

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah dasar (*sub grade*) adalah bagian terpenting dari sebuah struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) maupun perkerasan lentur (*flexible pavement*), karena *sub grade* merupakan bagian untuk perletakan sebuah perkerasan jalan. Keawetan dan kekuatan jalan juga bergantung pada sifat-sifat *sub grade* yang digunakan untuk perletakan, termasuk juga ketebalan perkerasan jalan ditentukan oleh jenis *sub grade* yang menjadi landasan sebuah perkerasan. Fungsi *sub grade* akan menahan beban konstruksi di atasnya, *sub grade* harus memiliki daya dukung tanah yang baik, sehingga mampu menahan beban yang sudah diperhitungkan sebelum dibangun perkerasan jalan di atasnya (Sukirman,1999). Kondisi di lapangan, tidak semua tanah memiliki daya dukung yang baik, sebagai contoh tanah gambut, tanah pesisir pantai, dan tanah lunak rawa tambak. Menurut Sukirman (1999) tanah gambut mengandung kadar air yang sangat tinggi karena cenderung selalu tergenang air. Jika kondisi tanah ini masih tetap dilakukan pembangunan perkerasan jalan tanpa harus di stabilkan terlebih dahulu untuk meningkatkan daya dukungnya, tentu hal tersebut akan membuat struktur jalan di atasnya akan cepat rusak karena tidak stabilnya kondisi tanah. Meskipun telah dilakukan perbaikan jalan berulang kali, kondisi kerusakan akan terus terjadi karena daya dukung tanah yang tidak baik tersebut.

Menurut Sukirman (1999), beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan lapisan dibawahnya dan akhirnya diterima oleh *sub grade*. Dengan demikian tingkat kerusakan konstruksi perkerasan selama masa pelayanan tidak saja ditentukan oleh kekuatan dari lapisan perkerasan tetapi juga *sub grade*. Daya dukung tanah (*bearing capacity*) atau yang sering disebut DDT adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan diatasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. DDT akan memengaruhi terhadap ketebalan perkerasan jalan yang akan dibangun di atas *sub grade*. DDT *sub grade* dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase, dan lain-lain (Sukirman, 1999). Tanah dengan tingkat kepadatan tinggi mengalami perubahan kadar air kecil dan mempunyai

DDT yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah sejenis yang tingkat kepadatannya lebih rendah. Tingkat kepadatan dinyatakan dalam prosentase berat volume kering tanah terhadap berat volume kering maksimum. Dengan kondisi *sub grade* dan nilai DDT yang berbeda antara tempat satu dengan tempat lainnya maka perlu dilakukan penstabilan tanah. Salah satu cara yang bisa digunakan untuk menstabilkan tanah adalah dengan meningkatkan nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan antara beban yang mampu dipikul oleh *sub grade* terhadap beban standart dalam penetrasi yang dinyatakan dalam harga CBR (Turnbul, 1968). Harga CBR dinyatakan dalam persen, dengan pembacaan semakin tinggi nilai prosentase CBR semakin bagus tanah tersebut untuk memikul beban perkerasan dan lalu lintas. Untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas sedang nilai CBRnya adalah 5% s/d 10% (sumber: Turnbul, 1968 dalam Raharjo, 1985). Dalam Turnbul (1968) dan Raharjo (1985) menyebutkan bahwa nilai CBR untuk *sub grade* berbeda untuk masing-masing kondisi lalu lintas. Sebagai contoh untuk lalu lintas sedang minimal nilai CBR yang diizinkan adalah 5% s/d 10% dan untuk lalu lintas tinggi adalah 10% s/d 20%. Dalam kondisi di lapangan, jika kondisi tanah *sub grade* nilai CBR kurang memenuhi maka dilakukan pengurukan/penimbunan atau upaya-upaya perbaikan terhadap *sub grade* dan diharapkan didapatkan peningkatan nilai CBR yang diinginkan.

Beberapa panilitian sebagai upaya peningkatan nilai CBR terhadap *sub grade* telah dilakukan. Sebagai contoh penelitian Adolf Situmorang (2011), meneliti perbaikan terhadap stabilisasi *sub grade* lempung ekspansif dengan campuran air garam dan air kapur padam. Pada penelitian ini menggunakan campuran air kapur padam sebesar 5% dan air garam dengan variasi 0%, 2%, dan 3%. Serta menggunakan variasi pemeraman campuran selama 0 hari dan 7 hari. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa penambahan garam pada setiap campuran tanah lempung ekspansif dengan waktu pemeraman tertentu cenderung menurunkan nilai CBR nya, oleh karena itu perlu kiranya untuk tidak menstabilkan tanah lempung dengan kapur pada suatu daerah yang banyak mengandung garam atau daerah yang diperkirakan akan mengalami induksi air laut karena uji kuat tekan bebas cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan garam. Fitridawati Soehardi dan Lusi Dwi Putri (2017), I Komang

Tri Herdiana (2018) telah melakukan penelitian tentang pengaruh waktu pemeraman terhadap stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan kapur padam dan campuran matos terhadap nilai CBR. Penelitian ini menggunakan campuran matos sebesar 3,472 gr dengan variasi penambahan kapur sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% dan lama pemeraman 0, 4, 7, dan 14 hari. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai CBR tanah yang dipadatkan terlebih dahulu baru kemudian diperam di dalam mold lebih besar jika dibandingkan dengan campuran tanah dan kapur yang diperam terlebih dahulu di dalam plastic baru kemudian dipadatkan dalam mold. Nilai CBR akan terus meningkat seiring dengan penambahan air kapur dan waktu pemeraman yang semakin lama.

Mengacu pada penelitian sebelumnya, maka penelitian ini difokuskan pada perbaikan *sub grade* dengan metode pemeraman tanah serta mencampurkan kapur aktif atau lebih dikenal dengan nama kapur tohor. Menurut Tjokrodimuljo (1992), kapur tohor atau dikenal pula dengan nama kimia kalsium oksida (CaO), adalah bahan terpenting untuk campuran pembuatan semen, tohor termasuk hasil dari pembakaran kapur mentah (kalsium karbonat atau CaCO_3) pada suhu kurang lebih 90°C . Jika disiram dengan air, maka kapur tohor akan menghasilkan panas dan berubah menjadi kapur padam (kalsium hidroksida, CaOH). Kapur tohor (CaO) termasuk penyusun utama senyawa kapur di alam, berjumlah 29,77% – 55,5%.

Instumen pada penelitian ini menggunakan proses pemeraman 14 hari dengan prosentase kapur tohor 10%, 20%, dan 30%. Tanah yang digunakan berasal dari lahan bekas tanah rawa, yang akan digunakan untuk lahan akses menuju ruko di area kutisari. Berdasarkan pengujian di laboratorium, tanah uji tersebut termasuk jenis tanah gambut karena memiliki berat jenis $1,240 < 2,00 \text{ gr/cm}^3$ dengan kadar air 54,67%. Sedangkan pengujian nilai CBR awal dari 3 sampel pengujian dengan pemadatan 10, 25, dan 56 tumbukan didapatkan nilai CBR awal sebesar 0,5%. Nilai CBR tersebut tentunya tidak memenuhi syarat untuk nilai CBR untuk lalu lintas sedang yang memiliki standart Nilai CBR 5% s/d 10%.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai CBR tanah asli yang didapatkan dari pengujian CBR awal ?

2. Berapa prosentase penambahan kapur tohor yang tepat untuk mendapatkan nilai CBR standart lalu lintas sedang, yaitu nilai CBR 5% s/d 10% ?

1.3. Tujuan

Dari rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui nilai CBR tanah asli dengan melakukan uji CBR awal.
2. Mengetahui berapa prosentase kapur tohor yang tepat untuk mendapatkan nilai CBR dengan standart lalu lintas sedang.

2.1. Manfaat

Dengan adanya penelitian ini diharapkan:

1. Dapat membawa manfaat bagi masyarakat bahwa nilai CBR tanah dapat mempengaruhi daya dukung tanah.
2. Mampu memberikan informasi bahwa tanah dengan nilai CBR rendah bisa ditingkatkan nilai CBR nya dengan menambahkan kapur tohor.
3. Sebagai penelitian lanjutan dalam bidang teknik sipil.

2.2. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis memfokuskan pada pengetesan CBR (*California Bearing Ratio*) tanah sebelum dan sesudah di tambahkan tohor dengan durasi pemeraman 14 hari. Adapun penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang digunakan diambil dari lahan bekas tanah rawa, yang akan digunakan untuk lahan akses menuju ruko di area kutisari, koordinat S7 20 01.6 E112 44 28.3.
2. Unsur kimiawi tanah benda uji tidak diperhitungkan.
3. Tidak menguji kandungan zat pada kapur tohor.
4. Kondisi tanah untuk perkerasan beban lalu lintas sedang.
5. Tidak menggunakan zat *additive* selain kapur tohor.
6. Tidak menghitung tebal perkerasan di atas *sub grade*.
7. Tidak menghitung perencanaan beban lalu lintas.
8. Pengujian menggunakan standart ASTM D 2017 :
 - a. Uji Test CBR (*California Bearing Ratio*) Labolatorium (ASTM D-1883)
 - b. Pengujian Kadar Air Tanah (ASTM D-2216)
 - c. Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D-654)

- d. Pengujian Batas *Atterberg* (ASTM D-4318)
- e. Standart Proctor (*Standart Proctor*) (ASTM D-698)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Menurut Craig (1991), tanah adalah akumulasi mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Batuan yang lapuk karena proses alam berproses menjadi tanah yang berbeda partikel, berbeda jenis tanah dan berbeda ukuran butir karena perbedaan jenis batuan yang lapuk tersebut. Semakin bervariasi batuan yang lapuk, jenis tanah semakin bervariasi pula.

Menurut Verhoef (1994), Tanah adalah kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) dan rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air. Tanah dapat dibagi menjadi tiga kelompok :

- a. Tanah berbutir kasar (pasir, kerikil)
- b. Tanah berbutir halus (lanau, lempung)
- c. Tanah campuran

Menurut Bowles (1991), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
- d. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan kedalam danau atau didekat garis pantai pada muara sungai.
- e. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.

- f. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Braja M DAS, 1995).

Menurut penulis dari beberapa teori di atas dapat disimpulkan bahwa tanah adalah hasil dari penghacuran batuan yang terjadi secara kimiawi. Proses kimiawi tersebut menghasilkan perubahan kadar mineral dalam batuan asal. Oleh karena itu tanah memiliki karakteristik dan sifat-sifat fisik tertentu. Untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah tersebut maka perlu dilakukan klasifikasi tanah karena suatu kondisi dan keadaan tanah dari suatu daerah yang ada di muka bumi ini berbeda-beda.

2.1.1 Klasifikasi Tanah

a. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) telah dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Kemudian Sistem ini telah mengalami perbaikan hingga beberapa kali. Yang dipakai saat ini adalah klasifikasi 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 M105).

Dalam system AASHTO, Tanah diklasifikasikan dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 s/d A-7.

- Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200.
- Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7.

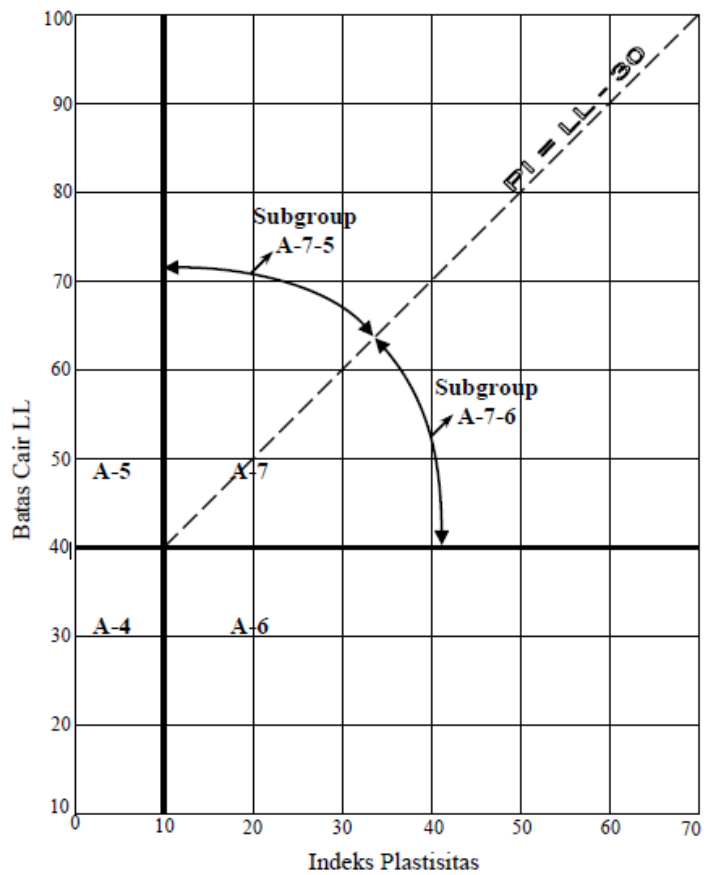
Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan atas :

- A – 1, adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir-butir halus, dengan atau tanpa sifat-sifat plastis.
- A – 3, adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir dengan sedikit sekali butir-butir halus lolos No.200 dan tidak plastis.
- A – 2, sebagai kelompok batas antara kelompok tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Kelompok A-2 ini terdiri dari campuran kerikil/pasir dengan tanah berbutir halus yang cukup banyak (<35%).

Kelompok tanah berbutir halus dibedakan atas :

- A – 4, adalah kelompok tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.
- A – 5, adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari kelompok A-4.
- A – 6, adalah tanah kelompok lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
- A – 7, adalah tanah kelompok lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Kelompok tanah A-4 s/d A-7 (tanah 35% lolos No.200) sangat ditentukan dari sifat plastisitas tanahnya. Dengan demikian pengelompokannya dapat menggunakan grafik standart AASHTO yang bisa dilihat pada **Gambar 2.1** dibawah ini. Untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada **Tabel 2.1** di bawah :



Gambar 2.1 Grafik Klasifikasi AASHTO untuk Menentukan A-4 s/d A-7

Tabel 2.1 Klasifikasi Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Bahan Berbutir Kasar 35% atau kurang lewat No.200							Bahan Berbutir Halus 35% atau kurang lewat No.200			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6**
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisa Saringan (% lolos)											
No. 10	50 max	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
No. 40	30 max	50 max	51 max	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 max	36 max	36 max	36 max
Sifat fraksi yang lewat No.40											
Batas Cair (LL)	.....		.....	40 max	41 max	40 max	41 max	40 max	40 max	40 max	41 max
Indeks Plastisitas (PI)	6 max		NP	10 max	10 max	11 max	11 max	10 max	10 max	11 max	11 max
Jenis Umum	Fragmen batuan kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan				Tanah Lanauan		Tanah Lempungan	
Tingkat umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Cukup sampai buruk				

Keterangan : * untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

** untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Sumber : Braja M. DAS (1995)

b. Sistem Klasifikasi *Unified* (USCS)

Sistem klasifikasi ini cukup sederhana dan dikemukakan oleh Casagrande dimana digunakan ukuran butiran serta harga plastisitas tanah. Selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Selanjutnya *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standart guna mengklasifikasikan tanah. Suatu tanah diklasifikasikan dalam dua kategori :

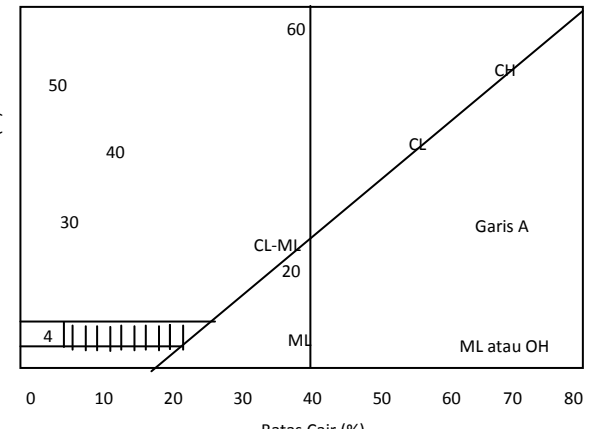
1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*gravel*)

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

Menurut *Bowles (1991)*, kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified* diperlihatkan pada **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3** merupakan system klasifikasi tanah berdasarkan sistim klasifikasi tanah *unified*.

