 mm mulai retak.

#### **3.6.4 Pengujian Pemadatan Standard proctor (SNI-1743-2008)**

Proses pemadatan di laboratorium adalah usaha untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum pada energi yang standar, dengan jalan memberikan kadar air yang optimum. Pemadatan dilakukan dengan menggunakan beban standar berdasarkan ASTM D-1586 (1998) dan AASHTO (1982). Hasil yang diperoleh dari pengujian pemadatan biasanya dipersentasikan dalam bentuk grafik hubungan antara berat-volume tanah dalam keadaan kering (*dry density*) dan kadar air (*moisture content*).

a. Alat yang digunakan:

1. Standard Proctor

2. Penumbuk (*rammer*)

3. Cawan aluminium

4. Timbangan

5. Oven

b. Prosedur Pengujian:

1. Siapkan beberapa cawan aluminium kosong dan bersih, timbang dan catat berat masing-masing.

2. Timbang berat tabung Proctor (*mold*), tanpa alas dan collar.

3. Siapkan contoh tanah yang akan ditentukan kepadatannya (beratnya 3-4 kg) dan keringkan di dalam oven selama 24 jam.

4. Keluarkan contoh tanah dari oven, biarkan hingga dingin, tambahkan air sekitar 3% dan berat tanah kering dan aduk sampai rata.

5. Masukkan tanah secukupnya ke dalam tabung silinder yang telah dipasang *collar* sehingga volume tanah setelah ditumbuk kira-kira tinggal  $1/3$  volume tabung.

6. Tumbuk tanah di dalam tabung secara merata sebanyak 25 kali.

7. Tambahkan tanah ke dalam tabung silinder, sehingga volume tanah setelah ditumbuk sebanyak 25 kali menjadi sekitar  $2/3$  volume tabung.

8. Tambahkan tanah ke dalam tabung sampai penuh (mendekati tinggi *collar*) dan tumbuk sebanyak 25 kali. Pastikan bahwa permukaan tanah di dalam tabung setelah ditumbuk lebih tinggi dari tabung (*mold*, tanpa *collar*).

9. Lepas collar dengan hati-hati agar tanah dalam collar tidak terpotong.

10. Ratakan tanah di permukaan tabung sedater mungkin, lepas bagian alas tabung, dan timbang (*mold* dan tanah).

11. Keluarkan tanah dari dalam tabung (*mold*).

12. Ambil contoh tanah di bagian atas, tengah, dan bawah tabung, masukkan ke dalam cawan yang telah ditentukan beratnya, untuk menentukan kadar airnya.

13. Timbang cawan dan contoh tanah, masukkan ke dalam oven pada temperature  $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.

14. Pecahkan tanah yang menggumpal setelah dikeluarkan dari tabung *Proctor*.

15. Tambahkan air (sekitar 3%) ke dalam contoh tanah yang dikeluarkan dari tabung (langkah 11) aduk hingga rata, kemudian ulangi langkah 5 sampai 14.

16. Ulangi proses langkah 15 beberapa kali.

17. Penambahan air dihentikan bila berat tabung dan tanah setelah ditumbuk lebih kecil dari berat tanah dan tabung pada percobaan sebelumnya.

### **3.6.5 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) (SNI-1744-2012)**

Pengujian CBR bertujuan untuk menentukan kekokohan permukaan lapisan tanah yang umumnya akan dipakai sebagai sub-base (urugan) atau sub-grade (lapisan tanah dasar).

Pengujian kering (*unsoaked*)

a. Alat yang digunakan :

1. Tabung silinder (*mold*) berdiameter 15 cm
2. Penumbuk (*rammer*)
3. Cawan aluminium
4. Timbangan
5. Oven
6. Mesin penekan (*compression machine*)

b. Prosedur pengujian:

1. Tentukan berat-volume kering ( $\gamma_{dry}$ ) maksimum dan kadar air optimum contoh tanah, yang diperoleh dari pengujian standard proctor.
2. Timbang berat tabung (*mold*) CBR, tanpa alas dan collar.
3. Siapkan contoh tanah yang akan diuji kekokohnya dan keringkan di dalam oven selama 24 jam.

4. Keluarkan contoh tanah dari oven, biarkan hingga dingin, kemudian tambahkan air sampai kadar air optimum dan aduk sampai rata.
5. Masukkan tanah secukupnya ke dalam tabung silinder CBR yang telah dipasang *collar*, sehingga volume tanah setelah ditumbuk kira-kira tinggal 1/5 volume tabung.
6. Tumbuk tanah di dalam tabung secara merata sebanyak 56 kali dengan memakai penumbuk (*rammer*) yang dijatuhkan dari ketinggian 45 cm.
7. Ulangi langkah 5 dan 6 sebanyak 5 kali sampai tanah di dalam tabung penuh dan permukaannya rata.
8. Taruh beban standar (berupa lempengan logam yang berlubang di tengahnya) di atas permukaan tanah di dalam tabung CBR.
9. Letakkan tabung yang berisi tanah dan beban standar pada mesin penekan, dan atur ketinggian agar torak penekan yang mempunyai luas penampang 3 inch<sup>2</sup> (diameter 4,96 cm) melewati lubang beban standar dan duduk tepat di atas permukaan contoh tanah.
10. Pasang dan atur dial penurunan agar jarum penunjuk penurunan tepat pada posisi nol.
11. Jalankan mesin penekan dengan kecepatan 0,025 inch per menit.
12. Lakukan pembacaan (pencatatan) gaya yang terjadi setiap penetrasi.
13. Gambarkan grafik hubungan antara penetrasi dan gaya tekan yang terjadi.