

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). (Mekanika Tanah I Edisi ke enam oleh Hary Christady Hardiyatmo, 2012). Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi dipermukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia.

Tanah mempunyai sifat struktur yang bermacam-macam, hal itu disebabkan karena tanah mempunyai banyak sifat-sifat fisis yang berbeda. Sifat-sifat fisis meliputi berat isi, angka pori, nilai sudut geser, dan berat volume. Berat isi adalah berat tanah termasuk air dan udara dengan volume total. Sudut geser terbentuk akibat dari gerak antara butiran-butiran tanah. Berat volume adalah berat volume butiran tanah termasuk udara, dengan volume total tanah.

Secara umum tanah dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan sifat lekatnya, yaitu tanah kohesif, tanah tidak kohesif (*granular*) dan tanah organik tanah. Sifat-sifat tanah kohesif adalah sebagai berikut :

1. Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butirnya seperti tanah lempung.
2. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butirnya atau hampir tidak mengandung lempung misal pasir.
3. Tanah Organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan organik (sifat tidak baik) seperti sisa-sisa hewani maupun tumbuh-tumbuhan.

Jenis tanah berdasarkan ukuran butir digolongkan menjadi :

- a. Batu Kerikil (*gravel*)
- b. Pasir (*sand*)
- c. Lanau (*slit*)
- d. Lempung (*clay*)

2.2 Tanah Lanau

Tanah lanau biasanya terbentuk dari pecahnya kristal kuarsa berukuran pasir. Beberapa pustaka berbahasa Indonesia menyebut objek ini sebagai debu. Lanau dapat membentuk endapan yang mengapung di permukaan air maupun yang tenggelam. Pemecahan secara alami melibatkan pelapukan batuan dan regolit secara kimiawi maupun pelapukan secara fisik melalui embun beku (*frost*) haloclasty. Proses utama melibatkan abrasi, baik padat (oleh gletser), cair (pengendapan sungai), maupun oleh angin. Di wilayah-wilayah setengah kering produksi lanau biasanya cukup tinggi. Lanau yang terbentuk secara glasial (oleh gletser) dalam bahasa Inggris kadang-kadang disebut *rock flour* atau *stone dust*. Secara komposisi mineral, lanau tersusun dari kuarsa feldspar. Sifat fisika tanah lanau umumnya terletak diantara sifat tanah lempung dan pasir.

Merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang plastis dan mudah ditembus air dari pada lempung dan memperlihatkan sifat dilatasi yang tidak terdapat dalam lempung. Dilatasi menunjukkan nilai perubahan isi apabila lanau diubah bentuknya. Lanau akan menunjukkan gejala untuk hidup apabila diguncang atau digetar (Braja M Das, 1994).

Klasifikasi tanah :

- 1) Berangkal > 20 cm
- 2) Kerakal 8 – 20 cm
- 3) Batu kerikil 2 mm – 8 cm
- 4) Pasir kasar 0,6 mm – 2 mm
- 5) Pasir sedang 0,2 mm – 0,6 mm
- 6) Pasir halus 0,06 mm – 0,2 mm
- 7) Lanau 0,002 mm – 0,06 mm
- 8) Lempung < 0,002 mm

2.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan

secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu.

Tujuan klasifikasi tanah yaitu untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Beberapa sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan *AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)* dan sistem klasifikasi tanah berdasarkan *USCS (Unified System Classification Soils)*. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari *Sistem Unified* mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari *USBR (United State Bureau of Reclamation)*. Dalam bentuk yang sekarang, system ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

2.3.1 Sistem Klasifikasi Unified

Sistem Klasifikasi Unified ini tanah telah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar kerikil dan pasir jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus lanau/lempung jika lebih dari 50% lolos saringan

nomor 200. Kemudian, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 2.1. Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah :

- G = kerikil (*gravel*)
- S = pasir (*sand*)
- C = lempung (*clay*)
- M = lanau (*silt*)
- O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = gradasi baik (*well-graded*)
- P = gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sebagai berikut :

- a. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar :
- c. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
- d. Tentukan persen butiran lolos saringan no. 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
- e. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u (koefisien keseragaman) dan C_c (koefisien gradasi). Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai *GW* (bila kerikil) atau *SW* (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai *GP* (bila kerikil) atau *SP* (bila pasir).
- f. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (*GW - GM*, *SW - SM*, dan sebagainya).

- g. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (*GM*, *GC*, *SM*, *SC*, *GM – GC* atau *SM – SC*).
- h. Jika tanah berbutir halus :
- i. Kerjakan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasi sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika Kurang dari 50, klasifikasi sebagai L (plastisitas rendah)
- j. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
- k. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
- l. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel.

