

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian tanah

Dalam pandangan teknik sipil, menurut Hary Cristady Hardiyatmo (2002) tanah adalah himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses 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, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia lainnya. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

2.1.2 Sistem klasifikasi tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (*Das, 1995*). Adapun sistem klasifikasi tanah yang telah umum digunakan adalah :

a. Sistem klasifikasi kesatuan tanah (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan Teknik Pondasi seperti untuk pembendungan, bangunan gedung dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk perencanaan lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas

adalah sistem klasifikasi kesatuan tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisa ukuran butir dan batas-batas konsistensi.

Sistem klasifikasi USCS diusulkan oleh Prof. Arthur Cassagrande, sistem ini didasarkan pada sifat tekstur tanah dan sistem ini menempatkan tanah dalam tiga kelompok:

1. Tanah berbutir kasar

Tanah berbutir kasar adalah tanah yang mempunyai persentase lolos saringan No. 200 $<$ 50 % sedangkan tanah berbutir halus adalah tanah dengan persentase lolos saringan No. 200 $>$ 50 %.

Tanah ini dibagi dengan simbol-simbol tertentu sebanyak 15 buah, yaitu:

a. Simbol komponen:

- Kerikil : G (*Gravel*)
- Pasir : S (*Sand*)
- Lanau : M (*Mo*)
- Lempung : C (*Clay*)
- Organic : O (*Organic*)
- Humus : Pt (*Peat*)

b. Simbol Gradasi:

- Bergradasi baik : W (*Well graded*)
- Bergradasi buruk: P (*Poorly graded*)

c. Simbol Batas cair

- Tinggi : H (*High*)
- Rendah : L (*Low*)

Tanah berbutir kasar dibagi lagi atas dua kelompok yaitu:

- Kerikil dan tanah kerikilan (G)
- Pasir dan tanah kepasiran (S)

Tanah yang termasuk ke dalam kerikil adalah tanah yang mempunyai persentase lolos saringan No. 4 $>$ 50 % termasuk kelompok pasir. Baik pasir maupun kerikil dibagi lagi menjadi 4 kelompok :

- a. Kelompok GW dan SW adalah tanah kerikilan dan kepasiran bergradasi baik dengan butiran halus yang sedikit atau tanpa butiran halus yang non plastis (lolos saringan No. 200 $<$ 5%).

- b. Kelompok GP dan SP adalah tanah kerikilan dan kepasiran bergradasi buruk dengan halus sedikit yang non plastis.
- c. Kelompok GM dan SM adalah mencakup tanah kerikil atau pasir kelanauan (lolos saringan No. 200 >12%) dengan plastisitas rendah atau non plastis. Batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A. Dalam kelompok ini bisa termasuk baik yang bergradasi baik maupun yang bergradasi buruk.
- d. Kelompok GC dan SC adalah mencakup tanah kerikil atau kepasiran dengan butiran halus (lolos saringan No. 200 < 12%) lebih bersifat lempung dengan plastisitas rendah sampai tinggi, batas cair dan indeks plastisitas tanah ini terletak di atas garis A dengan grafik plastisitas.

2. Tanah berbutir halus

Tanah berbutir halus dibagi dalam lanau (M) yang berasal dari bahasa Swedia dan lempung (C) yang di dasarkan pada batas cair dan indeks plasis juga tanah organis (O) juga termasuk dalam frkasi ini. Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A dan lempung di atas garis A. Lempung organis adalah kekecualian dari peraturan di atas karena batas cair dan indeks plastisnya berada di bawah garis A. Lanau, lempung dan tanah organis dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H), garis pembag anatra batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50.

- a. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifiaksikan sebagai lanau pasiran, lanau lempung atau lanau anorganis dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubur batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung.
- b. Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung anorganis. Kelompok CH adalah dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk, lempung gumbo. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung gumbo. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasiakan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung pasir, atau lempung lanau.

- c. Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik, lempung dan lanau organis termasuk kedalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas berkisar pada kelompok ML dan MH.

3. Tanah organis

Tanah ini tidak dibagi lagi tapi diklasifikasikan dalam satu kelompok. Biasanya mereka sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang diinginkan, tanah khusus dari kelompok ini adalah humus, tanah lumpur dengan tekstur organis yang tinggi. Komponen umum dari tanah ini adalah partikel daun, rumput, dahan atau bahan-bahan yang regas lainnya.

b. Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem ini membedakan tanah dalam 8 (delapan) kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi oleh AASHTO diabaikan (*Silvia Sukirman, 1992*).

1. Analisis ukiran butiran.
2. Batas cair dan batas plastis dan IP yang dihitung.

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No. 200)						
	A-1		A-2	A-3		A-4	
Kelompok	A-1a	A-1b	A-2a	A-2b	A-3	A-4a	A-4b
% Lolos Saringan Saringan	oleh permukaan tanah itu.						
No. 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
No. 40	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Karakteristik fraksi							
Lolos	No. 40 Tabel 2.1 Klasifikasi tanah untuk tanah dasar jalan raya, AASHTO						
Batas Cair			≤ 40	≤ 41	≤ 40	≤ 41	
Indeks Plastisitas	≤ 50		N.P	≤ 10	≤ 10	≤ 11	≤ 10
Indeks Kelompok	0		0	0		≤ 4	
Jenis-jenis Bahan Pendukung Utama	Fragmen batu pasir dan kerikil		pasir halus	kerikil dan pasir berlanau atau berlempung			
Tingkatan umum sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik						

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler	Tanah mengandung Lanau-Lempung				
		A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Kelompok	A-2-7					A-7-5b A-7-5c
	Persen Lolos Saringan					
No. 10						
No. 20						
No. 200	35 max	36	36	36 min	36	36 min
Batas Cair 2	41 min	40	41	40 min	40	41 min
Indeks Plastisitas 3	11 min	10 min	10	10 min	10	11 min
Fraksi Tanah	Kerikil, pasir		Lanau		Lempung	
Kondisi Kuat	Sangat baik		Kurang baik hingga jelek			

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS 1

PEMBAGIAN UTAMA		SIMBOL	NAMA JENIS TANAH
1	2	3	4

TANAH BERBUTIR HALUS	saringan no. 200	Lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari	TANAH BERBUTIR KASAR				
			Lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari	Lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari			
LANAUDAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih besar dari saringan no. 4	KERIKIL		
				Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR		
LANAUDAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR	Pasir bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)	SW	Pasir, pasir kerikil bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus.	
				Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	SP	Pasir, pasir kerikil bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus.	
LANAUDAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR	Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	SM	Pasir kelanauan, pasir campur lanau.	
					SC	Pasir kelempungan, pasir campur lempung.	
LANAUDAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR	Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	GC	Kerikil lempungan, kerikil campur pasir dan lempung.
						GM	Kerikil lanauan, kerikil campur pasir dan lanau.
LANAUDAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR	Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	GP	Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus.
						GW	Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus.
LANAUDAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no.4	PASILIR	Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	ML	Lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus, kelanauan atau kelempungan atau lanau kelempungan sedikit plastis.
						CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung kerikil, lempung pasiran, lempung lanauan, lempung

Lebih dari setengah materialnya lebih halus dari saringan no. 200	Batas cair lebih dari 50		humus.
		OL	Lempung organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah.
		MH	Lempung anorganik, tanah pasir halus atau tanah lanauan mengandung mika atau diatomo lanau elastic
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung ekspansif.
		OH	Lempung anorganik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik.
TANAH ORGANIK		PL	Gambut dan tanah organik lainnya.

(sumber : Hardiyatmo, 1992)

Tabel 2.4 Sitem Klasifikasi Tanah USCS 2

SIMBOL	KRITERIA KLASIFIKASI LABORATORUM	
GW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 4	
GP	$Cc = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
GM	Tidak ditemukan semua persyaratan gradasi untuk GW	Di atas garis "A" dengan PI antara 4 dan 7 terdapat pada garis batas dan menggunakan simbol ganda.
GC	Batas Atterberg di bawah garis "A" atau PI kurang dari 4.	Batas Atterberg di atas garis "A" atau PI lebih besar dari 7.
SW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 6	
SP	$Cc = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
SM	Tidak ditemukan semua persyaratan gradasi untuk SW	Batas Atterberg yang masuk pada daerah

SC	<p>Lebih dari 12%</p> <p>GM, GC, SM, SC</p> <p>Kurang dari 5%</p> <p>GW, GP, SW, SP</p>	dengan PI lebih besar dari 7.	arsir dengan PI antara 4 dan 7 disebut kasus <i>garis batas</i> dan menggunakan simbol ganda.
----	---	-------------------------------	---

Umum	SARINGAN NO. 200							NO. 200			
Klasifikasi	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
% Lolos Saringan											
No. 10	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	30 maks	50 maks	51 min.	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	15 maks	25 maks	10 Maks	35 maks	35 Maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat Fraksi Yang Lolos Saringan No. 200											
Batas Cair	-	-	40 maks	41 Min	40 maks	41 min	40 maks	40 maks	40 maks	41 min	
Indeks Plastisitas	6 maks	N.P	10 maks	10 Maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min	
Jenis Umum	Batu pecah, Kerikil dan Pasir	Pasir Halus	Kerikil dan Pasir yang berlanau atau Kelempungan				Tanah Berlanau		Tanah Berlempung		
Penilaian Sebagai Bahan tanah Dasar	Baik sekali sampai Baik							Biasa sampai Jelek			

(Sumber : Das, 1995)

Catatan : Untuk Sub Kelompok A-7-5 $PI \leq LL - 30$

Untuk Sub Kelompok A-7-6 $PI > LL - 30$

2.2 Batas-batas Konsistensi Tanah

Atteberg (1911) menggambarkan keadaan konsistensi tanah, batas-batas konsistensi tanah ini didasarkan pada kadar air, yaitu batas cair, batas plastis, dan batas susut. Kadar air dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semipadat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air dimana transisi dari keadaan semipadat ke keadaan plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*).

Batas-batas ini dikenal sebagai batas-batas Atterberg.

1. Batas Cair (*liquid limit - LL*)

Kadar air dinyatakan dalam persen, dari tanah yang dibutuhkan untuk menutup goresan yang berjarak 0,5 in (12,7 mm) sepanjang dasar contoh didalam mangkok. Sesudah 25 pukulan didefinisikan sebagai batas cair (*liquid limit*), untuk mengatur kadar air dari tanah sangat sulit maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali dengan kadar air yang berbeda-beda dengan jumlah pukulan berkisar antara 15 sampai 35.

2. Batas Plastis (*plastic limit - PL*)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam persen dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 in (3,2 mm) menjadi retak-retak. batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah.

3. Batas Susut (*shrinkage limit - SL*)

Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan-lahan hilang dalam tubuh. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan di mana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Kadar air, dinyatakan dalam persen dimana perubahan volume suatu massa tanah berhenti didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Uji batas susut dilakukan di laboratorium dengan menggunakan suatu mangkok porselin yang mempunyai diameter kira-kira 1,75 in (44,4 mm) dan tinggi kira-kira 0,5 in (12,7 mm). volume dari

contoh tanah yang telah dikeringkan ditentukan dengan cara menggunakan air raksa.

4. Indeks Plastis (*plasticity index - PI*)

Index plastisitas adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah atau $PI = LL - PL$

Indeks plastisitas digunakan sebagai identifikasi sifat plastis tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika IP 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 2.6**

berikut ini :

Tabel 2.6 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
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 : Hardiyatmo, 1992)

2.3 Kadar air

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume yang diselidiki.

$$\frac{W}{W_s} = W_w \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : W = Kadar air

W_w = Berat air

W_s = Berat butiran

2.4 Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 40°C

G_s tidak berdimensi, berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat jenis sebesar 2,67 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi. Sedangkan untuk tanah kohesif, tak organik berkisar di antara 2,68 sampai 2,72. nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam **Tabel 2. 7** berikut :

Tabel 2.7 Berat jenis dari beberapa jenis tanah

Macam tanah	Berat jenis G_s
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau tak organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lmpung tak organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

2.5 Pemadatan Tanah

Pemadatan termasuk stabilisasi tanah secara mekanis. Setelah dipadatkan, susunan partikel-partikel tanah menjadi lebih padat sehingga mempunyai sifat-sifat teknis yang lebih baik dari sebelumnya Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Tanah dapat dikerjakan pada mulanya dengan pengeringan, penambahan air, agregat (butir-butir), atau dengan bahan-bahan stabilisasi seperti semen, gamping, abu batubara, atau bahan lainnya.