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah Berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No.200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No.4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = (D_{60}/D_{10}) > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua criteria untuk GW
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	batas-batas <i>atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ batas-batas <i>atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lanau	
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar tertahan saringan No.4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = (D_{60}/D_{10}) > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua criteria untuk SW
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	batas-batas <i>atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ batas-batas <i>atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
	SC		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan no. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau organic, pasir halus sekali, serbuk buatan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya mengandung dua symbol. 
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi sampai dengan sedang lempung kerikil, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
OL			Lanau-organik dan lempung berlanau organic dengan plastisitas tinggi		
Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$		MH	Lanau organic atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastic		
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)		
		OH	Lempung organic dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muct</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organic tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM D-2488	

Sumber: Hary Christady, 1992

Tabel 2.3 Sistim Klasifikasi Tanah *Unified*

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

Sumber: Bowles, 1991

Untuk mengetahui kriteri pada Klasifikasi Unified, dapat dilihat pada **Tabel 2.4** di bawah ini:

Tabel 2.4 Kriteria Klasifikasi *Unified*

Kriteria Klasifikasi		
<p>Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus</p> <p>Kurang dari 5% lolos ayakan No.200 GW, GP, SW, SP</p> <p>Lebih dari 12% lolos ayakan No.200 GM, GC, SM, SC</p> <p>5% sampai 12% lolos ayakan No.200 KLASIFIKASI PERBATASAN yang memerlukan penggunaan dua simbol.</p>	$C_u = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{10})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg dibawah garis A dengan $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg diatas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{10})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
Batas-batas Atterberg dibawah garis A dengan $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas Atterberg diatas garis A dengan $PI > 7$		

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

Indeks Plastisitas

Batas Cair

Sumber: ASTM D-2488

Pada pembacaan **Tabel 2.4** di atas, garis tegak lurus merupakan pemisah pada batas cair 50 memisahkan lanau dan lempung yang batas cairannya rendah (L) dari lanau dan lempung yang batas cairannya tinggi (H). Dibawah batas cairan kira-kira 29 dan antara nilai PI sebesar 4 dan 7, menunjukkan sifat-sifat tanah dan karena itulah garis A didaerah ini menjadi suatu daerah. Klasifikasi dualistis CL-ML dipakai untuk tanah-tanah yang berada didalam daerah ini. Tanah berbutir kasar dibagi menjadi pasir dan kerikil, kemudian dibagi lagi menjadi (yang mengandung bahan halus dalam jumlah yang ada artinya, dan yang bebas dari bahan-bahan halus).

Tanah yang mengandung bahan halus diklasifikasikan menurut diagram plastisitas menjadi golongan yang bersifat kelanauan atau bersifat kelempungan. Tanah yang bebas dari bahan-bahan halus diklasifikasikan menurut grafik lengkungan gradasi dengan mempergunakan koefisien-koefisien derajat keseragaman dan koefisien-koefisien lengkungan.

2.1.2 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 (Hardiyatmo, 2002). Sedangkan Stabilisasi kimiawi yaitu menambahkan kekuatan dan daya dukung tanah dengan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat tek nis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti semen, kapur, dan pozzolan (Harnein, 2007).

Penambahan bahan campuran untuk menstabilkan tanah sangat bervariasi. Umumnya ditambahkan bahan yang bisa dibuang adalah bahan limbah atau bahan yang sudah tidak terpakai. Pada proses stabilisasi tanah bisa dilakukan dengan menambahkan air garam, air matos, campuran belerang, campuran fly ash, campuran karbon, dan bisa juga dengan mencampurkan air kapur. Baik menggunakan kapur padam maupun kapur aktif (kapur tohor).

Untuk menstabilkan tanah ada beberapa metode yang bisa digunakan, seperti :

- a. Metode *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 sepertimesin 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 lainnya.
- b. Hicks (2002), menggunakan metode stabilisasi tanah yang akan digunakan dengan hubungan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *atterbreg*. Sebagai contoh, jika material tanah lebih besar dari 25% lolos saringan no.200 dan indeks plastisitas lebih kecil atau sama dengan 10% maka metode stabilisasi tanah dengan semen, aspal (semen dicampur) dan granuler dinyatakan cocok sedangkan kapur, aspal (bitumen) dinyatakan ragu dan tidak cocok pada campuran lain-lain.
- c. Ingles dan Metcalf (1972), menunjukkan cara memilih metode stabilisasi tanah yang digunakan dalam distribusi ukuran butir tanah. Sebagai contoh stabilisasi tanah dengan semen cocok digunakan pada tipe tanah lempung halus, lempung kasar dan lanau halus dimana ukuran butiran yaitu 0,0006 – 0,01 mm tetapi tidak cocok pada tanah lanau kasar, pasir halus dan pasir kasar dimana ukuran butiran yaitu 0,01 – 2 mm.

2.2 Kapur Tohor

Hary Christady Hardiyatmo (2015), kapur cocok digunakan untuk stabilisasi tanah berlempung (CH dan CL), dan tanah-tanah granuler yang mengandung lempung (GC, SC). Kapur mereduksi indeks plastisitas (PI) dan membuat lempung menjadi tidak begitu sensitif terhadap air. Kapur merupakan salah satu mineral yang cukup efektif untuk proses stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan kapur sangat lazim digunakan dalam proyek – proyek konstruksi jalan. Kapur yang bisa digunakan dalam stabilisasi tanah adalah kapur hidup CaO dan kapur padam. Kapur tersebut berasal dari batu kapur yang telah dibakar sampai dengan suhu 1000°C. kapur hasil pembakaran apabila ditambahkan air akan mengembang dan retak. Banyak panas yang keluar (seperti mendidih) selama proses ini, hasilnya adalah kalsium hidroksida Ca(OH)_2 apabila air kapur dengan mineral tanah bereaksi maka akan membentuk suatu Geel yang kuat dan keras yaitu kalsium silikat yang mengikat butir-butir atau partikel tanah (Ingles dan Marcalf, 1972).

Stabilisasi tanah kohesif, umumnya digunakan kapur terhidrasi Ca(OH)_2 yang digunakan untuk maksud perawatan atau modifikasi tanah biasanya berkisar 1 – 3 %. Dengan pencampuran ini, tanah menjadi lebih kering sehingga lebih mudah dipadatkan dan *sub grade* dapat digunakan sebagai landasan kerja bagi kendaraan proyek maupun perkerasan di atasnya. Untuk stabilisasi tanah menggunakan kapur, umumnya digunakan kadar kapur 3 – 8% dari berat tanah kering. Dengan pencampuran ini, *sub grade* diharapkan mempunyai kuat tekan bebas tidak kurang dari 50 psi (350 kPa) pada waktu 28 hari. Kadar kapur optimum dapat diperoleh dengan melakukan uji tekan bebas dan batas-batas *atterberg* pada campuran tanah dan kapur yang kadar kapurnya divariasikan. Bentuk dari kapur tohor bisa dilihat pada **Gambar 2.2**, untuk bentuk kapur padam bisa dilihat pada **Gambar 2.3**, dan untuk bentuk dari batu gamping bisa dilihat pada **Gambar 2.4** dibawah ini :



Gambar 2.2 Gambar Kapur Tohor



Gambar 2.3 Gambar Kapur Padam



Gambar 2.4 Gambar Batu Gamping

2.2.1 Kandungan Kapur Tohor

Kapur tohor, atau dikenal pula dengan nama kimia kalsium oksida (CaO), adalah hasil pembakaran kapur mentah (kalsium karbonat atau CaCO_3) pada suhu kurang lebih 90°C . Jika disiram dengan air, maka kapur tohor akan menghasilkan panas dan berubah menjadi kapur padam (kalsium hidroksida, CaOH).

Kapur adalah material yang berasal dari batuan sedimen berwarna putih dan halus yang terutama tersusun dari material kalsium. Tiga senyawa utama yang mewujudkan kapur adalah kalsium karbonat (mendominasi gamping dan kapur tambang), kalsium oksida (penyusun utama kapur tohor), dan kalsium hidroksida (yang mendominasi kapur mati). Kapur yang ditemukan di alam juga dapat tercampur dengan mineral magnesium. Kapur yang demikian ini dinamakan dolomite.

Susunan kapur terdiri atas beberapa senyawa penyusun antara lain:

Karbonat (CO_3) : 97%

Kapur Tohor (CaO) : 29,77 – 55,5%

Magnesium (MgO) : 21 – 31%

Silika (SiO₂) : 0,14 – 2,41%

Aluminium (Al₂O₃) dan Oxid besi (Fe₂O₃) => 0,5%

Proses kimia dari pembentukan kapur menurut Tjokrodimuljo, 1992 :



Kapur Tohor memiliki warna putih, putih kecoklatan, dan putih keabu-abuan dengan bidang belahan tidak teratur dan memiliki kekerasan 2,7 – 3,4 skala mohs. Meskipun kapur tohor tidak semua bersifat keras dan ada sebagian yang berongga namun kapur tohor memiliki berat jenis yang stabil yaitu 2,387 t/m³. Kapur tohor bisa berbentuk batuan besar yang padat dan keras, dengan bentuk seperti itu maka perlu penghancuran batu kapur tohor tersebut agar bisa menjadi batuan kecil agar mudah didistribusikan ke pasaran. Sifat aktif dari kapur tohor, membuat batu tersebut harus disimpan dengan baik. Karena jika batu kapur tohor tersebut terkena air akan menimbulkan panas, meleleh, dan bereaksi menjadi kapur padam. Meskipun telah menjadi kapur padam, namun kapur tersebut masih baik digunakan untuk stabilisasi tanah, terutama untuk bisa menambah nilai CBR tanah.

2.2.2 Manfaat Kapur Tohor

Kapur adalah bahan yang sangat bermanfaat dalam berbagai aktivitas manusia dan relatif murah. Pemanfaatan terbanyak adalah di bidang bangunan dan pertanian. Kapur menjadi bagian dari campuran semen karena memiliki sifat merekatkan dan mengubah penampilan seperti untuk plesteran dan adukan pasangan bata. Selain untuk bahan bangunan, kapur juga bisa digunakan sebagai salah satu pembasmi hama pertanian, kapur berguna dalam menyediakan unsur kalsium dan memperbaiki kemasaman tanah, dan bisa untuk serbuk belerang yang disemprotkan ke hama pertanian. Untuk bidang sipil, selain bisa digunakan untuk bahan bangunan, kapur bisa digunakan untuk bahan penstabilan jalan raya. Dengan pemakaian kapur dalam bidang pemantapan pondasi jalan raya termasuk rawa yang dilaluinya. Kapur ini berfungsi untuk mengurangi plastisitas tanah, mengurangi penyusutan tanah, dan pemuaiian pondasi jalan raya.

Dengan penambahan kapur tohor pada tanah yang mempunyai kadar air tinggi, kapur tersebut akan mengikat partikel tanah agar menjadi lebih keras dengan menyerap kadar air yang tersimpan pada tanah dasar. Kapur tohor mampu memperbaiki tanah dasar yang memiliki daya dukung tanah yang kurang baik.

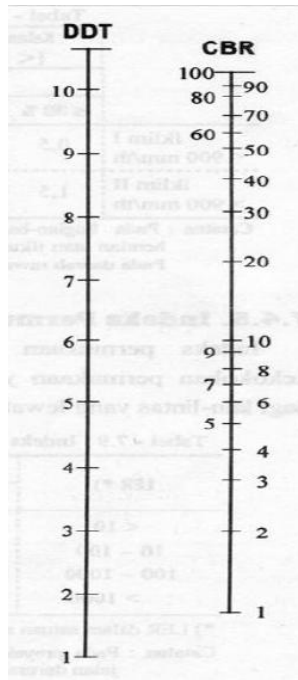
2.3 Daya Dukung Tanah

Menurut Sukirman (1999), beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan lapisan dibawahnya dan akhirnya diterima oleh *sub grade*. Dengan demikian tingkat kerusakan konstruksi perkerasan selama masa pelayanan tidak saja ditentukan oleh kekuatasn dari lapisan perkerasan tetapi juga *sub grade*. Daya dukung tanah (*bearing capacity*) atau yang sering disebut DDT adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan diatasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. DDT akan memengaruhi terhadap ketebalan perkerasan jalan yang akan dibangun di atas *sub grade*. DDT *sub grade* dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase, dan lain-lain (Sukirman, 1999). Tanah dengan tingkat kepadatan tinggi mengalami perubahan kadar air kecil dan mempunyai DDT yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah sejenis yang tingkat kepadatannya lebih rendah. Tingkat kepadatan dinyatakan dalam prosentase berat volume kering tanah terhadap berat volume kering maksimum.

Daya dukung tanah (*bearing capacity*), sangat menentukan kualitas kekuatan konstruksi jalan. Nilai daya dukung tanah dapat diperoleh dari grafik korelasi antara nilai DDT dan nilai CBR. Selain itu nilai DDT dari suatu harga CBR bisa dihitung dengan menggunakan rumus :

$$DDT = 1,6649 + 4,3592 \log (CBR) \dots\dots\dots(1)$$

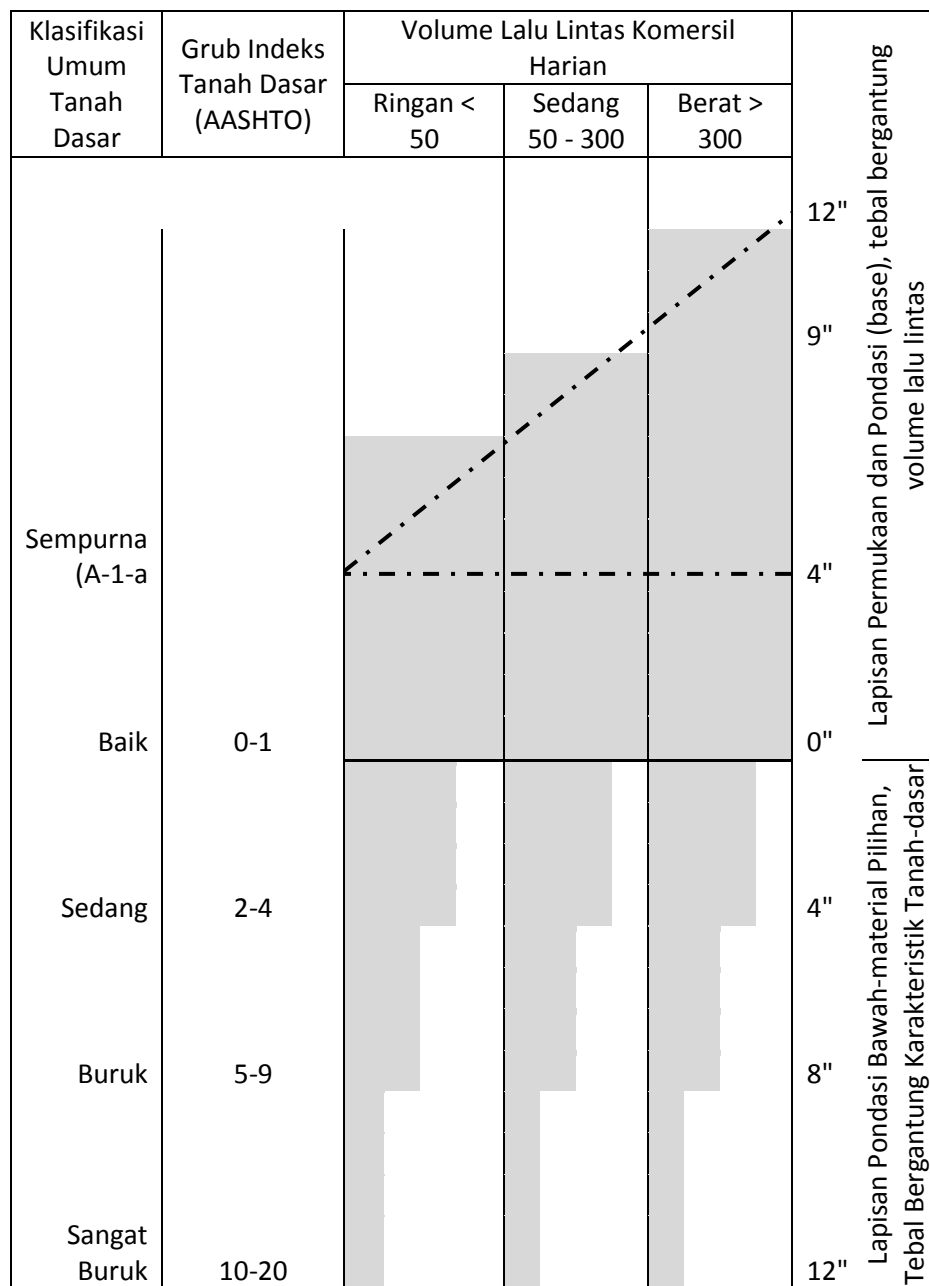
Untuk mengetahui faktor korelasi antara nilai CBR dengan DDT maka dapat dilihat pada **Gambar 2.5** berikut.



Gambar 2.5 Grafik Korelasi Nilai CBR dengan DDT

Sumber: Metoda Analisa Komponen “SKBI-2.3.26.1987/SNI NO: 1732-1989-F

Daya dukung tanah mempengaruhi tebal perkerasan yang dibutuhkan, pada dasarnya semakin rendah DDT maka dibutuhkan perkerasan lebih tebal. Tebal lapis permukaan dan lapis pondasi (*base*) yang dibutuhkan untuk macam-macam volume lalu lintas harian, ditunjukkan dalam **Gambar 2.6** dibawah. Bagian dalam grafik menunjukkan pengaruh kekuatan *Sub grade* pada tebal lapis pondasi bawah yang dibutuhkan.

Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Kekuatan *Subgrade* Terhadap Tebal Perkerasan

Sumber : H.C. Hardiyatmo (2015), mengacu pada buku Bruce dan Clarkeson, (1956)

2.3.1 CBR (*California Bearing Ratio*) Tanah

Menurut Canonica (1991), metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang bisa dikenal adalah cara CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State High Way Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan

(*Sub grade*). Iatilah CBR menunjukkan suatu perbandingan (*Ratio*) antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam (luas penampang 3 squich) 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.

Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), CBR dapat dibagi menjadi 3 macam sesuai dengan cara mendapatkan contoh tanahnya. Yaitu :

1. CBR lapangan
2. CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*)
3. CBR laboratorium
 - CBR laboratorium rendaman (*soaked laboratory CBR*)
 - CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked laboratory CBR*)

a. Nilai CBR

Nilai CBR adalah nilai prosentase yang menunjukkan besar kecilnya CBR. Nilai CBR digunakan untuk dasar perencanaan perkerasan timbunan pada jalan. Semakin tinggi nilai CBR tanah maka semakin baik tanah untuk menjadi dasar perkerasan jalan. Berlaku sebaliknya, jika semakin kecil nilai CBR maka konstruksi jalan yang akan dibangun di atasnya akan cepat rusak. Nilai CBR juga digunakan untuk menentukan tebal tipis perkerasan dari nilai CBR digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas.

$$CBR_{0,1''} = \frac{\text{Beban benda uji saat piston menembus } 0,1''}{3 \times 1000} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

$$CBR_{0,2''} = \frac{\text{Beban benda uji saat piston menembus } 0,2''}{3 \times 1500} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Jika harga standart unit load pada penetrasi 0,1'' = 1000 psi, maka harga standart unit load pada penetrasi 0,3''; 0,4''; 0,5'' adalah masing- masing 1900; 2300; dan 2600 psi. Beban (load) didapat dari hasil pembacaan dial penetrasi yang kemudian diubah dengan grafik calibration proving ring. Test unit load (psi) = Tegangan (σ)

b. Mencari nilai CBR

Sebelum membangun sebuah perkerasan jalan maka perlu mengetahui daya dukung tanah pada lokasi yang akan dibangun akses perkerasan tersebut. Untuk mengetahui daya dukung tanah, salah satu cara yang bisa dilakukan adalah dengan mencari nilai CBR tanah. Nilai CBR bisa didapatkan dengan pengujian CBR lapangan maupun pengujian CBR laboratorium. Pada pengujian CBR dilaboratorium dilakukan dengan pengambilan sampel dilapangan untuk diuji menggunakan alat uji CBR dilaboratorium. Kriteria CBR untuk *Sub grade* sudah dikelompokkan dalam tabel kriteria CBR pada **Tabel 2.5** dan pada **Tabel 2.6** merupakan nilai CBR material tanah yang dikenal oleh umum.

Tabel 2.5 Kriteria CBR untuk Tanah Dasar Jalan (*Sub grade*)

Section	Material	Nilai CBR (%)
Subgrade	Sangat Baik	20 – 30
	Baik	10 – 20
	Sedang	5 – 10
	Buruk	< 5

Sumber : Turnbull, 1968 dan Raharjo, 1985

Tabel 2.6 Nilai CBR Material Tanah yang Dikenal Umum

No.	Material	CBR (%)
1	Agregat pecah padat-bergradasi biasanya digunakan untuk pondasi perkerasan	100
2	Agregat alami padat-bergradasi biasanya digunakan untuk pondasi perkerasan	80
3	Batu kapur	80
4	Pasir campuran	50 – 80
5	Pasir berbutir kasar	20 – 50
6	Pasir berbutir halus	10 – 20
7	Tanah lempung	< 3

Untuk mengetahui penyesuaian nilai CBR dengan susunan lapisan jalan bisa dilihat pada **Tabel 2.7** di bawah ini:

Tabel 2.7 Nilai CBR Bersesuaian dengan Susunan Lapisan Jalan

	CBR In Base	CBR Is Subbase	CBR In Subgrade
Excellent	100	50	-
Good	80	40	12 +
Fair	-	30	9 – 12
Poor	50	-	4 – 8
Verry Poor	-	-	< 4

2.3.2 Pemadatan Tanah

Menurut Bowles (1991), pemadatan merupakan usaha untuk memepertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemantapan partikel. Proctor (1993) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah, umumnya terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Variable yang didefinisikan oleh proctor yaitu usaha pemadatan atau energy pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel, dan sebagainya), kadar air, dan berat isi kering Ismail (1995), menyajikan formula untuk menghitung energy tumbukan yaitu :

$$CE = \frac{b \times t \times j}{l \times v} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- b : Berat penumbuk (kg)
- t : Tinggi jatuh penumbuk (m)
- j : Jumlah tumbukan per lapisan
- l : Jumlah lapisan
- v : Volume mold (m³)

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. Pada kadar air yang sangat tinggi, kepadatan kering maksimum dicapai bila tanah dipadatkan dengan kejenuhan di mana hampir semua udara didorong keluar. Pada kadar air rendah, partikel-partikel tanah mengganggu satu sama lain dan penambahan

kelembapanakan memungkinkan kepadatan masal yang lebih besar. Pada saat terjadi kepadatan puncak efek ini mulai menetral oleh kejenuhan tanah. Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat teknik tanah, antara lain:

- a. Memperbaiki kuat geser tanah.
- b. Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban.
- c. Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Menurut Craig (1991), pemadatan adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara dan tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berartipada tanah tersebut. Prosedur pengujian yang digunakan pada pengujian pemadatan di laboratorium disebut uji proctor. Uji pemadatan proctor adalah metode laboratorium untuk menentukan kadar air optimal di mana jenis tanah yang di uji akan menjadi yang paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum.

Adapun rincian tentang masing-masing pengujian pemadatan tersebut ialah :

1. Proctor Standar (*Standart Proctor*)

Percobaan ini menggunakan standar ASTM D-698. Pada percobaan ini tanah dipadatkan dalam mold standar dengan alat pemukul seberat 2,5 kg yang dijatuhkan dengan ketinggian 30,5 cm. pemadatan dibagi 3 lapis pemadatan dan setiap lapis mendapat pukulan 25 kali.

2. Proctor Modifikasi (*Modified Proctor*)

Perbedaan pada percobaan ini yaitu pada alat pemukul, jumlah lapisan dan tinggi jatuh alat pemukul. Berat pemukul yang dipakai yaitu 4,5 kg, sedangkan jumlah lapisan pemadatan sebanyak 5 lapis. Untuk tinggi jatuh alat pemukul yaitu 45,7 cm. Percobaan ini menggunakan standar ASTM D-1557.

Percobaan dilakukan beberapa kali dengan kadar air yang berbeda-beda. Setelah dipadatkan benda uji ditimbang dan diukur kadar air dan berat volumenya. Hubungan grafis dari kadar air dan berat volumenya kemudian diplot untuk membentuk kurva pemadatan. Kepadatan kering maksimum akhirnya diperoleh dari titik puncak kurva pemadatan dengan kadar air yang sesuai atau dikenal juga sebagai kadar air yang optimal. Rincian mengenai

persamaan ataupun perbedaan dari kedua proctor tersebut, diperlihatkan dalam **Tabel 2.8** di bawah ini :

Tabel 2.8. Elemen-elemen Uji Pemadatan di Laboratorium

	Proctor Standart ASTM D-698	Proktor modifikasi ASTM D-1557
Berat palu	24,5 N (5,5 lb/2,5 kg)	44,5 N (10 lb/4,5 kg)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12 inc)	457 mm (18 inc)
Jumlah lapisan	3	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25	25
Volume cetakan	1/30 ft ³	
Tanah	Saringan (-) No.4	
Energy pemadatan		2698 Kj/m ³

Sumber: Bowles, 1991

Braja M Das (1995) , dalam pemeriksaan tanah sehubungan dengan pemadatan tanah meliputi beberapa pengujian. Antara lain :

1. Kadar air tanah (w)

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan : W_w = Berat air

W_s = Berat butiran tanah

2. Berat isi basah (γ_b)

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan : γ_b = kerapatan tanah (gr/ cm³)

W = Berat tanah (gr)

V = Volume silinder (cm³)

3. Berat volume kering tanah (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)} \dots\dots\dots (7)$$

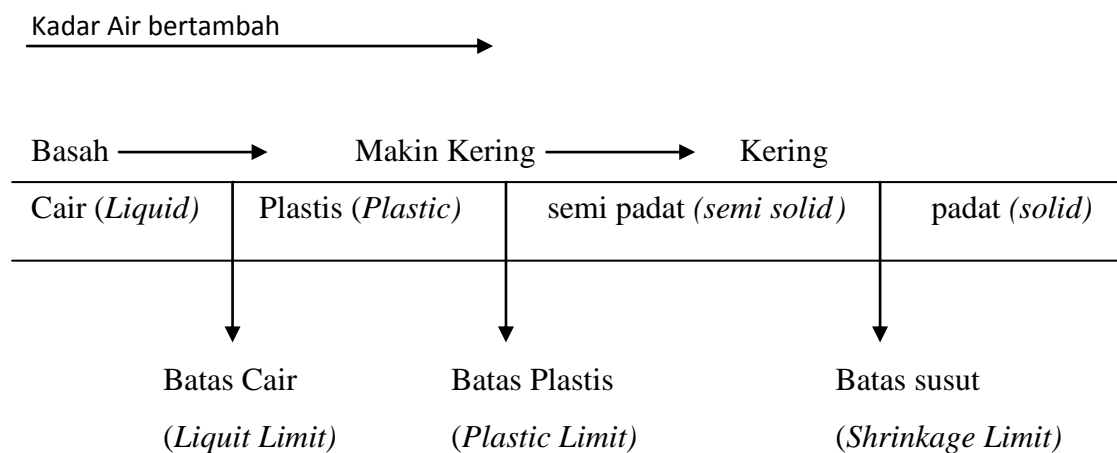
Keterangan : γ_b = kerapatan tanah (gr/ cm³)

w = kadar air tanah

2.3.3 Indeks Plastisitas

Hasil uji indeks plastisitas *sub grade* dapat digunakan untuk evaluasi tanah berpotensi ekspansif atau tidak. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas *Atterberg*. Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg*. (*Atterberg, 1991*)

Keadaan kadar air di tanah berbeda-beda, kebanyakan tanah di alam berada dalam kondisi plastis. Bila kandungan air pada tanah berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang dan bisa mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antar partikel. Sedangkan jika kadar airnya tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Atas dasar air yang dikandung tanah tersebut, tanah dapat dibedakan ke dalam 4 keadaan dasar. Yaitu : padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*). Bisa dilihat pada **Gambar 2.7** berikut:



Gambar 2.7 Batas-batas *Atterberg* (*Wesley, 1997*)

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

a. Batas cair (*Liquit Limit*)

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

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu prosentase kadar air dimana tanah yang dibuat menyerupai

lidi-lidi sampai dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak, putus atau terpisah ketika digulung.

c. Batas susut (*Shrinkage Limit*)

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

d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*)

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

Pada **Tabel 2.9** di bawah, merupakan table penelitian sebelumnya dan penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan nilai CBR *sub grade*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Benda Uji

Sampel tanah yang digunakan untuk benda uji diambil dari lahan bekas tanah rawa, yang akan digunakan untuk lahan akses menuju ruko di area kutisari, dengan koordinat S7 20 01.6 E112 44 28.3. Tanah yang diambil adalah sampel tanah terganggu (*disturbed soil*) oleh lingkungan sekitar. Pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman 100 cm dan dilakukan secara acak, sampel tersebut mewakili tanah dilokasi pengambilan sampel. Pengambilan tanah tersebut didasarkan pada teori yang mempengaruhi pengambilan contoh tanah secara komposit oleh Duncan (1962) dan Brown dan Fisher (1972).

3.2. Penelitian Pendahuluan

Penelitian awal terhadap benda uji telah dilakukan adalah pengujian terhadap CBR (*California Bearing Ratio*) dan kadar air tanah. Penelitian ini diperlukan untuk memastikan nilai CBR aktual terhadap tanah uji, apakah telah sesuai persyaratan untuk jalan dengan lalu lintas sedang. Dalam sumber: Turnbull (1968) dalam Buku Raharjo(1985) disyaratkan bahwa nilai CBR untuk lalu lintas sedang adalah 5% s/d 10%. Dari penelitian ini didapatkan nilai CBR dari uji tanah dasar adalah 0,5 %. Sedangkan kadar air awal didapatkan 54,67%. Untuk pengujian terhadap nilai CBR awal dan kadar air tanah dapat dilihat pada lampiran A.

3.3. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian meliputi persiapan tanah uji, pengujian fisik tanah, serta penentuan varian kapur tohor dan waktu pemeraman, serta jumlah benda uji, metode penyampuran dan pengujian.

3.3.1. Varian Benda Uji

Untuk varian benda uji, meliputi waktu pemeraman dan prosentase kapur tohor dapat dilihat pada **Tabel 3.1.** dibawah ini:

Tabel 3.1 Varian Benda Uji

Kapur Tohor (%)	Waktu Pemeraman (hari)	Benda Uji	Perendaman (hari)
0	0	3	4
10	14	3	4
20	14	3	4
30	14	3	4

Dengan melihat Tabel 3.1 di atas, setiap benda uji mengambil sampel tanah sebanyak 5 kg (sesuai dengan volume isi *mold* ukuran besar), kemudian dicampur dengan kapur tohor dengan prosentase yang sudah ditentukan.

Metode penyampuran tanah dengan kapur tohor, dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Sampel tanah asli ditimbang 5 kg kemudian dicampur dengan kapur tohor yang sudah di ayak lolos ayakan no.8 dengan prosentasi 10%, 20%, dan 30%. Diaduk secara merata hingga campuran kapur tohor mencampur dengan sampel tanah.
2. Sampel yang sudah tercampur merata di masukkan kedalam kantong plastic dan dilabel kemudian diikat, kemudian diperam selama durasi waktu 14 hari.
3. Pada hari ke 14 sampel tanah tanah dimasukkan ke dalam *mold* dan dipadatkan dengan variasi tumbukan 10, 25, dan 56 tiap lapis (3 lapis).
4. Sampel tanah yang sudah dipadatkan kemudian di rendam selama 4 hari (96 jam). Catat pengembangan tanahnya melalui arloji manometer ketika durasi waktu 0, 24, 48, 72, dan 96 jam.
5. Setelah direndam selama 4 hari benda uji bisa dilakukan test CBR menggunakan alat test CBR labolatorium, kemudian bisa dihitung peningkatan nilai CBR nya.

3.4 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilakukan dengan 2 tahap, yaitu pengujian fisik tanah dan pengujian nilai CBR setelah pemeraman. Tahap pertama adalah pengujian fisik tanah uji bertujuan untuk mengetahui jenis klasifikasi tanahnya. Pengujian ini meliputi pengujian nilai kadar air, pengujian berat jenis, dan pengujian batas *Atterberg*. Prosedur pengujian tersebut dapat dilihat pada lampiran A.

Tahap kedua Pengujian nilai CBR setelah pemeraman, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dampak pemeraman tanah dan kapur tohor terhadap peningkatan nilai CBR *sub grade*. Pengujian terhadap tanah uji setelah pemeraman meliputi pengujian *proctor* dan pengujian test CBR menggunakan alat test CBR laboratorium berdasarkan ASTM D-1883.

3.4.1 Standart Proctor (*Standart Proctor*) ASTM D-698

Standart proctor ini adalah suatu percobaan tanah disamping percobaan yang lain yaitu *Modified proctor* test untuk memeriksa kadar air tanah dan sifat yang lain. Adapun hasil percobaan (berupa grafik) umumnya dipakai untuk menentukan syarat-syarat yang harus dipenuhi pada waktu pekerjaan pemadatan tanah di lapangan. Tujuan dilakukannya *Standart proctor* ini adalah:

1. Untuk mengetahui kadar air optimum pada suatu pemadatan dengan gaya tertentu.
2. Untuk mengetahui angka pori dan porositas tanah.
3. Untuk mengetahui berat isi tanah basah di lapangan.
4. Untuk mengetahui berat isi tanah kering di lapangan.

Tahapan pengujian *standart proctor* adalah sebagai berikut :

1. Saring tanah kering menggunakan ayakan No.4 timbang seberat 2,5 kg setiap benda uji.
2. Sampel tanah ditambahkan dengan air (350ml, 450ml, 550ml, 650ml, 750ml).
3. Sampel tanah dicampur dan diaduk secara merata. Kemudian ditaruh dalam plastik dan didiamkan selama 12 jam agar homogen.

4. Sampel tanah yang telah homogen dimasukkan ke dalam *mold* kira-kira 1/3 bagian, lalu ditumbuk 25 kali, kemudian ditambah 1/3 bagian lagi, ditumbuk merata sebanyak 25 kali. Kemudian ditambah 1/3 bagian lagi, sampai *mold* terisi penuh dan ditumbuk 25 kali.
5. Sampel tanah yang berada dalam *mold* diratakan permukaannya sesuai dengan volume *mold* , kemudian ditimbang.
6. Sampel tanah dikeluarkan dari *mold* dengan menggunakan dongkrak, letakkan Sampel tanah pada cawan yang telah disiapkan sebelumnya dan ditimbang, kemudian dioven selama 24 jam.
7. Kemudian cawan dan Sampel tanah yang telah dioven selama 24 jam ditimbang untuk mendapatkan kadar airnya.

3.4.2 Uji Test CBR (*California Bearing Ratio*) Labolatorium ASTM D-1883

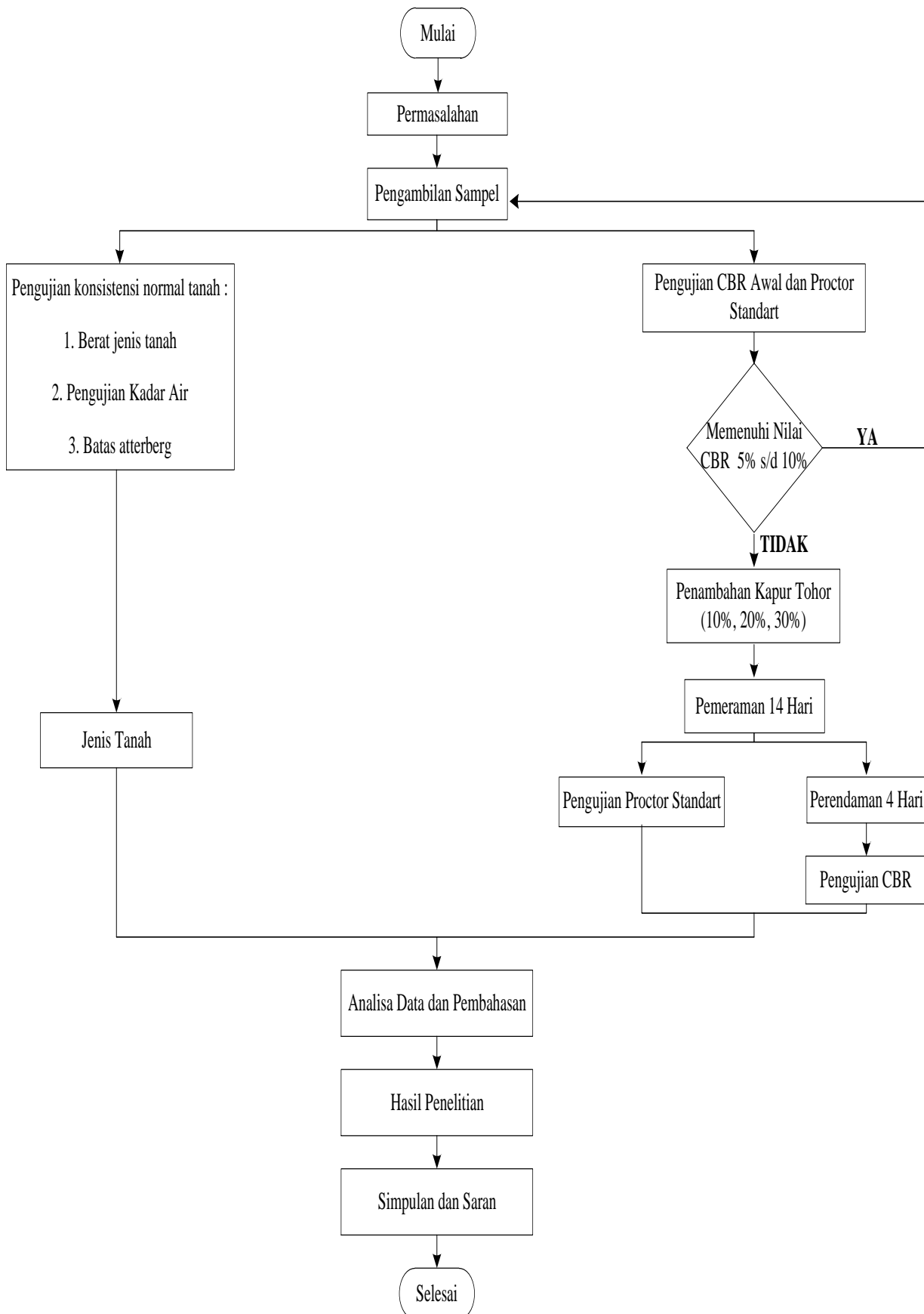
Pengujian ini ditujukan untuk menentukan nilai CBR *sub grade* sebelum dan sesudah dicampur dengan kapur tohor di labolatorium pada kadar air optimum. Adapun langkah kerja pengujian CBR ini, antara lain:

1. Ambil tanah uji yang telah diperam selama 14 hari
2. Timbang *mold* beserta keeping alasnya
3. Pasang kertas saring kemudian masukkan tanah uji ke dalam *mold* kira-kira 1/3 bagian, lalu ditumbuk (10/25/56) kali, kemudian ditambah 1/3 bagian lagi, ditumbuk merata sebanyak (10/25/56) kali. Kemudian ditambah 1/3 bagian lagi, sampai *mold* terisi penuh dan ditumbuk (10/25/56) kali.
4. Sampel tanah yang berada dalam *mold* diratakan permukaannya sesuai dengan volume *mold* .
5. Pasang kertas saring di kedua permukaan tanah dalam *mold* lalu pasang alasnya dengan posisi *mold* sudah dibalik. Kemudian ditimbang.
6. Letakkan *swell plate* diatas kertas saring seberat 10 lbs untuk pembeban pengganti yang dilimpahkan pada tanah.
7. Kemudian pasang tripot dan manometer indicator.
8. Rendam *mold* selama 4 hari (96 jam), dengan posisi permukaan air saat merendam kurang lebih 2,5 cm di atas permukaan benda uji.

9. Lakukan pembacaan pengembangan tanahnya melalui arloji manometer ketika durasi waktu 0, 24, 48, 72, dan 96 jam.
10. Setelah perendaman selama 4 hari, angkat *mold* dari air, buang genangan air yang masih ada di dalam benda uji. Kemudian lepas tripot dan arloji manometer.
11. Dengan kondisi beban masih ada di dalam *mold*, letakkan benda uji di atas piringan penekan pada alat penetrasi CBR.
12. Atur posisi dial beban dan dial penetrasi pada posisi 0, kemudian lakukan penakanan dengan kecepatan 0,05"/menit.
13. Lakukan pembacaan dial beban pada penetrasi 0,0125"; 0,025"; 0,050"; 0,15"; 0,20"; 0,30"; dan 0,50".
14. Dengan menggunakan harga beban yang dikoreksi pada penetrasi beban standar (masing-masing 70,31 kg / cm² (1000 psi) dan 105,47 kg / cm² (1500 psi) dikalikan 100 harga CBR diambil harga penetrasi 2,54 mm (0,1"). Umumnya harga CBR diambil pada penetrasi 0,1". Bila harga yang didapat pada penetrasi 0,2" ternyata lebih besar, maka percobaan tersebut harus diulang. Dan apabila percobaan ulangan ini masih tetap menghasilkan nilai CBR 0,2" > 0,1", maka diambil harga CBR pada penetrasi 0,2". Bila beban maksimum dicapai pada penetrasi sebelum 0,2", maka harga CBR diambil dari beban maksimum dengan beban standar yang sesuai.
15. Keluarkan benda uji dari cetakan dan tekanan kadar air dari lapisan atas benda uji setebal 1".

3.5. Diagram Alur (*Flowchart*)

Pada **Gambar 3.1** di bawah merupakan diagram alur (*Flowchart*) penelitian yang digunakan untuk melaksanakan penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alur (*Flowchart*)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bhayangkara Suarabaya. Pengujian sifat fisik tanah ini meliputi pengujian kadar air tanah, pengujian berat jenis tanah, dan pengujian batas *Atterberg (plastic limit dan liquid limit)* dengan hasil sebagai berikut:

4.1.1. Pengujian Kadar Air Tanah (ASTM D-2216)

Pengujian kadar air tanah dilaksanakan dengan mengambil 6 sampel tanah dan didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.1**. Tabel tersebut merupakan hasil dari 6 sampel tanah uji yang kemudian diambil rata-rata untuk kadar airnya.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

Sample No.	Calculation			
Tanah Asli	WW = 48.00	DW = 34.00	WW = 50.00	DW = 35.00
	DW = 34.00	TW = 9.00	DW = 35.00	TW = 9.00
	Ww = 14.00	Ws = 25.00	Ww = 15.00	Ws = 26.00
	w = 56.00	%	w = 57.69	%
Tanah Asli	WW = 52.00	DW = 39.00	WW = 57.00	DW = 39.00
	DW = 39.00	TW = 9.00	DW = 39.00	TW = 9.00
	Ww = 13.00	Ws = 30.00	Ww = 18.00	Ws = 30.00
	w = 43.33	%	w = 60.00	%
Tanah Asli	WW = 56.00	DW = 40.00	WW = 60.00	DW = 41.00
	DW = 40.00	TW = 9.00	DW = 41.00	TW = 9.00
	Ww = 16.00	Ws = 31.00	Ww = 19.00	Ws = 32.00
	w = 51.61	%	w = 59.38	%
Rata - rata	W= 54.67 %			

Keterangan :

Ww : *Wt of Container+Soil (gr)*

Dw : *Wt of Container+Dry Soil (gr)*

Tw : *Wt of Container (gr)*

Dari **Tabel 4.1** dapat kita simpulkan bahwa sampel tanah yang diambil dilapangan memiliki rata-rata kadar air sebesar 54,67%.

4.1.2. Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D-654)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan dengan mengambil 3 sampel tanah kering yang lolos saringan No. 40. Pada pengujian ini menggunakan 3 pignometer dengan kapasitas 500ml dan didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Nomor Contoh		1	2	3
Nomor Botol		-	-	-
Berat Botol + Tanah (W_2)	gr	191.00	200.00	192.00
Berat Botol (W_1)	gr	169.00	169.00	169.00
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	22.00	31.00	23.00
Suhu (T)	°C	30	30	30
Berat Botol + Air pada T (W_4)	gr	694.00	695.00	690.00
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	716.00	726.00	713.00
Berat Botol + Air + Tanah (W_3)	gr	699.00	699.00	695.00
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm ³	17.00	27.00	18.00
Berat Jenis Tanah	gr/cm ³	1.294	1.148	1.278
Rata-rata	gr/cm ³	1.240		

Dari tabel hasil pengujian di atas, dapat kita ambil kesimpulan bahwa rata-rata berat jenis tanah uji tersebut adalah 1,240 gr/cm³. Jika dilihat pada tabel klasifikasi tanah berdasarkan berat jenisnya tanah tersebut termasuk tanah gambut karena memiliki berat jenis $1,240 < 2,00$ gr/cm³.

4.1.3. Pengujian *Plastic Limit* (ASTM D-4318)

Pengujian ini ditujukan untuk menentukan kadar air minimum dari suatu tanah uji dimana suatu tanah pada keadaan batas plastis. Pada keadaan plastis, tanah masih dapat digulung sampai diameter ± 3 mm atau 1/8 inchi. Pada pengujian ini diambil 3 sampel tanah untuk

dilakukan plintiran yang kemudian akan diketahui kadar air dalam plintiran itu ketika mencapai diameter ± 3 mm. seperti yang terlihat pada **Tabel 4.3** dibawah. tabel tersebut adalah tabel hasil pengujian *plastic limit* yang telah dilakukan.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Plastic Limit*

1					
WW	=	16.00	DW	=	13.00
DW	=	13.00	TW	=	8.00
W _w	=	3.00	W _s	=	5.00
		w =			60.00 %
2					
WW	=	19.00	DW	=	16.00
DW	=	16.00	TW	=	11.00
W _w	=	3.00	W _s	=	5.00
		w =			60.00 %
3					
WW	=	19.00	DW	=	16.00
DW	=	16.00	TW	=	11.00
W _w	=	3.00	W _s	=	5.00
		w =			60.00 %

Keterangan :

W_w : Wt of Container+Soil (gr)

D_w : Wt of Container+Dry Soil (gr)

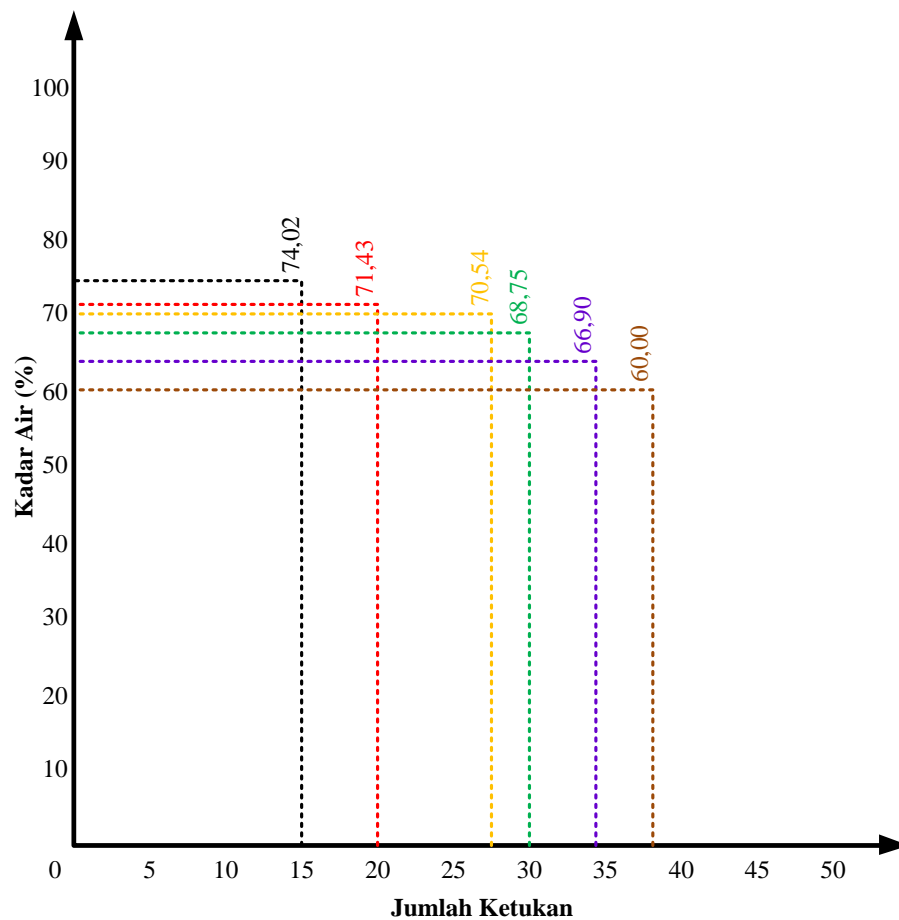
T_w : Wt of Container (gr)

Dari **Tabel 4.3** di atas dapat disimpulkan bahwa 3 sampel yang diambil dan telah memenuhi diameter plintiran ± 3 mm. sampel tersebut memiliki kadar air rata-rata adalah 60%.

4.1.4. Pengujian *Liquid Limit* (ASTM D-4318)

Pengujian *Liquid Limit* dilakukan untuk menentukan kadar air tanah pada keadaan batas cair. Batas cair adalah kadar air minimum dimana tanah masih dapat mengalir di bawah beratnya atau kadar air

tanah pada batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis. Batas cair ditentukan dari pengujian *Cassagrande*. kadar air dari batas cair ini didefinisikan pada waktu tanah menutup celah sepanjang 1,25 cm pada dasar cawan setelah 25x ketukan. Karena sulitnya mengatur kadar air (waktu celah menutup) pada waktu 25 pukulan, maka percobaan dilakukan beberapa kali dengan ketukan berkisar antara 15 hingga 35x ketukan. Dari pengambilan 6 sampel menggunakan *Cassagrande*, maka didapatkan grafik **Gambar 4.1** yaitu hasil pengujian dan perbandingan antara kadar air sampel dan jumlah ketukan pada *Cassagrande*.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Jumlah Ketukan dengan Kadar Air

Pada **Tabel. 4.4** dibawah adalah hasil pengujian *Liquid Limit* dengan variasi penambahan kadar air 350ml, 450ml, 550ml, 650ml, dan 750ml berbanding dengan jumlah ketukan pada *Cassagrande*.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Liquid Limit*

1			2			
NO. OF BLOWS		15	NO. OF BLOWS		20	
No.			No.			
WW =	14.66	DW =	13.72	WW =	19.00	
DW =	13.72	TW =	12.45	DW =	14.00	
W _w =	0.94	W _s =	1.27	W _w =	5.00	
w =		74.02	%	w =		71.43

3			4			
NO. OF BLOWS		27	NO. OF BLOWS		30	
No.			No.			
WW =	14.54	DW =	13.63	WW =	14.74	
DW =	13.63	TW =	12.34	DW =	13.75	
W _w =	0.91	W _s =	1.29	W _w =	0.99	
w =		70.54	%	w =		68.75

5			6			
NO. OF BLOWS		34	NO. OF BLOWS		37	
No.			No.			
WW =	14.39	DW =	13.44	WW =	19.00	
DW =	13.44	TW =	12.02	DW =	16.00	
W _w =	0.95	W _s =	1.42	W _w =	3.00	
w =		66.90	%	w =		60.00

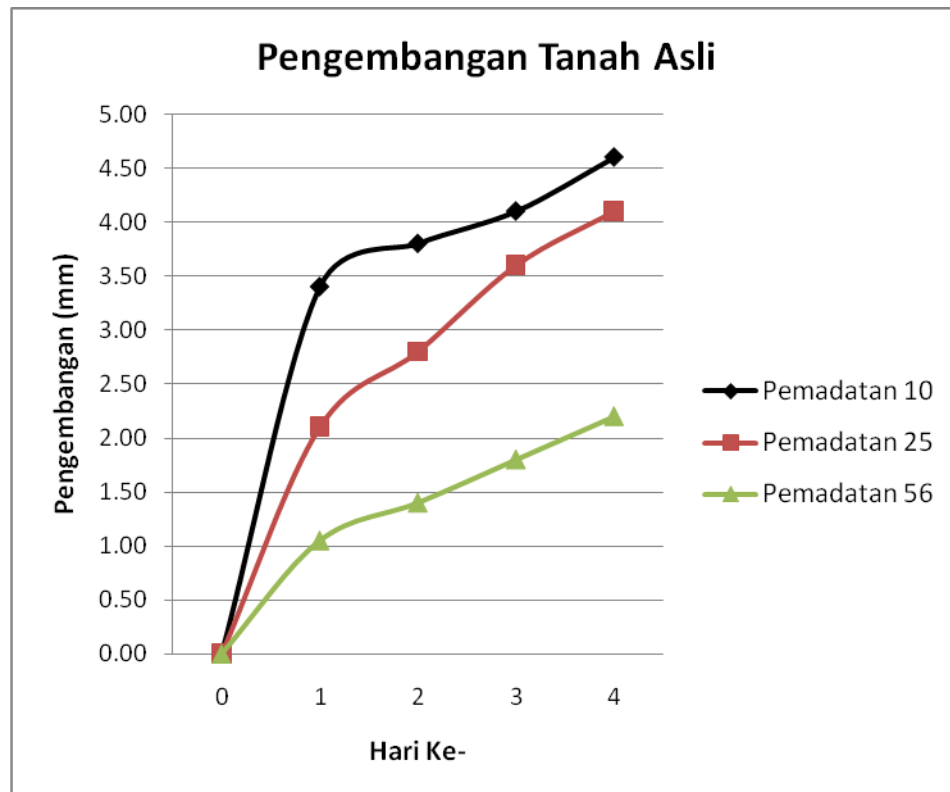
Sesuai dengan hasil pengujian *Liquid Limit* yang terdapat pada **Gambar 4.1** dan **Tabel 4.4** dengan 6 kali pengujian tanah menggunakan *Cassagrande* telah didapatkan kadar air rata-rata adalah 68,61%.

4.2. Pengujian CBR Tanah Asli

Pengujian CBR awal tanah uji ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai CBR *sub grade* sebelum ditambahkan dengan kapur tohor. Pada pengujian ini diambil 3 benda uji dengan nomor sampel 0.1 untuk 10 tumbukan, 0.2 untuk 25 tumbukan, dan 0.3 untuk 56 tumbukan serta menggunakan 5 benda uji untuk *standart proctor* dengan kadar air yang berbeda-beda. Pada tanah uji ini memiliki kadar air rata-rata sebanyak 52,34%.

4.2.1. Perendaman

Perendaman benda uji dilakukan selama 4 hari dengan pencatatan waktu pengembangan 0 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam yang kemudian didapatkan grafik seperti pada **Gambar 4.2** dibawah. Pada **Gambar 4.2** menggambarkan hasil dari pengembangan tanah selama masa perendaman 4 hari.



Gambar 4.2 Grafik Perendaman Tanah Asli

Dari **Gambar 4.2** dapat disimpulkan bahwa semakin banyak tumbukan pada tanah uji maka akan meminimalisir pengembangan pada tanah. Karena dari grafik tersebut pengembangan tanah terbesar terjadi pada pemadatan 10 tumbukan dengan pengembangan sebesar 4,60 mm diikuti pada pemadatan 25 tumbukan sebesar 4,10 mm dan pada pemadatan ke 56 tumbukan sebesar 2,20 mm.

4.2.2. Pengujian CBR Labolatorium ASTM D-1883

Pengujian CBR awal ini ditujukan untuk mengetahui berapa CBR awal yang didapat pada tanah yang diuji. Disyaratkan untuk lalu lintas

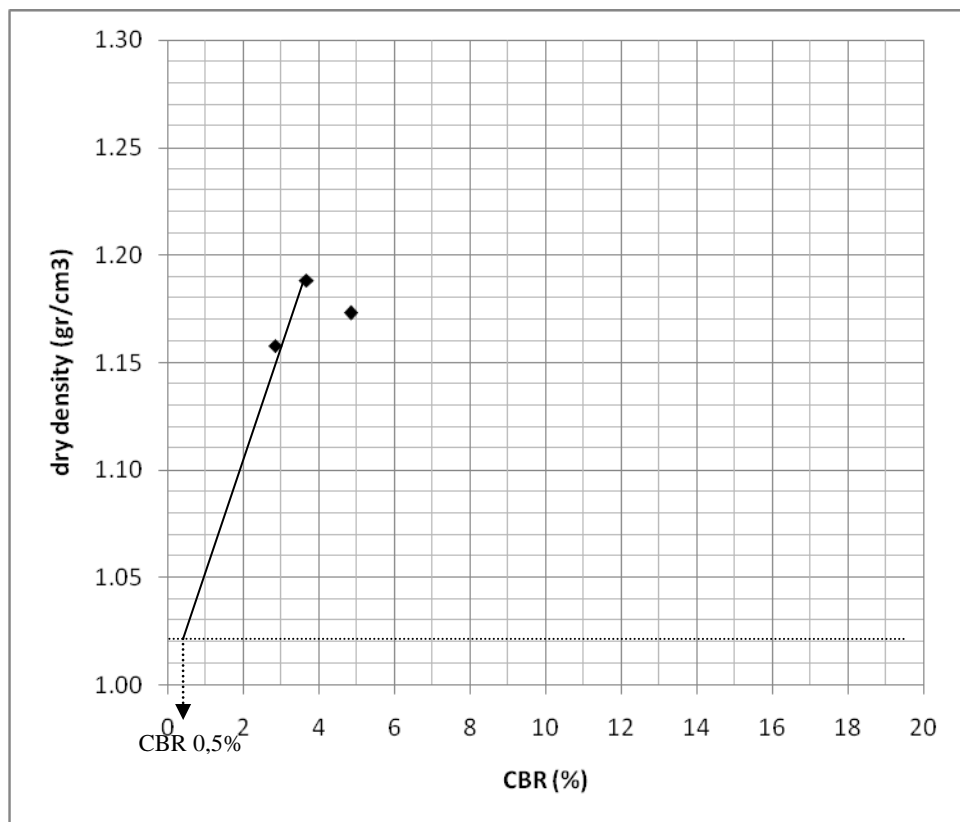
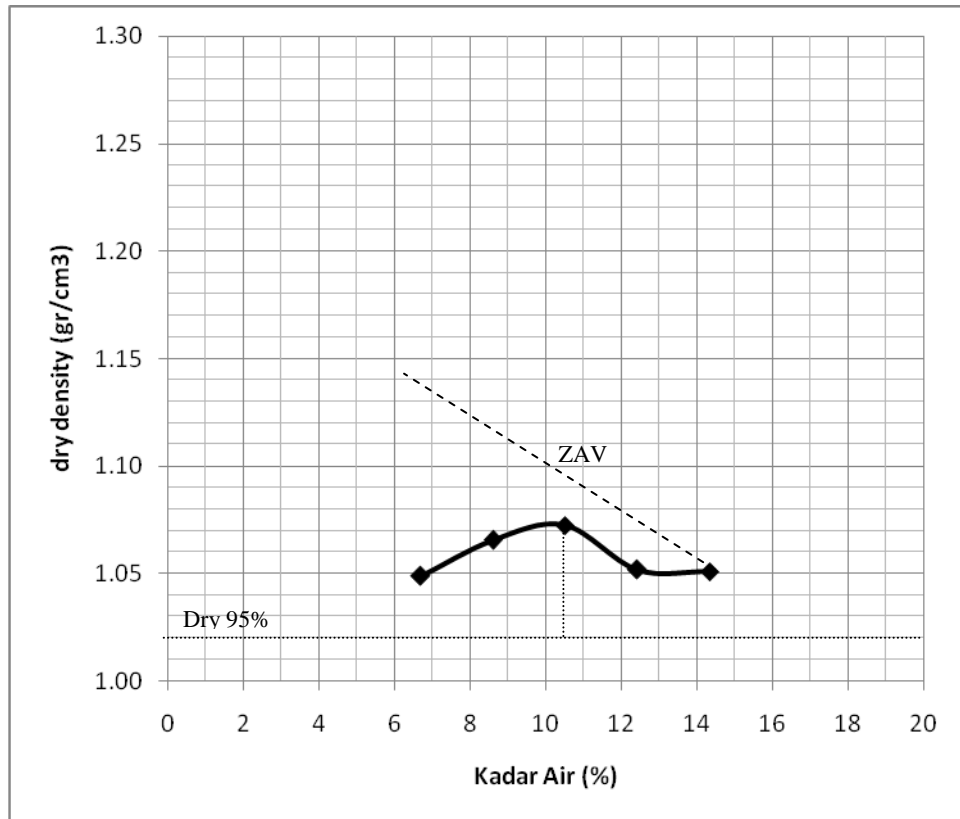
sedang nilai CBR berkisar antara 5% s/d 10%. Hasil dari pengujian CBR awal ini bisa dilihat pada tabel dibawah. **Tabel 4.5** adalah tabel hasil pengujian *standart proctor* pada 5 benda uji dengan kadar air 350, 450, 550, 650, 750 ml.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Standart Proctor*

Air (ml)	350	450	550	650	750
Berat Mold (gr)	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000
Berat Mold + Tanah (gr)	5206.000	5230.000	5240.000	5210.000	5209.000
Berat Tanah Basah (gr)	1514.000	1538.000	1548.000	1518.000	1517.000
Berat Tanah Kering (gr)	1263.000	1283.000	1244.000	1101.000	1175.000
Berat Isi Basah (gr/cm ³)	1.598	1.623	1.634	1.602	1.601
Berat Isi Kering (gr/cm ³)	1.049	1.066	1.073	1.052	1.051

Dari **Tabel 4.5** dapat disimpulkan bahwa kadai air optimum dari tanah uji tersebut adalah pada kadar air 550ml. karena pada kadar air tersebut didapatkan berat isi kering maksimum dari pengujian, yaitu 1.073 gr/cm³.

Pada **Gambar 4.3** dibawah adalah grafik pengambilan CBR design dari hasil uji CBR dan uji *standart proctor* yang telah dilakukan.



Gambar 4.3 Grafik CBR Design Tanah Asli

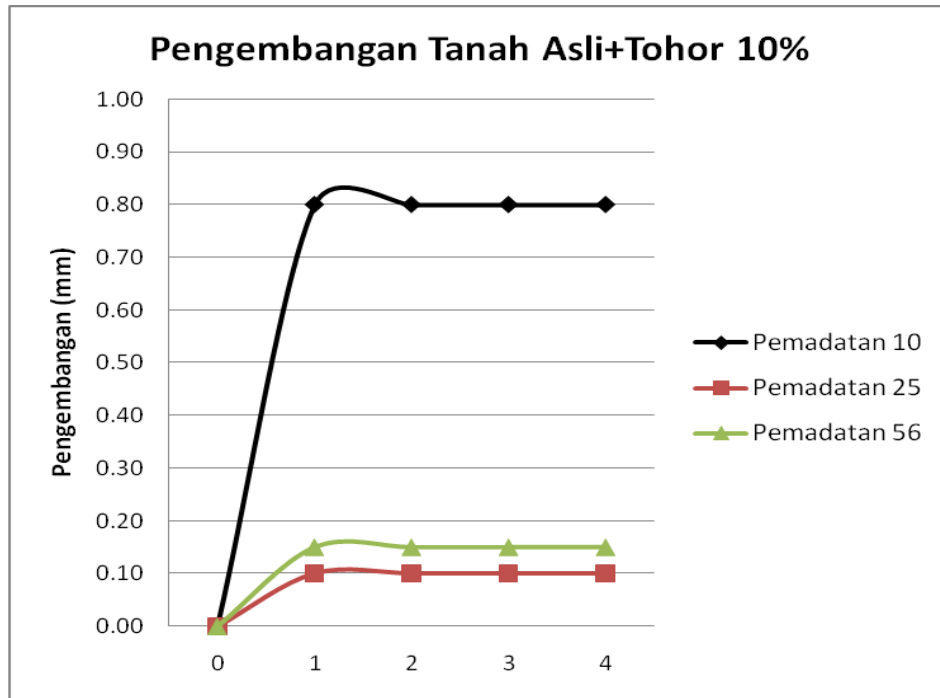
Dari **Gambar 4.3** bisa ditarik garis lurus dan didapatkan CBR design sebesar 0,5% untuk tanah uji yang diambil di lapangan.

4.3. Penambahan Kapur Tohor Pada Tanah Asli

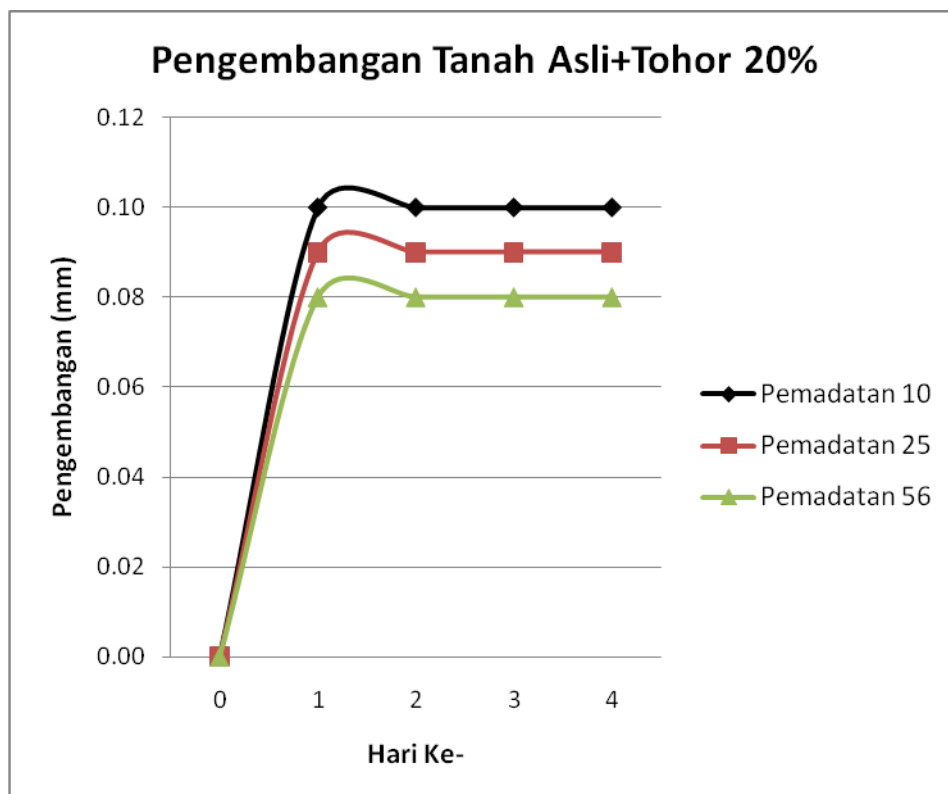
Setelah kita dapatkan hasil CBR awal pada pengujian awal tanah uji, pada penelitian selanjutnya tanah uji telah ditambah dengan kapur tohor yang lolos saringan no. 8 sebanyak 10%, 20%, dan 30%. Serta telah dilakukan pemeraman selama 14 hari (sesuai instrument penelitian). Pada campuran tohor 10% kadar airnya 39,91%, dengan nomor sampel 10.1 (10 tumbukan), 10.2 (25 tumbukan), dan 10.3 (56 tumbukan). Pada campuran tohor 20% kadar airnya 38,25%, dengan nomor sampel 20.1 (10 tumbukan), 20.2 (25 tumbukan), dan 20.3 (56 tumbukan). Pada campuran tohor 30% kadar airnya sebanyak 31,80%, dengan nomor sampel 30.1 (10 tumbukan), 30.2 (25 tumbukan), dan 0.3 (56 tumbukan). Masing-masing campuran tohor diambil 5 benda uji untuk *standart proctor* dengan kadar air yang berbeda-beda. Dari pengujian kadar air dapat disimpulkan bahwa nilai CBR cenderung memiliki kadar air yang menurun karena telah dicampur dengan kapur tohor yang memiliki sifat pengikat air

4.3.1. Perendaman

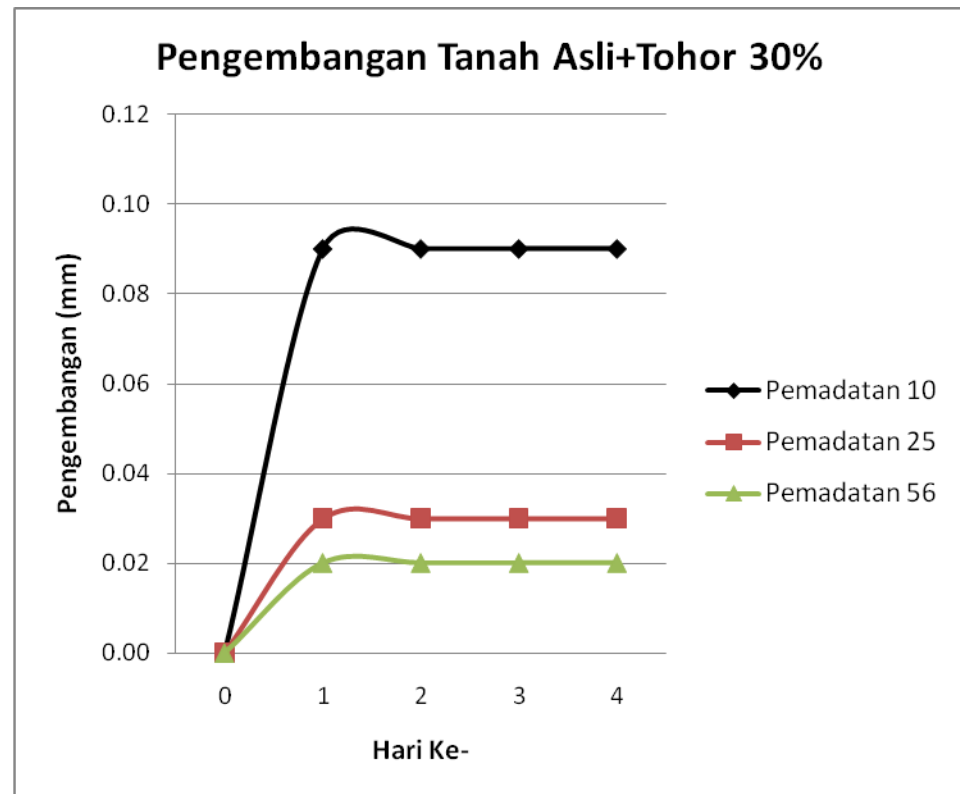
Perendaman benda uji dilakukan selama 4 hari dengan pencatatan waktu pengembangan 0 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam yang kemudian didapatkan grafik pengembangannya seperti pada gambar di bawah. **Gambar 4.4** menggambarkan hasil dari pengembangan tanah dengan kapur tohor 10%, **Gambar 4.5** menggambarkan hasil dari pengembangan tanah dengan kapur tohor 20%, dan **Gambar 4.6** menggambarkan hasil dari pengembangan tanah dengan kapur tohor 30%.



Gambar 4.4 Grafik Perendaman Tanah Asli+Tohor 10%



Gambar 4.5 Grafik Perendaman Tanah Asli+Tohor 20%



Gambar 4.6 Grafik Perendaman Tanah Asli+Tohor 30%

Dari ketiga grafik di atas dapat disimpulkan bahwa tanah pada campuran tohor 30% dengan pemadatan 56x tumbukan pemadatannya lebih optimum, karena selama 4 hari perendaman hanya mengalami pengembangan 0,02 mm. Sedangkan tanah dengan campuran tohor 10% dengan 10x tumbukan masih sangat tinggi angka pengembangannya. Selama 4 hari tercatat mengalami pengembangan maksimum 0,80 mm.

4.3.2. Pengujian CBR Labolatorium ASTM D-1883

Pengujian CBR pada tahap ini ditujukan untuk mengetahui berapa CBR yang didapat pada tanah yang diuji setelah dicampur dengan tohor 10%, 20%, dan 30%. Hasil dari pengujian CBR awal ini bisa dilihat pada tabel dibawah. **Tabel 4.6** adalah tabel hasil pengujian *standart proctor* pada campuran tohor 10%, **Tabel 4.7** adalah tabel hasil pengujian *standart proctor* pada campuran tohor 20%, dan **Tabel 4.8** adalah tabel hasil pengujian *standart proctor* pada campuran tohor 30%.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *Standart Proctor* Campuran Tohor 10%

Air (ml)	350	450	550	650	750
Berat Mold (gr)	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000
Berat Mold + Tanah (gr)	5082.000	5099.000	5155.000	5142.000	5057.000
Berat Tanah Basah (gr)	1390.000	1407.000	1463.000	1450.000	1365.000
Berat Tanah Kering (gr)	1209.000	1156.000	1256.000	1243.000	977.000
Berat Isi Basah (gr/cm ³)	1.467	1.485	1.544	1.531	1.441
Berat Isi Kering (gr/cm ³)	1.049	1.062	1.104	1.094	1.030

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Standart Proctor* Campuran Tohor 20%

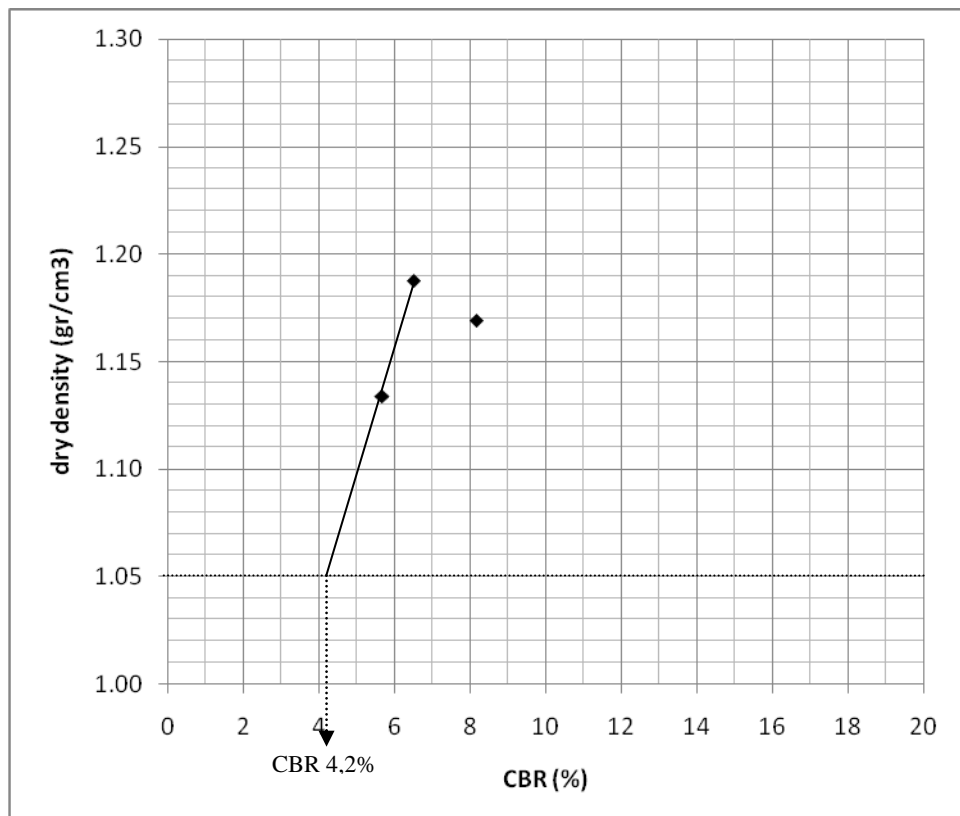
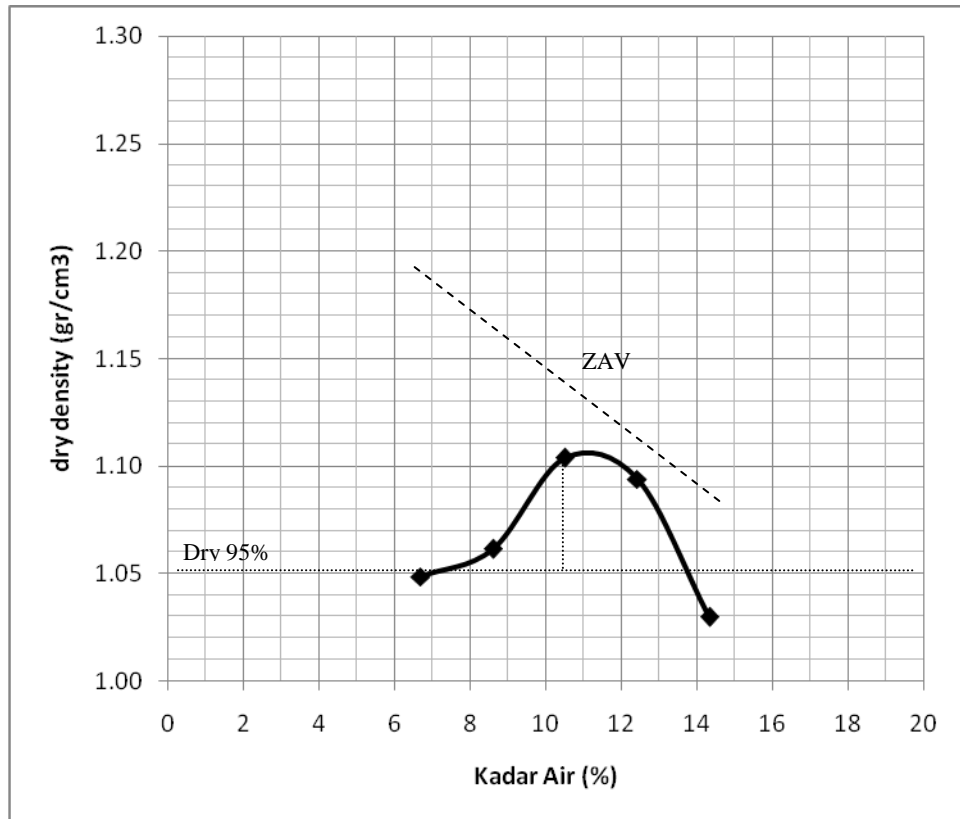
Air (ml)	350	450	550	650	750
Berat Mold (gr)	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000
Berat Mold + Tanah (gr)	5205.000	5211.000	5229.000	5208.000	5152.000
Berat Tanah Basah (gr)	1513.000	1519.000	1537.000	1516.000	1460.000
Berat Tanah Kering (gr)	1226.000	1358.000	1335.000	1365.000	1272.000
Berat Isi Basah (gr/cm ³)	1.597	1.603	1.622	1.600	1.541
Berat Isi Kering (gr/cm ³)	1.155	1.160	1.174	1.157	1.115

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Standart Proctor* Campuran Tohor 30%

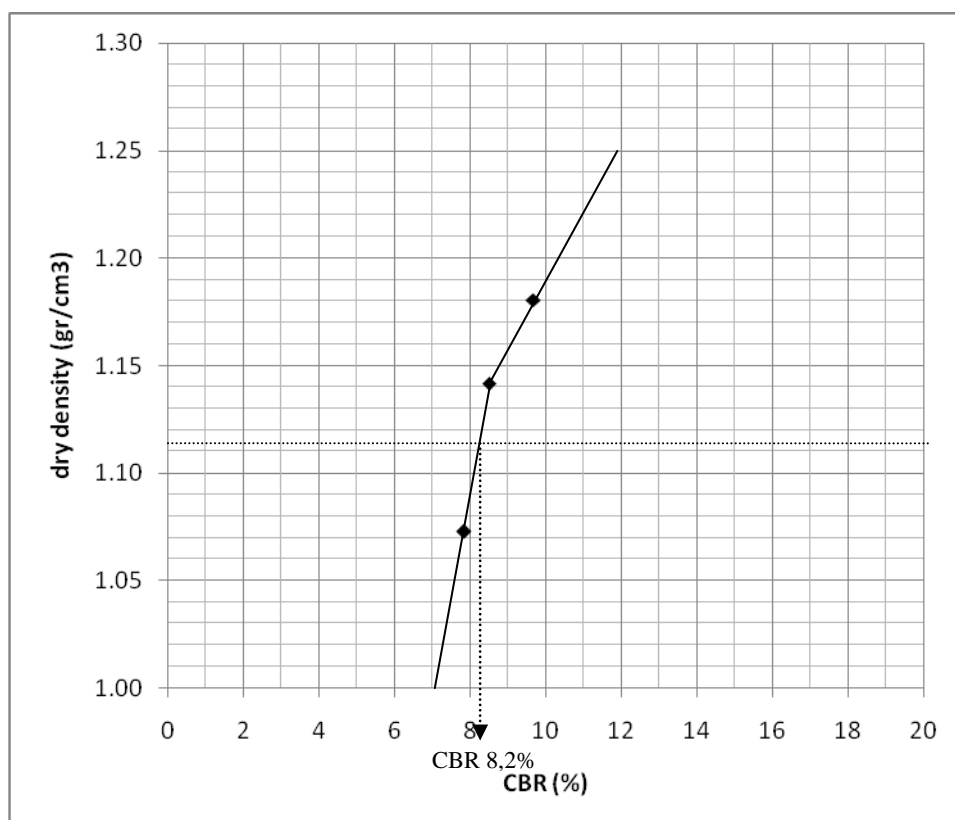
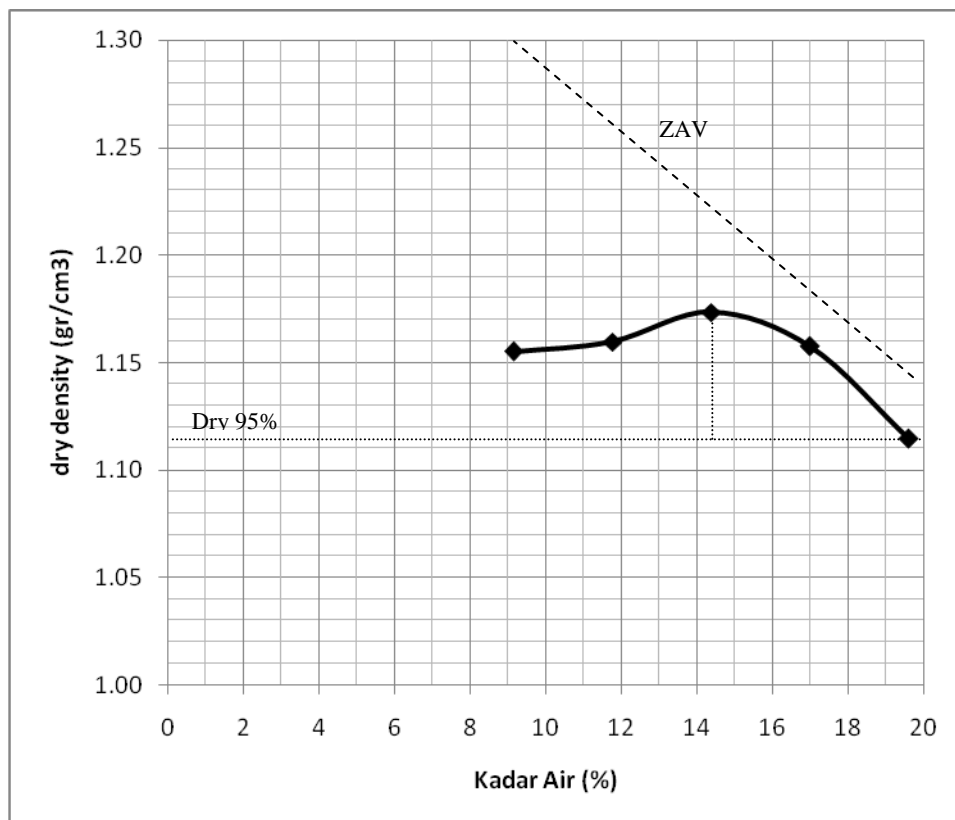
Air (ml)	350	450	550	650	750
Berat Mold (gr)	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000	3692.000
Berat Mold + Tanah (gr)	5198.000	5200.000	5250.000	5244.000	5204.000
Berat Tanah Basah (gr)	1506.000	1508.000	1558.000	1552.000	1512.000
Berat Tanah Kering (gr)	1166.000	1115.000	1100.000	1172.000	1102.000
Berat Isi Basah (gr/cm ³)	1.590	1.592	1.645	1.638	1.596
Berat Isi Kering (gr/cm ³)	1.206	1.208	1.248	1.243	1.211

Dari **Tabel 4.6**, **Tabel 4.7**, dan **Tabel 4.8** dapat disimpulkan bahwa kadar air optimum dari tanah uji tersebut adalah pada kadar air 550ml. karena pada kadar air tersebut didapat berat isi kering maksimum dari setiap pengujian maupun penambahan kapur tohor. Pada pencampuran kapur tohor 10% didapatkan berat isi kering optimum adalah 1,104 gr/cm³, pada pencampuran kapur tohor 20% didapatkan berat isi kering optimum adalah 1,174 gr/cm³, dan pada pencampuran kapur tohor 30% didapatkan berat isi kering optimum adalah 1,248 gr/cm³. Ketiga variasi kapur tohor tersebut berat isi kering terdapat pada penambahan kadar air optimum 550ml.

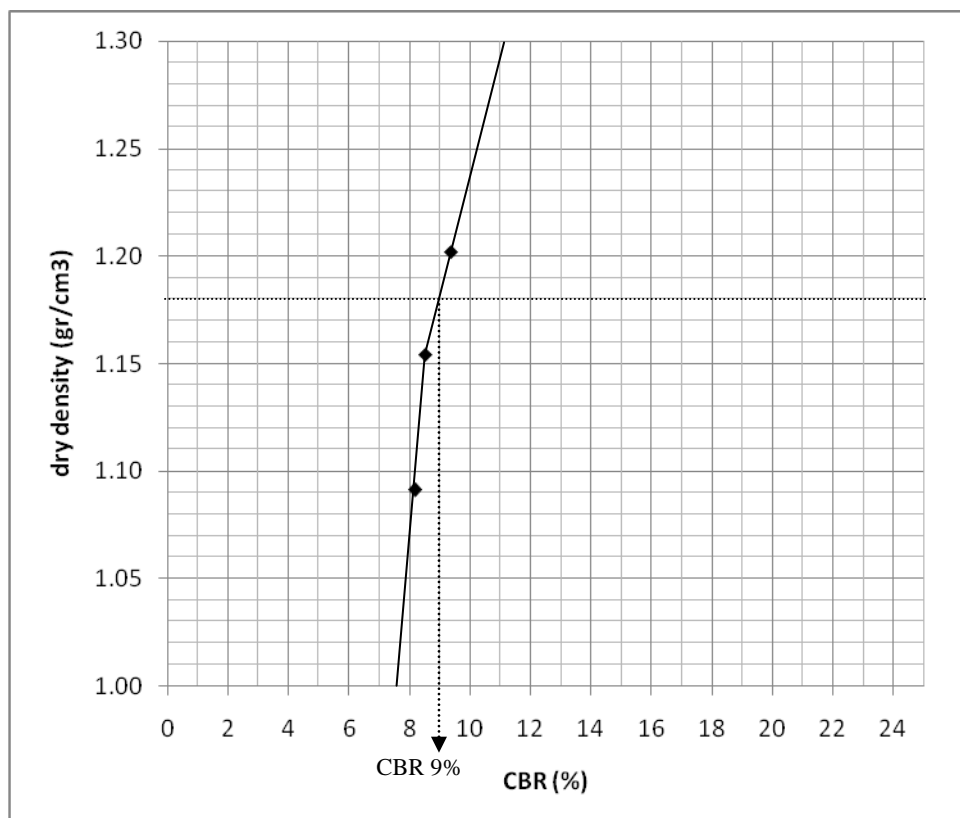
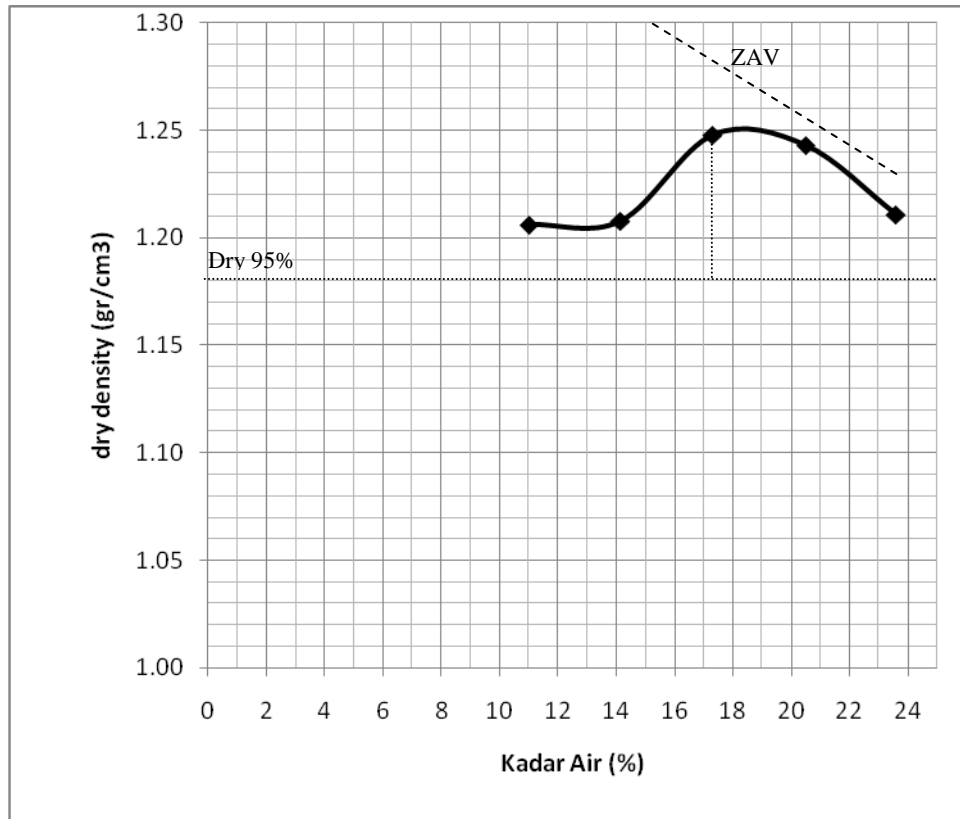
Pada gambar di bawah ini bisa dilihat hasil dari pengambilan CBR design antara hasil uji CBR laboratorium dengan uji *standart proctor*. **Gambar 4.7** merupakan CBR design untuk penambahan kapur tohor 10%, **Gambar 4.8** merupakan CBR design untuk penambahan kapur tohor 20%, dan **Gambar 4.9** merupakan CBR design untuk penambahan kapur tohor 30%.



Gambar 4.7 Grafik CBR Design Tanah Asli+Tohor 10%



Gambar 4.8 Grafik CBR Design Tanah Asli+Tohor 20%

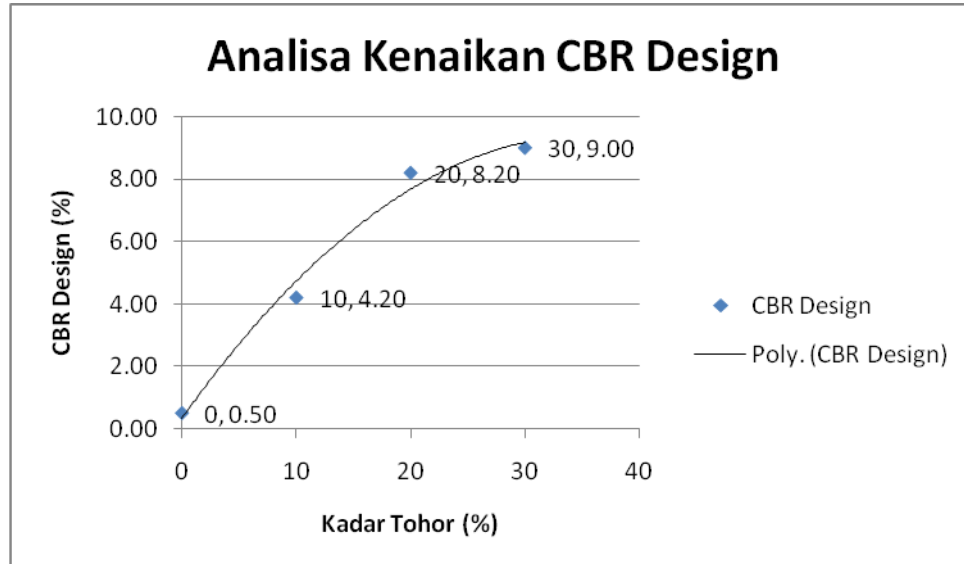


Gambar 4.9 Grafik CBR Design Tanah Asli+Tohor 30%

Dari **Gambar 4.7**, **Gambar 4.8**, dan **Gambar 4.9** dapat disimpulkan bahwa nilai CBR design selalu meningkat seiring dengan penambahan prosentase kapur tohor. Bisa dilihat pada tanah asli sebelum ditambahkan dengan kapur tohor CBR design nya hanya 0,5% kemudian ditambah kapur tohor 10% CBR design nya menjadi 4,2% dan ditambahkan kapur tohor 20% CBR design nya menjadi 8,2%. Kemudian CBR design optimum didapatkan pada penambahan kapur tohor pada 30% karena didapatkan nilai CBR design sebesar 9%. Penambahan kapur tohor 20% dan 30% sudah memenuhi syarat untuk nilai CBR lalu lintas sedang yang disyaratkan nilai CBR nya 5 – 10%. Namun pada penambahan kapur tohor 10% belum memenuhi syarat karena hanya mencapai CBR design 4,2%.

4.4. Analisa Penambahan Kapur Tohor Terhadap Nilai CBR

Pengaruh penambahan kapur tohor terhadap kenaikan nilai CBR *Sub Grade* bisa dianalisa dan dibaca melalui **Gambar 4.10** di bawah



Gambar 4.10 Grafik Analisa Kenaikan CBR Design

Dari **Gambar 4.10** bisa kita lihat bahwa penambahan nilai CBR selalu meningkat seiring dengan penambahan prosentase kapur tohor. Pada penambahan kapur tohor 20% sudah memenuhi untuk beban lalu lintas sedang,

namun pada penambahan kapur tohor 30% didapatkan hasil yang lebih maksimal untuk beban lalu lintas sedang, yaitu nilai CBR 9,0%.

Hasil dari pengujian CBR sampel tanah asli dan tanah + kapur tohor bisa dilihat pada **Tabel 4.9**. pada tabel tersebut dijelaskan analisa hasil kenaikan nilai CBR dari tanah asli hingga tanah yang sudah dicampur dengan kapur tohor 10%, 20%, dan 30%.

Tabel 4.9. Hasil Analisa kenaikan nilai CBR Design

Nomor Sampel	Tumbukan (X)	Kadar Air (%)	CBR Rata-rata (%)	Pengembangan (mm)	CBR Design (%)	Kenaikan CBR Design (%)
Tanah Asli						
0,1	10	52,34	2,85	4,60	0,50	0,00
0,2	25		3,68	4,10		
0,3	56		4,85	2,20		
Tanah Asli + Tohor 10%						
10,1	10	39,91	5,68	0,80	4,20	3,70
10,2	25		6,51	0,10		
10,3	56		8,17	0,15		
Tanah Asli + Tohor 20%						
20,1	10	38,25	7,85	0,10	8,20	4,00
20,2	25		8,51	0,09		
20,3	56		9,67	0,08		
Tanah Asli + Tohor 30%						
30,1	10	31,80	8,18	0,09	9,00	0,80
30,2	25		8,52	0,03		
30,3	56		9,35	0,02		

BAB V

SIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini bisa disimpulkan beberapa point sebagai berikut:

1. Tanah uji tersebut termasuk jenis tanah gambut, karena memiliki berat jenis rata-rata (G_s) 1,240 gr/cm³. Kadar air rata-rata 54,67% dengan nilai *Liquid Limid* 68,61%, nilai *Plastic Limit* 60,00% dan nilai *Plastic Index* sebesar 8,61. Tanah uji tersebut memiliki nilai CBR awal sebesar CBR 0,5%.
2. Nilai CBR maksimal untuk beban lalu lintas sedang didapatkan dengan menambahkan kapur tohor sebanyak 30% dengan nilai CBR 9%. Sedangkan dengan penambahan kapur tohor 10% hanya didapatkan nilai CBR 4,2% dan dengan ditambahkan kapur tohor 20% mendapatkan hasil CBR 8,2%.

5.2. Saran

Penelitian ini bisa dikembangkan dengan beberapa variasi pengembangan sebagai berikut:

- a. Pengujian sifat fisik tanah sebelum dan sesudah penambahan kapur tohor.
- b. Kapur tohor bisa menggunakan kapur kering/serbuk, bisa menggunakan air/larutan, bisa juga menggunakan kapur pasta.
- c. Penggunaan kapur bisa divariasikan menggunakan jenis kapur lain, seperti batu gamping atau kapur aktif.
- d. Pengujian bisa dikembangkan menggunakan jenis tanah lain selain tanah gambut dan tanah lempung ekspansif.
- e. Waktu pemeraman yang awalnya 14 hari bisa divariasikan menjadi 28 hari atau lebih untuk mendapatkan hasil pengikatan kadar air yang lebih optimal.
- f. Penelitian dilakukan dengan disyaratkan untuk tanah dengan kapasitas lalu lintas berat atau dengan kapasitas lalu lintas
- g. Penelitian dikembangkan dengan mencari nilai CBR lapangan dan mencari seberapa berpengaruh kapur terhadap permukaan tanah.



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

Order : Tugas Akhir
Pekerjaan : Pengujian Kadar Air Tanah (ASTM D-2216)
Lokasi : Labolatorium Teknik Sipil Ubhara

Pengujian Kadar Air Tanah (ASTM D-2216)

Langkah-langkah pengujian kadar air tanah adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan oven, cawan, neraca, dan tanah uji.
- b. Timbang berat cawan kosong dan catat nomor dari cawan tersebut, buat 6 sampel cawan (TW gr).
- c. Letakan sampel tanah asli yang masih basah ke dalam cawan kemudian timbang berat cawan + tanah (WW gr).
- d. Masukkan cawan beserta sampel tanah ke dalam oven, kemudian oven selama 24 jam dengan suhu 110° C.
- e. Setelah 24 jam, keluarkan dari dalam oven kemudian timbang berat tanah kering dan cawan (DW gram).

Rumus untuk menghitung kadar air :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Keterangan :

W (*Water Content*) = Kadar Air (%)

TW (*Wt of container*) = Berat cawan kosong (gr)

WW (*Wt of container + wet soil*) = Berat cawan + tanah asli (gr)

DW (*Wt of container + dry soil*) = Berat cawan + tanah kering oven (gr)

Ws (*Dry soil weight*) = Berat Tanah Kering (gr)

Ww (*Water weight*) = Berat Air (gr)

Pengujian ini menggunakan 6 sampel, untuk pengisian hasil dari pengujian kadar air tanah bisa dimasukkan pada **Tabel** pengujian berikut:



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
 Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

PEMERIKSAAN KADAR AIR

Sample No.	Calculasi			
Tanah Asli	WW = 48.00	DW = 34.00	WW = 50.00	DW = 35.00
	DW = 34.00	TW = 9.00	DW = 35.00	TW = 9.00
	Ww = 14.00	Ws = 25.00	Ww = 15.00	Ws = 26.00
	W = 56.00	%	W = 57.69	%
Tanah Asli	WW = 52.00	DW = 39.00	WW = 57.00	DW = 39.00
	DW = 39.00	TW = 9.00	DW = 39.00	TW = 9.00
	Ww = 13.00	Ws = 30.00	Ww = 18.00	Ws = 30.00
	w = 43.33	%	w = 60.00	%
Tanah Asli	WW = 56.00	DW = 40.00	WW = 60.00	DW = 41.00
	DW = 40.00	TW = 9.00	DW = 41.00	TW = 9.00
	Ww = 16.00	Ws = 31.00	Ww = 19.00	Ws = 32.00
	W = 51.61	%	W = 59.38	%
Rata-rata	W= 54.67 %			

Diperiksa Oleh
Kepala Labolatorium

Disusun Oleh
Mahasiswa

Anik Budiati, S.T., M.T.
NIDN : 0729087101

Bagus Setiawan
NIM : 1614221012



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

Order : Tugas Akhir
Pekerjaan : Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D-654)
Lokasi : Labolatorium Teknik Sipil Ubhara

Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D-654)

Langkah-langkah pengujian berat jenis air tanah adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan pignometer, thermometer, ayakan No. 40, neraca, tanah kering, dan pemanas.
- b. Bersihkan 3 pignometer dengan kapasitas 500ml kemudian timbang 3 buah piknometer tersebut (W1 gr).
- c. Picnometer diisi aquades sampai batas leher piknometer lalu ditimbang dengan neraca berat piknometer + aquades tersebut (W4 gram).
- d. Tuang air yang di dalam pignometer ke dalam gelas ukur.
- e. Masukkan tanah kering ke dalam pignometer lalu timbang menggunakan neraca (W2 gr).
- f. Masukkan air yang ada di gelas ukur ke dalam pignometer, lalu diketuk-ketuk hingga gelembung yang ada di dalam pignometer hilang (W3 gr).
- g. Panaskan pignometer yang sudah berisi air dan tanah hingga air mendidih untuk menghilangkan sisa-sisa gelembung yang ada di dalam tanah.
- h. Diamkan pignometer hingga suhu air sama dengan suhu ruangan kemudian timbang lagi setelah suhu air sama dengan suhu ruangan

Rumus untuk menghitung pengujian berat jenis tanah :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) + (W_4 - W_3)}$$

Keterangan :

G_s = Berat jenis tanah

W₁ = Berat Pignometer (gr)

W₂ = Berat pignometer + tanah kering (gr)



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

W3 = Berat pignometer + tanah kering + aquades (gr)

W4 = Berat pignometer + aquades (gr)

Tabel Klasifikasi tanah berdasarkan berat jenis

Tipe Tanah	Berat Jenis (Gs)
Sand (pasir)	2,65 – 2,67
Silty sand (pasir berlanau)	2,67 – 2,70
Inorganic clay (lempung inorganic)	2,70 – 2,80
Soil with mica or iron	2,75 – 3,00
Gambut	< 2,00
Humus soil	1,37
Grafel	>2,70

Sumber: L.D Wesley, Mektan, Cetakan IV Halaman 5

Pengujian ini menggunakan 3 sampel, untuk pengisian hasil dari pengujian berat jenis tanah bisa dimasukkan pada **Tabel** pengujian berikut:



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

PEMERIKSAAN BERAT JENIS

Nomor Contoh		1	2	3
Nomor Botol		-	-	-
Berat Botol + Tanah (W_2)	gr	191.00	200.00	192.00
Berat Botol (W_1)	gr	169.00	169.00	169.00
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	22.00	31.00	23.00
Suhu (T)	$^{\circ}\text{C}$	30	30	30
Berat Botol + Air pada T (W_4)	gr	694.00	695.00	690.00
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	716.00	726.00	713.00
Berat Botol + Air + Tanah (W_3)	gr	699.00	699.00	695.00
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm^3	17.00	27.00	18.00
Berat Jenis Tanah	gr/cm^3	1.294	1.148	1.278
Rata-rata	gr/cm^3	1.240		

Berat jenis tanah : 1.240 gr/cm^3

Diperiksa Oleh
Kepala Labolatorium

Disusun Oleh
Mahasiswa

Anik Budiati, S.T., M.T.
NIDN : 0729087101

Bagus Setiawan
NIM : 1614221012



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

Order : Proposal Tugas Akhir
Pekerjaan : Pengujian Batas *Atterberg* (ASTM D-4318)
Lokasi : Labolatorium Teknik Sipil Ubhara

Pengujian Batas *Atterberg* (ASTM D-4318)

1. Batas Cair (*Liquid limit*)

Langkah-langkah untuk pengujian *liquid limit* adalah sebagai berikut:

- a. Mengayak sampel tanah yang sudah dihancurkan dengan menggunakan saringan No. 40.
- b. Mengatur tinggi jatuh mangkuk Casagrande setinggi 10 mm.
- c. Mengambil sampel tanah yang lolos saringan No. 40, kemudian diberi air sedikit demi sedikit dan aduk hingga merata, kemudian dimasukkan kedalam mangkuk *casagrande* dan meratakan permukaan adonan sehingga sejajar dengan alas.
- d. Membuat alur tepat ditengah-tengah dengan membagi benda uji dalam mangkuk *casagrande* tersebut dengan menggunakan *grooving tool*.
- e. Memutar tuas pemutar sampai kedua sisi tanah bertemu sepanjang 13 mm sambil menghitung jumlah ketukan dengan jumlah ketukan harus berada diantara 10 – 40 kali.
- f. Mengambil sebagian benda uji di bagian tengah mangkuk untuk pemeriksaan kadar air dan melakukan langkah kerja yang sama untuk benda uji dengan keadaan adonan benda uji yang berbeda sehingga diperoleh 6 macam benda uji dengan jumlah ketukan yang bervariasi
- g. Buatlah Grafik hubungan kadar air dengan jumlah ketukan.

2. Batas Plastis (*Plastic limit*)

Langkah-langkah untuk pengujian *Plastic limit* adalah sebagai berikut:

- a. Menimbang 3 cawan kosong
- b. Masukkan sample tanah + aquades, lalu aduk hingga merata.
- c. Ambil sample yang sudah teraduk dan plintir diatas lempeng kaca hingga mencapai diameter 3 mm hingga retak.



LABOLATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya Tlp. 031 - 8285602, Fax. 031 - 8285601

- d. Jika sampai diameter 3 mm namun belum retak, berarti tanah terlalu banyak mengandung air.
- e. Timbang plintiran sebelum dimasukkan ke dalam oven.
- f. Masukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 110⁰C.
- g. Keluarkan dari oven dan timbang lagi menggunakan neraca.

Rumus untuk menghitung kadar air :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Keterangan :

W (*Water Content*) = Kadar Air (%)

TW (*Wt of container*) = Berat cawan kosong (gr)

WW (*Wt of container + wet soil*) = Berat cawan + tanah asli (gr)

DW (*Wt of container + dry soil*) = Berat cawan + tanah kering oven (gr)

Ws (*Dry soil weight*) = Berat Tanah Kering (gr)

Ww (*Water weight*) = Berat Air (gr)

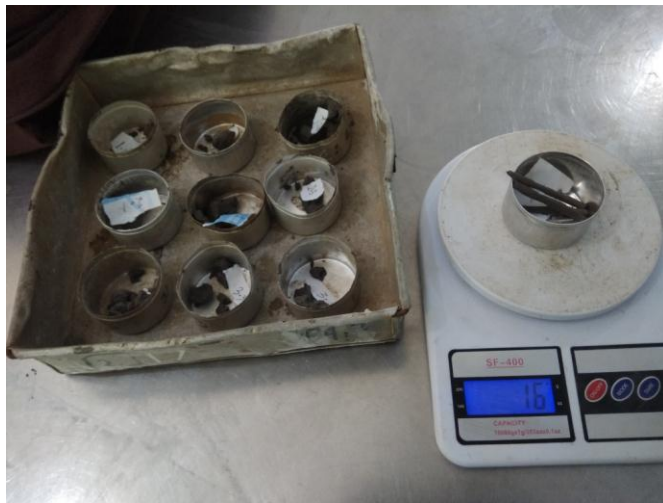
Nilai batas plastis (PL) adalah kadar air rata-rata dari ketiga benda uji.

Indeks Plastisitas (PI) adalah harga rata-rata dari ketiga sampel tanah yang diuji, dengan rumus : **PI = LL – PL**

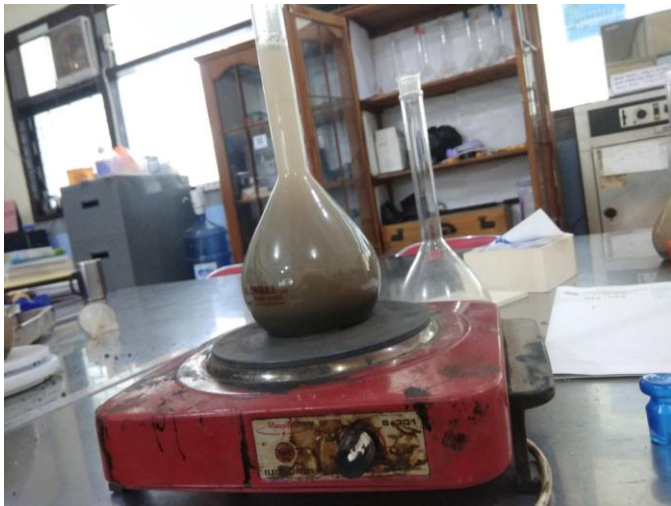
Pengujian *Plastic Limit* menggunakan 3 sampel tanah dan *Liquid Limid* menggunakan 6 sampel tanah yang kemudian diisikan dalam **Tabel** pengujian berikut:



Dokumentasi Foto Pengujian *Plastic Limit* Tanah



Dokumentasi Foto Pengujian *Liquid Limit* Tanah



Dokumentasi Foto Pengujian Berat Jenis Tanah



Dokumentasi Foto Pengujian *Standart Proctor* Tanah Asli



Dokumentasi Foto Perendaman dan Uji CBR Tanah Asli



Dokumentasi Foto Pengujian *Standart Proctor* Campuran Kapur Tohor



Dokumentasi Foto Perendaman dan Uji CBR Tanah Asli+Kapur Tohor