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Krikil bergradasi-baik dan campuran krikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			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		
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
			SC	Asir berlempung, campuran pasir lempung		
			Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, lanau yang elastis				
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)				
	OH	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
		OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

Diagram Plastisitas:
Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.

Garis A : 0,73 (LL-20)

(Sumber : *Mekanika Tanah I Edisi ke enam, Hardiyatmo, 2012*)

2.3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Pada Sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade.

Membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks

kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan yaitu, pengujian analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi *AASHTO* dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Merupakan Indeks kelompok (*group index*) (*GI*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

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

dengan :

GI = indeks kelompok (*group index*)

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

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Dari hasil tabel bila hasil nilai indeks kelompok (*GI*) semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Tanah bergranuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 yaitu, pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Perbedaan keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg (Mekanika Tanah I Edisi ke enam oleh Hary Christady Hardiyatmo, 2012).

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 *
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---	---	---	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≥ 41
Indek Plastisitas (PI)	≤ 6	---	NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

(Sumber : Mekanika Tanah I Edisi ke enam, Hardiyatmo, 2012)

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

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

2.3 Bottom Ash

Pada pembakaran batubara di dalam boiler akan menghasilkan limbah berupa debu (*ash*). Menurut ukurannya limbah debu di bagi menjadi dua yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Bottom ash adalah limbah abu yang ukurannya lebih besar dari pada fly ash, sehingga bottom ash akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*). Pemilihan penggunaan Bottom Ash didasarkan atas ketersediaan Bottom Ash yang cukup melimpah dari pembakaran batu bara dan beberapa kandungan kimia yang ada pada Bottom Ash seperti Si, Al, Ti, Ca, dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah (Yuda Purnama, 2012).



Gambar 2.1 Bottom Ash

2.5 Prosedur Pengujian Laboratorium

Pada pengujian laboratorium terdapat beberapa prosedur pengujian kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja yang ada di buku panduan dan pengujian yang dilaksanakan mendapatkan nilai yang sebenarnya.

2.5.1 Pengujian Indeks Propertis Tanah

Pengujian Sifat fisik tanah adalah sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang akan digunakan adalah pengujian pengidentifikasian tanah. Adapun pengujian ini terdiri dari :

1. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui sejumlah air yang terkandung di dalam suatu benda uji, seperti tanah yang disebut juga kelembaban tanah, bebatuan, bahan pertanian, dan sebagainya. Kadar air digunakan secara luas dalam bidang ilmiah dan teknik dan diekspresikan dalam rasio, dari 0 (kering total) hingga nilai jenuh air di mana semua pori terisi air. Nilainya bisa secara volumetrik ataupun gravimetrik (massa), basis basah maupun basis kering SNI 1965-1990.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

Dimana: W_1 = Berat cawan kosong (gram)

W_2 = Berat cawan dan tanah basa asli (gram)

W_3 = Berat cawan dan tanah kering (gram)

$W_2 - W_3$ = Berat air (gram)

Berat air ($W_2 - W_3$) = gram

Berat tanah kering (gram)

2. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis bertujuan untuk perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah padat atau berat air yang dengan isi sama dengan isi tanah padat tersebut SNI-1964--2008.

Perhitungan :

$$\text{Dimana : } GS = \frac{W_2 - W_1}{(W_3 - W_1) - (W_4 - W_2)}$$

GS = Berat jenis butiran

W_1 = Berat piknometer

W_2 = Berat Piknometer + Tanah Kering

W_3 = Berat Piknometer + Tanah + Air

W_4 = Berat Piknometer + Air

Tabel 2.3 Macam-macam Berat Jenis Butiran Tanah

JENIS TANAH	BERAT JENIS (GS)
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lanau anorganik	2.62 - 2.68
Lempung organik	2.58 – 2.65
Lempung anorganik	2.68 – 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 – 1.80

(Sumber : Hardiyatmo,1992)

3. Analisa saringan butiran

Besarnya butiran tanah dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan.

Analisis ukuran butiran tanah bertujuan untuk penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan.

1. Tanah berbutir kasar

Untuk Ukuran butir kasar dapat di tentukan dengan cara penyaringan, dengan cara tanah di benda uji disaring menggunakan satu saringan standar laboratorium. Lalu tanah yang tertinggal di saringan masing-masing ditimbang, lalu persentase kumulatif tanah di hitung.

2. Tanah berbutir halus

Untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar, gabungan antara analisis saringan dan sedimentasi dapat digunakan. Dari hasil penggambaran kurva yang diperoleh, tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi baik bila tidak ada kelebihan butiran pada sembarang ukuran saringannya dan tidak ada yang kurang pada butiran sedang. Umumnya tanah bergradasi baik jika distribusi ukurannya tersebar luas. Tanah berbutir kasar digambarkan sebagai gradasi buruk, bila jumlah berat butiran sebagian besar mengelompokkan di dalam

batas interval diameter butir yang sempit (disebut bergradasi seragam). Tanah juga termasuk bergradasi buruk, jika butiran besar maupun kecil ada, tapi dengan pembagian butiran yang relatif rendah pada ukuran sedang SNI-1968-1990.

4. Pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*)

Pada metode batas- batas konsistensi menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada air yang bervariasi. *Atterberg limits* yang dimiliki suatu jenis tanah memberikan gambaran akan plastisitas tanah tersebut, dan sangat berhubungan dengan masalah kemampuan pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*). Air yang berkaitan dengan fase-fase perubahan pada tanah lempung yaitu batas-batas konsistensi (*atterberg limits*). Pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed*). Adapun pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) yang dilakukan :

a. Batas cair (*Liquid Limit / LL*)

Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. batas cair juga adalah kadar air minimum, yaitu sifat tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.

b. Batas plastis (*Plasticity Limit / PL*)

Untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum, yaitu tanah masih dalam keadaan plastis. Persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika di gulung.

c. Indeks plastisitas (*Plasticity Index / PI*)

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

Perhitungan :

$$\text{Indeks plastis (PL)} = \text{batas cair (LL)} - \text{batas plastis (PL)} \dots \dots \dots (2.3)$$

5. Analisa hidrometer

Pada pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butir s tanah yang lolos saringan No. 200. Pada uji hidrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik. Selanjutnya tanah dilarutkan kedalam ke dalam air destilasi yang dicampuri dengan bahan pendeflokulasi yang dapat berupa *sodium hexametaphosphate* agar partikel- partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Kemudian, larutan suspensi ditempatkan pada tabung hidrometer. Dalam uji hidrometer, contoh tanah yang digunakan kira-kira 35 gram kering oven. Ketika hidrometer dimasukkan dalam larutan suspensi (pada waktu t dihitung dari permulaan sedimentasi), hidrometer ini mengukur berat jenis larutan disekitar gelembung hidrometer yang berada pada kedalaman (L) SNI-3423—2008.

Digambarkan dalam bentuk kurva semi logaritmik. Ordinat grafik merupakan persen berat butiran yang lebih kecil dari pada ukuran butiran yang diberikan dalam absis.

$$\text{Untuk \% lebih halus (N)} = \frac{G_s V}{G_s - 1 W_s} c (r - r_a) \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : G_s = berat jenis tanah

V = volumesuspensi

W_s = berat tanah kering

c = berat jenis air pada suhu pengujian

r = pembacaan hidrometer pada suspense

r_a = pembacaan hidrometer pada air

2.5.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis.

1. Pengujian pemadatan

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Tanah dapat dikerjakan pada mulanya dengan proses pengeringan, penambahan air, atau dengan bahan-bahan penambah. Pemadatan di lapangan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin gilas, alat pemadat getaran, dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan, dan pemadatan di laboratorium dengan menggunakan daya tumbukan (dinamik), alat penekan, atau alat tekanan static yang menggunakan piston dan mesin tekanan.

Maksud dari pemadatan tanah adalah :

- a. Mempertinggi kuat geser tanah
- b. Mengurangi sifat mudah mampat (*kompresibilitas*)
- c. Mengurangi permeabilitas
- d. Mengurangi volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lainnya.

Tujuan pemadatan yaitu untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah sebagai berikut :

- a. Berkurangnya pemadatan permukaan tanah (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal di dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
- b. Bertambahnya kapasitas daya dukung tanah.
- c. Berkurangnya penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air.

Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Dengan demikian, tanah yang telah selesai dipadatkan di lapangan kemudian berubah kadar airnya maka berat volume kering tetap tidak berubah sepanjang volume total tanah masih tetap. Pengujian pemadatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pemadatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas.

Pemadatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Pemadatan ini dilakukan dalam

cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu (SNI-1744-1989).

Tanah yang didapatkan dengan cara yang benar akan dapat memberikan kuat tekan dan geser tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Tanah padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak dapat dipadatkan dengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja pada tanah yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan, karena pada saat tanah dipadatkan, air sulit mengalir ke luar dari rongga pori tanah ini menyebabkan butiran sulit merapat satu sama lain saat dipadatkan. Dalam pemadatan tanah, ada empat faktor yang mempengaruhi pemadatan, yaitu :

1. Usaha pemadatan (energy pemadatan)
2. Jenis tanah (gradasi kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya).
3. Kadar air.
4. Berat isi kering (*proctor* menggunakan angka pori)

$$\text{Perhitungan : Berat isi basah} = \frac{\text{berat isi basah}}{\text{volume}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat isi kering} = \frac{\text{berat isi basah}}{100+(\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat} = \text{berat isi kering} \times \text{volume} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Volume tanah kering} = \frac{\text{berat tanah kering}}{GS} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{ZAV} = \frac{G_s \cdot y_w}{1 + \frac{w}{100}} \times G_s \dots\dots\dots(2.9)$$

2. CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh California State Highway Departement. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan.