Kompaksi atau pemadatan adalah proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis, sehingga partikel-partikel tanah menjadi rapat.

Untuk suatu jenis tanah yang dipadatkan dengan daya pemadatan tertentu, kepadatan yang dicapai tergantung pada banyaknya air (kadar air) tanah tersebut. Besarnya kepadatan tanah, biasanya dinyatakan dalam nilai berat isi kering nya (γ_d). Apabila tanah dipadatkan dengan adanya pemadatan yang tetap pada kadar air yang bervariasi, maka pada nilai kadar air tertentu akan tercapai kepadatan maksimum ($\gamma_d \text{ max}$). Kadar air yang menghasilkan kepadatan maksimum disebut kadar air optimum ($\gamma_w \text{ opt}$).

Kenyataan ini dikemukakan pertama kali oleh RR Proctor pada tahun 1933, dan dapat dinyatakan dalam grafik yang menyatakan hubungan antara kepadatan (γ_d) dengan kadar air (γ_w).

$\gamma_w \text{ opt}$ = kadar air optimum adalah kadar air yang menghasilkan nilai kepadatan maksimum ($\gamma_d \text{ max}$)

$\gamma_d \text{ max}$ = kepadatan maksimum
 Adalah kepadatan yang didapat dari pemadatan tanah dengan daya pemadatan tertentu pada kadar air optimum ($\gamma_w \text{ opt}$)

Z a v c = Zero air void curve
 adalah garis yang menunjukkan hubungan antara γ_d dan γ_w untuk tanah yang jenuh air / tidak terdapat udara dalam ruang pori. Garis ini diperoleh dengan menentukan nilai dari γ_d persamaan :

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \omega \cdot G_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

Pemadatan di laboratorium dimaksudkan untuk menentukan nilai kadar air optimum ($\gamma_w \text{ opt}$) dan kepadatan maksimum ($\gamma_d \text{ max}$) dari suatu tanah yang dipadatkan dengan suatu daya pemadatan tertentu. Kadar air optimum yang

didapat dari percobaan di laboratorium digunakan untuk pedoman pelaksanaan pemadatan tanah di lapangan. Jika Pemadatan dilakukan dengan uji Proctor modifikasi karena usaha pemadatan bertambah, maka berat volume kering maksimal akan lebih besar yaitu sekitar $16-32 \text{ kN/ m}^3$ dan kadar air optimum akan berkurang sekitar 3%

Tabel 2.8 Metode prosedur uji pemadatan Proctor dimodifikasi

Tipe Uji Standar	Uji standar proctor (ASTM D-698) (AASHTO T-99)				Uji proctor modifikasi (ASTM D-1557) (AASHTO T-180)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Metode								
Diameter Moul (mm)	102	152	102	152	102	152	102	152
Berat pemukul(kg)	2,5	2,5	2,5	2,5	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh (cm)	30,5	30,5	30,5	30,5	45,7	45,7	45,7	45,7
Jumlah Lapisan	3	3	3	3	5	5	5	5
Pukulan perlapis	25	56	25	56	25	56	25	56
Ukuran butiran lolos Saringan (mm)	4,75	4,75	19	19	4,75	4,75	19	19
Energi (ft. lb/ ft^3)	12375	12375	12375	12375	56250	56250	56250	56250

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Dalam pemadatan yang dapat berkurang hanya udara, jika volume air lebih besar maka kepadatan maksimum berkurang. Tanah jenuh air tidak dapat dipadatkan. Pada dasarnya, makin basah tanah makin jenuh dan sukar dipadatkan. Air berfungsi sebagai pembasah (pelumas) agar butir-butir tanah

mudah merapat. Adanya penambahan kadar air secara bertahap maka berat dari jumlah bahan padat dari tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Setelah mencapai kadar air tertentu, adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air dimana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut: Kadar Air Optimum = Optimum

moisture Content = W_{opt} . Kepadatan terbesar = Berat Volume kering maksimum = Maksimum Dry Density = γ_d maks

Jika dipadatkan dengan pemadatan tertentu, nilai OMC dan MDD tidak sama lagi bagi setiap tahun. Untuk satu tahun yang sama nilai OMC dan MDD tidak sama lagi jika dipadatkan dengan pemadatan yang berbeda. OMC dan MDD tidak konstan untuk suatu tanah.

Menurut Proctor, dalam Das (1995:235) percobaan-percobaan di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah *Proctor Compaction Test* (uji pemadatan *Proctor*). Adapun prosedur uji pemadatan, diantaranya

a. Uji Proctor (*standard proctor test*)

Tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder bervolume $1/30 \text{ ft}^3$ ($=943,3 \text{ cm}^3$). diameter cetakan tersebut 4 in ($=101,6 \text{ mm}$). tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Pemadatan dilakukan dalam 3 lapisan (dengan tebal tiap lapisan kira-kira 1,0 in). Berat penumbuk adalah 5,5 lb (massa = 2,5 kg) dan tinggi jatuh sebesar 12 in ($=304,8 \text{ mm}$)

b. Uji Proctor Dimodifikasi (*modified proctor test*)

Untuk pelaksanaan uji Proctor dimodifikasi, dipakai cetakan yang sama dengan volume $1/3 \text{ ft}^3$ ($=944 \text{ cm}^3$) sebagaimana pada uji Proctor standar. Tetapi tanah yang dipadatkan dalam 5 lapisan dengan menggunakan penumbuk seberat 10 lb (massa = 4,54 kg). tinggi jatuh penumbuk adalah 18 in ($457,2 \text{ mm}$).

2.6 CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR dikembangkan oleh *California State Highway Departemen* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan. Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di Laboratorium atau di Lapangan dengan rencana Empiris untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metode perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) suatu jalan. Tebal suatu bagian perkerasan ditentukan oleh nilai CBR.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Beban Penetrasi}}{\text{Beban Penetrasi Standard}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Adapun besarnya beban standar untuk berbagai kedalaman penetrasi pada Tabel 2.9 sebagai berikut :

Tabel. 2.9 Beban standar untuk berbagai kedalaman penetrasi

Penetrasi (mm)	Beban Standard	
	(psi)	(kN/m ²)
2,5	1000	6900
5,0	1500	10300
7,5	1900	13000
10,0	2300	16000
12,5	2600	18000

(Sumber : SNI 03-1744-1989)

Nilai CBR adalah perbandingan antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 in dengan kecepatan 0,05 inchi/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus standar tertentu. Jadi dianggap bahwa di atas suatu bahan dengan nilai CBR tertentu, perkerasan tidak boleh kurang dari suatu angka tertentu. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah dan campuran tanah agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu yang akan digunakan

untuk perencanaan konstruksi jalan, dalam Setiawan, A (2008).

Tanah dasar (*Subgrade*) pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang telah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan. CBR ini disebut CBR laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium. CBR Laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR Laboratorium rendaman dan CBR Laboratorium tanpa rendaman. Semakin tinggi nilai CBR tanah dasar (*subgrade*) maka lapisan perkerasan di atasnya akan semakin tipis dan semakin kecil nilai CBR (daya dukung tanah rendah), maka semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai dengan beban yang akan dipikul.

Terdapat dua macam pengukuran CBR, yaitu :

- a. Nilai CBR untuk penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi standar besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi).

$$\text{CBR} = 70,37^{P1} \times 100 \text{ (P1 dalam cmkg}^2 \text{)} \text{ atau}$$

$$\text{CBR} = 1000^{P1} \times 100 \text{ (P1 dalam psi)}$$

- b. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi standar yang besarnya 105,56 kg/cm² (1500 psi) $\text{CBR} = 105,56^{P2}$

$$\times 100 \text{ (P2 dalam cm}^{\text{kg}_2} \text{)} \text{ atau } \text{CBR} = 1500^{P2} \times 100 \text{ (P2 dalam psi)}$$

Ada 2 cara pelaksanaan pengujian CBR yang biasa dilakukan yaitu pengujian CBR rendaman (*soaked*) dan pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*). CBR *soaked* (rendaman) dan CBR *unsoaked* (tanpa rendaman). CBR soaked dalam pelaksanaannya lebih sulit karena membutuhkan waktu dan biaya yang relatif lebih besar dibandingkan CBR unsoaked sedangkan hasil pengujian CBR unsoaked sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan CBR soaked. Bila diperlukan harga CBR direndam (*soaked*) maka harus dilakukan pengambilan contoh asli dengan cetakan CBR sebanyak

minimum 2 buah, yaitu untuk harga CBR direndam (*soaked*) dan CBR tidak direndam (*unsoaked*).

CBR lapangan pada umumnya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (*overlay*). Bila tidak diperlukan CBR tanpa direndam (*unsoaked*), maka dapat dilakukan pengujian langsung di tempat. Tapi jika karena sesuatu dan lain hal tidak dapat dilakukan pengujian langsung di tempat (misalnya tanah dasar asli cukup dalam atau kendaraan truk untuk beban tidak bisa masuk ke lokasi) dapat dilakukan pengambilan contoh asli tanah dengan cetakan CBR (*undisturb sample*).

Pada umumnya CBR soaked lebih rendah dari CBR Unsoaked. Namun demikian soaked adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR soaked yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan CBR rendaman / soaked CBR. Gunanya untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan maksimum.

Pemeriksaan dilaksanakan pada kondisi tanah dasar tidak dalam keadaan jenuh air. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi, terletak di daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau. sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di Lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swell*) yang maksimum. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim penghujan dan kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau.

2.7. Hasil Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan literature yang penulis baca hasil penelitian sebelumnya didapatkan Menurut Dessy Rusmi Wuryanti (2010) Berdasarkan penelitian sifat

fisik tanah yang dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang menurut system klasifikasi *Unified Soil Classification System* tanah yang berasal dari desa Pulorejo kecamatan Purwodadi kabupaten Grobogan KM 6,8 adalah termasuk tanah dalam golongan CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clay*). Berdasarkan penelitian sifat mekanik tanah yang dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang nilai CBR tertinggi adalah 10,999 % pada batas susut dengan kadar air 20,25 % dan nilai CBR 0,908 % terendah pada batas cair dengan penambahan kadar air 73,62 %. Adanya penambahan air yang dilakukan dalam pemadatan dengan energi tekanan ($342,374 \text{ kJ/m}^3$) yang sama hingga mendekati batas cair (daerah rentang cair) menyebabkan berat volume kering mengalami penurunan. Makin tinggi kadar air yang ditambahkan, maka makin kecil nilai CBR dari tanah lempung itu sendiri. Perubahan kandungan air pada tanah dasar berpengaruh terhadap nilai CBR, dimana kekuatan tanah dasar banyak bergantung pada kadar airnya. Terdapat pengaruh untuk usaha pemadatan yang tetap dengan penambahan kadar air pada uji CBR laboratorium, dimana nilai CBR tertinggi = 10,999 % dicapai pada penambahan kadar air 20,25 % dan 21,80 % (batas susut).

Menurut Farian Albajili (2014) Berdasarkan hasil pengujian *properties*, dapat disimpulkan bahwa *Quarry* Garuda Sakti merupakan tanah pasir berlempung-pasir berlanau (SC-SM), sedangkan tanah *Quarry* Kulim merupakan tanah lanau anorganik dengan plastisitas rendah (ML) dan tanah *Quarry* Palas merupakan tanah lanau anorganik dengan plastisitas tinggi (MH). Hasil pengujian pemadatan tanah (*Proctor Test*) diperoleh yaitu nilai OMC yang paling tinggi yaitu di lokasi *Quarry* Palas sebesar 28,00 %. Sedangkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) yang paling tinggi yaitu di lokasi *Quarry* Garuda Sakti sebesar $1,92 \text{ gr/cm}^3$. Berdasarkan hasil pengujian CBR dan UCS, nilai CBR dan c_u yang paling besar yaitu pada kondisi OMC – 10 % dengan 56 pukulan. Hal ini berlaku untuk ketiga *Quarry* yaitu pada *Quarry* Garuda Sakti, *Quarry* Kulim, dan *Quarry* Palas. Dengan nilai CBR dan c_u sebesar 43,4 % dan 90,77 kPa pada *Quarry* Garuda Sakti, 21,47 % dan 187,28 kPa pada *Quarry* Kulim, 16,83 % dan 157,89 kPa pada *Quarry* Palas.

Pengujian CBR menunjukkan bahwa semakin besar berat volume kering maka semakin besar nilai CBR. Material *Quarry* Garuda Sakti memiliki nilai CBR paling tinggi pada kondisi OMC - 10 % tetapi berat volume paling tinggi pada kondisi OMC. Material *Quarry* Kulim dan Palas memiliki nilai CBR dan berat volume paling tinggi berada pada kondisi OMC - 10 %. Korelasi antara nilai CBR dan nilai c_u didapat persamaan $c_u = 4,323\text{CBR}^{0,849}$ untuk *Quarry* Garuda Sakti dan $c_u = 5,817\text{CBR}^{1,194}$ untuk *Quarry* Kulim dan Palas. Persamaan untuk *Quarry* Garuda Sakti hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan c_u paling besar yaitu 43,40 % dan 90,77 kPa, sedangkan CBR dan c_u paling kecil yaitu 6,49 % dan 16,29 kPa. Persamaan *Quarry* Kulim dan Palas hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan c_u paling besar yaitu 21,47 % dan 187,28 kPa, sedangkan CBR dan c_u paling kecil yaitu 4,09 % dan 21,17 kPa.

Menurut Ukiman (2013) Pada semua komposisi pasir dan lempung lanau, semakin besar kadar air (w_c) maka semakin besar pula dry density ($\bar{\alpha}d$), tetapi pada kadar air tertentu $\bar{\alpha}d$ akan menurun. Karena prosentase air yang mengisi pori-pori antar butiran besar sehingga prosentase butiran solid yang masuk tidak maksimal. Semakin besar prosentase lempung-lanau dalam campuran maka w_c optimumnya akan semakin besar pula, karena kandungan lempung (SiO_2) yang besar dapat menyerap air (H_2O) yang lebih banyak. Jika dilihat dari segi kepadatan ($\bar{\alpha}d_{\text{max}}$), semakin besar prosentase lempung-lanau maka $\bar{\alpha}d_{\text{max}}$ nya akan semakin besar pula, tetapi pada campuran dengan lempung-lanau lebih dari 10%, $\bar{\alpha}d_{\text{max}}$ nya menurun, karena kandungan lempung yang besar dapat menyebabkan instabilitas seperti daya dukung rendah dan penurunan yang besar. Cenderung pada semua komposisi pasir dan lempung-lanau, semakin besar prosentase kadar air maka semakin kecil pula nilai swellingnya, karena proses swelling telah terjadi terlebih dahulu pada saat pemeraman. Kecuali pada komposisi pasir 90% dan lempung-lanau 10%. Semakin besar $\bar{\alpha}d$ maka semakin besar nilai CBR dan semakin kecil nilai angka pori (e) dan porositas (n), karena semakin besar kepadatan berarti tanahnya semakin padat maka daya dukung tanahnya semakin besar, yang ditunjukkan dengan nilai CBR semakin besar dan tanahnya mengalami reposisi butiran sehingga pori-pori antar butiran mengecil

dan hal ini dapat dilihat dari mengecilnya nilai e dan n . Pada kondisi jenuh nilai CBR lebih kecil dibandingkan pada kondisi tidak jenuh, karena pada kondisi jenuh penetrasi tekanan diterima terlebih dahulu oleh air yang selanjutnya diterima oleh butiran tanah solid sehingga peningkatan nilai CBRnya lebih landai dibandingkan dengan kondisi tidak jenuh yang lebih curam dan rentang nilai CBRnya lebih besar. Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa Komposisi material timbunan reklamasi yang optimal terhadap kepadatan adalah material dengan komposisi pasir 90% dan lempunglanau 10%. Bila kandungan lempunglanau bertambah banyak ($>10\%$) atau bertambah sedikit ($<10\%$), mengakibatkan kepadatan menurun.