Kekuatan tanah diuji dengan uji CBR sesuai dengan SNI-1744-1989. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi

setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya. Pengujian CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0.1 inci dan penetrasi sebesar 0.2 inci. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai CBR material tanah yang dipadatkan menggunakan hammer pada kadar air optimum (wopt). Pengujian dibagi menjadi dua metode, yaitu pengujian CBR laboratorium rendaman dan pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman. Pengujian berdasarkan ASTM D 1883 dan SNI 1744 2012 Untuk pengujian CBR ada dua macam pengujian yaitu :

- 1) Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0.254 cm (0,1”) terhadap penetrasi standard besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi). Nilai CBR = $(PI/70,37) \times 100\%$ (PI dalam kg / cm²)
- 2) Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2”) terhadap penetrasi standard yang besarnya 105,56 kg/cm² (1500 psi) Nilai CBR = $PI/105,56) \times 100\%$ (PI dalam kg / cm²)

Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar. CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 macam yaitu :

- a. CBR laboratorium rendam (*soaked design CBR*) Pada pengujian CBR laboratorium rendaman pelaksanaannya lebih sulit karena membutuhkan waktu dan biaya relatif lebih besar dibandingkan CBR laboratorium tanpa rendaman.
- b. CBR laboratorium tidak rendam (*Unsoaked Design CBR*) Sedang dari hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman. Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch² dengan kecepatan 0,05 inch/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standard tertentu. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi

kadar air pemadatan. Adapun alat-alat yang di gunakan untuk pengujian CBR, diantaranya :

- a) Mesin penetrasi (*loading machine*) dilengkapi alat pengukur beban berkapasitas sekurang-kurangnya 4,45 ton atau 10.000 lb dengan kecepatan penetrasi sebesar 1,27 mm atau 0,05” per menit.
- b) Cetakan logam berbentuk silinder diameter bagian dalam $152,4 \pm 0,6609$ mm atau $6'' \pm 0,0026''$ dan tinggi $177,8 \pm 0,13$ mm atau $7'' \pm 0,005''$. Cetakan harus dilengkapi leher sambung dengan tinggi 50,8 mm atau 2,0” dan keping alas logam yang berlubang-lubang dengan tebal 9,53 mm atau $3/8''$ dan diameter lubang tidak lebih dari 1,59 mm atau $1/16''$.
- c) Piringan pemisah dari logam (*sapacer disc*) dengan dimeter 150,8 mm atau $515/16''$ dan tebal 61,4 mm atau $2,416''$. 2.1.4. Alat penumbuk sesuai dengan cara Pengujian Pemadatan Ringan Untuk Tanah.
- d) Alat pengukur pengembangan (*swell*) yang terdiri dari keping pengembangan yang berlubang-lubang dengan batang pengatur, tripod logam, dan arloji penunjuk.
- e) Keping beban dengan berat 2,27 kg (5 lb), diameter 194,2 mm atau $57/8''$ dengan lubang tengah berdiameter 54,0 mm atau $21/8''$ 2.1.7. Torak penetrasi dari logam berdiameter 49,5 mm atau 1,95” luas 1935 mm² atau 3 inchi² dan panjang tidak kurang dari 101,6 mm atau 4”. SNI 03-1744-1989.
- f) Dua buah arloji pengukur penetrasi, dengan ketelitian 0,01 mm atau 0,001”.Peralatan lain seperti talam, alat perata, dan tempat untuk rendam. Alat timbang sesuai cara : Pengujian Pemadatan Ringan Untuk Tanah.

Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan CBR yaitu : 0,1” dan 0,2”. Dari kedua nilai perhitungan digunakan nilai terbesar dihitung dengan persamaan berikut:

Perhitungan : Penetrasi 0,1” (0,254 cm) → 1000 psi/ 3000 lbs 13,24 kN/ 6895 kPa

$$\text{CBR}(\%) = \frac{p_1}{1000} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Penetrasi 0,2” (0,508 cm) → 1500 psi/ 4500 lbs 19,96 kN/ 10,342

$$\text{kPa CBR}(\%) = \frac{p_2}{1000} \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana : P1 = Tekanan pada penetrasi 0,1 : (psi)

P2 = Tekanan pada penetrasi 0,2 : (psi)

1000 = Angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,1 in

1500 = Angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,2 in

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,1 ‘’} = \frac{A}{6895 \text{ kPa}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,2 ‘’} = \frac{B}{10342 \text{ kPa}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana : A = Pembacaan *dial* pada saat penetrasi 0,1”

B = Pembacaan *dial* pada saat penetrasi 0,2”

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR.