

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tanah**

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 diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995). Selain itu, tanah dalam pandangan teknik sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*).

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid (<0.002 mm) yang dikenal sebagai mineral lempung.

#### **2.2 Sifat-Sifat Tanah**

Di permukaan bumi ini, ada berbagai jenis tanah yang bisa ditemukan. Sifat tanah ini dibedakan dalam beberapa golongan, yakni sifat fisik tanah, sifat kimia tanah dan sifat biologi tanah.

##### **2.2.1 Sifat Fisik Tanah**

Sifat – sifat fisik tanah dapat dilihat dari beberapa hal, berupa tekstur tanah, struktur, konsistensi tanah, warna, suhu, lengas, permeabilitas tanah, porositas tanah dan juga drainase tanah.

## 1 Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan dari partikel debu, pasir, serta lempung dalam suatu massa tanah. Tekstur tanah ini sangat mempengaruhi kemampuan tanah dalam hal daya serap air, ketersediaan air dalam tanah, infiltrasi dan juga laju pergerakan air.

## 2 Struktur Tanah

Struktur tanah adalah susunan atau pengikatan dari butir-butir tanah yang membentuk agregat tanah dalam berbagai bentuk, ukuran serta kemantapannya. Di lahan yang berupa rawa atau gurun, struktur tanah ini kurang atau tidak terbentuk dikarenakan butiran tanahnya yang sifatnya tunggal atau tidak terikat satu sama lain.

Selain itu, struktur tanah ini juga bisa berubah dari struktur tanah aslinya dikarenakan tindakan manusia. Misalnya saja, kegiatan para petani dalam melakukan pembajakan, pemupukan, serta pengolahan tanah yang bisa mengubah struktur tanah aslinya.

## 3 Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah merupakan sifat fisik tanah yang menunjukkan besar kecilnya gaya kohesi dan adhesi tanah pada berbagai kelembapan. Sederhananya, konsistensi tanah bisa dipahami sebagai reaksi tanah ketika terdapat tekanan, seperti gejala gelincir, kegemburan, keliatan dan juga kelekatan tanah. Konsistensi tanah ini dipengaruhi oleh tekstur tanah, kadar bahan organik dari tanah, kadar koloid dan juga lengas tanah.

### **2.3 Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah itu sendiri adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah untuk membedakan tanah berdasarkan atassifat-sifat yang dimilikinya tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Dengan adanya sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat mengenai sifat-sifat umum tanah yang sangat

bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. Klasifikasi umumnya di dasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. 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 AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah *unified* (USCS).

#### a. Sistem Klasifikasi AASTHO

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) merupakan sistem klasifikasi yang dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Pada sistem klasifikasi AASTHO ini telah mengalami beberapa perbaikan, adapun yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145).

Sistem Klasifikasi AASTHO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

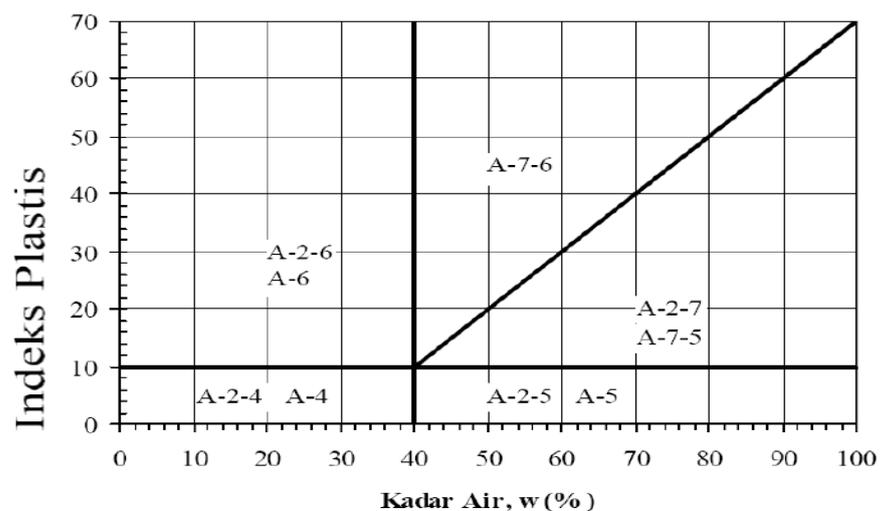
Pada sistem klasifikasi AASTHO ini bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

### 1) Ukuran Butir

- Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).
- Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).
- Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

### 2) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitasnya 11 atau lebih.



**Gambar 2.1 Nilai - Nilai Batas Atterberg Untuk Subkelompok Tanah**

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

**Tabel 2.1 Nilai - Nilai Batas Atterberg Untuk Subkelompok Tanah**

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 plastis (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	<b>Tanah berlempung</b>		
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

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

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

Sumber : Das, 1995.

#### b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh Casagrande dan kemudian dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). (ASTM) *American Society for Testing and Materials* telah memakai USCS sebagai metode standard untuk mengklasifikasikan tanah. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

- 1) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang kurang dari 50% tanah 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*), C untuk lempung inorganik (*inorganic clay*), O untuk lanau dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah W - untuk gradasi baik (*well graded*), P - gradasi buruk (*poorly graded*), L - plastisitas rendah (*low plasticity*) dan H - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

## 2.4 Jenis - Jenis Tanah

### 2.4.1 Tanah Keras

Tanah keras atau biasa disebut tanah lapisan bawah adalah lapisan tanah dengan ketebalan antara 50 – 60 cm, tanah ini lebih tebal daripada lapisan tanah atas. Tanah keras atau tanah lapisan bawah warnanya lebih cerah dan lebih padat dari padah tanah lapisan atas.

Cirri – ciri tanah keras :

1. struktur yang lebih keras daripada tanah lapisan atas
2. warnah lapisan tengah lebih terang dari lapisan atas
3. terdapatnya aliran air yang berada di lapisan tengah
4. kurang subur tetapi masih mengandung humus yang berasal dari lapis tanah atas

### 2.4.2 Tanah Sedang

Tanah bertekstur artinya tanah ini tersusun atas :

1. Tanah bertekstur sedang, mencakup tanah dengan tekstur lempung berdebu (*silty loam*), lempung berpasir sangat halus, lempung (*loam*), atau debu (*silt*).

2. Tanah bertekstur sedang tetapi agak kasar, mencakup tanah yang bertekstur lempung berpasir halus atau lempung berpasir (*sandy loam*).
3. Tanah bertekstur sedang dan agak halus, meliputi lempung liat dan berdebu (*sandy silt loam*), lempung liat berpasir (*sandy clay loam*), serta lempung liat (*clay loam*).

### 2.4.3 Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati – hati dapat menyebabkan masalah ketidak stabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut daya dukungnya rendah, kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Tanah lunak terbagi menjadi dua, yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut (Geoteknik 1 proses pembentukan dan sifat – sifat dasar tanah lunak, 2002).

Ciri – ciri tanah lunak :

1. Lanau (*Silt*), Tanah lanau memiliki daya dukung yang rendah dan memiliki kekuatan geser yang rendah dan memiliki permeabilitas yang tinggi sehingga penurunan konsolidasi terjadi begitu cepat.
2. Lempung (*clay*), Tanah lempung memiliki permeabilitas yang rendah, namun plastisitas tanah lempung tinggi. karena koefisien tanah lempung yang rendah

**Lempung** merupakan agregat pertikel yang berukuran mikroskopik yang bersifat plastis dengan permeabilitas sangat rendah. Jika dalam kering, lempung menjadi sangat keras

**Lempung Organik** merupakan lempung yang memiliki sifat fisik dan dipengaruhi dengan bahan organik. Rata-rata berwarna hitam atau abu-abu tua. penurunan konsolidasi tanah lempung sangat lama.

3. Tanah Organik (Tanah Gambut), Tanah organik biasanya berbau tumbuhan atau kayu yang sudah membusuk. Tanah disebut tanah gambut bila tingkat organiknya mencapai lebih dari 75% dan memiliki kadar air alamiah yang sangat tinggi. Tanah gambut merupakan salah satu tanah yang sulit sekali diperbaiki.
4. Tanah Berpasir, yang dalam keadaan lepas yang mempunyai nilai N-SPT kurang dari 10.

## 2.5 Kadar Air

Kadar air tanah dapat dinyatakan dalam persen volume yaitu persentase volume air terhadap volume tanah. Dalam penetapan kadar air yang terkandung dalam tanah, dapat dilakukan dengan mengeringkan tanah dalam oven pada suhu  $110^{\circ}$  C selama 24 jam. Air yang hilang karena pengeringan pada oven merupakan jumlah air yang terkandung dalam tanah tersebut.

Ukuran Butir maksimum yang digunakan pada pengujian kadar air tanah adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Ukuran Butir Tanah Maksimum

Ukuran Butir Maksimum	Berat Benda Uji Minimum	Ketelitian
-3/4	1000 Gram	1 Gram
-#10	100 Gram	0,1 Gram
-#40	10 Gram	0,01 Gram

## 2.6 Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran tanah dengan berat volume air dengan isi yang sama pada temperature tertentu. Berat jenis tanah dapat dinyatakan dengan persamaan.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$\gamma_s$  = Berat Volume Tanah; (gr/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = Berat Volume Air; (gr/cm<sup>3</sup>)

$G_s$  = Berat Jenis Tanah; (gr/cm<sup>3</sup>)

**Tabel 2.3** Berat jenis tanah

Jenis 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
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Untuk tanah mineral,  $\rho_s$  sering diasumsikan sekitar 2,65 g cm<sup>-3</sup> (Hillel, 1982). Akan tetapi, sebenarnya berat jenis partikel tanah sangat bervariasi tergantung kepada komposisi mineral tanah tersebut. Berikut ini diberikan contoh berat jenis partikel beberapa mineral (Blake, 1986):

**Tabel 2.4** Mineral tanah

Mineral/zat	$\rho_s$ (g cm <sup>-3</sup> )
Humus	1,3 – 1,5
Kuarsa	2,5 – 2,8
Kalsit	2,6 – 2,8
Gypsum	2,3 – 2,4
Mika	2,7 – 3,1
Hematit	4,9 – 5,3
Mineral liat	2,2 – 2,6

## 2.7 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah secara prinsip adalah suatu tindakan atau usaha yang dilakukan guna menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan gesernya. Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Adapun sifat tanah yang telah diperbaiki tersebut dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan. Teknologi stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 4 (empat) macam penggolongan utama, yaitu :

### 1. Physio - Chemical

Pencampuran tanah asli dengan semen, kapur ataupun aspal sebagai bahan pengikat partikel tanah.

### 2. Granulometric

Pencampuran tanah asli dengan tanah lain yang mempunyai sifat dan karakteristik yang lebih baik lalu dipadatkan dengan alat pemadat.

### 3. Physio - Mechanical

Pemadatan langsung dengan alat pemadat maupun aplikasi teknologi seperti cakar ayam, tiang pancang dan geomembran atau geotextile.

### 4. Electro – Chemical

Ionisasi partikel tanah dengan mencampurkan bahan kimia tertentu yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat buruk tanah, seperti kembang susut menjadi tanah yang mudah dipadatkan dan stabil secara permanen.

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

- a) Meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul,
- b) Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah,
- c) Menurunkan muka air tanah (drainase tanah), mengganti tanah yang buruk.

Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut :

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
  2. Bahan Pencampur (*Additiver*), yaitu penambahan kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir, dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu batubara, gamping dan/atau semen, semen aspal, sodium dan kalsium klorida, limbah pabrik kertas dan lain-lainnya
- Metode atau cara memperbaiki sifat – sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat – sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam additive untuk bereaksi.

## **2.8 Bahan Stabilisasi**

### **A. Limbah *Furnace***

Limbah *furnace* adalah ampas berupa batu kaca yang tersisah setelah logam yang didinginkan telah di pisah dari biji bahan baku logam tersebut. limbah *furnace* biasanya terdiri dari campuran logam oksida dan silikon dioksida namun juga dapat mengandung logam sulfida dan logam dasar namun juga bisa menghasilkan limbah padat non-logam sebagai hasil residu. Pada umumnya limbah padat non-logam ini berbentuk seperti agregat kasar dan memiliki karakteristik fisik yang bisa di lihat pada tabel. Terlihat bahwa limbah *furnace* dapat dimanfaatkan mulai dari bahan

konstruksi, pengolahan air limbah, pupuk dan bahan perbaikan tanah sampai proses pembuatan semen.

**Tabel 2.5** Karakteristik Limbah Furnace

Karakteristik	Aplikasi
Keras, tahan aus, adhesif, kasar	Agregat untuk konstruksi jalan
Berpori dan bersifat basa	Pengolahan air limbah, bahan komposit keramik-gelas
Senyawa FeO <sub>x</sub> dan unsur Fe	Proses <i>recovery</i> logam untuk produksi baja
Senyawa-senyawa oksida (CaO, MgO, FeO, MgO, MnO, SiO <sub>2</sub> )	Agen <i>flux</i> Penangkapan gas CO <sub>2</sub> dan desulfurisasi gas buang Bahan klinker semen Pupuk dan bahan perbaikan tanah
Bahan baku semen (C3S, C2S, and C4AF)	Produksi semen dan beton

(Sumber: *INDONESIAN IRON & STEEL INDUSTRY ASSOCIATION*)

## 2.9 Pengujian Pemadatan

Pengujian pemadatan dilaksanakan pada umumnya adalah untuk menentukan hubungan nilai kadar air dan berat volume serta untuk mengevaluasi tanah agar dapat memenuhi persyaratan kepadatan yang sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan.

Proctor (1933) telah melakukan pengamatan bahwa terdapat hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Pada umumnya untuk berbagai jenis tanah terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu dalam mencapai berat volume kering maksimum. Berat volum kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuk. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Pada uji Proctor, prinsip pengujiannya yaitu alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume  $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ . Tanah dalam *mould* tersebut dipadatkan dengan penumbuk dengan berat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm atau sejauh 1ft. Tanah dalam *mould*

dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisnya ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan. Pada uji proctor dimodifikasi (*modified Proctor*), *mould* yang digunakan masih tetap sama, aka tetapi berat penumbuknya yang diganti dengan 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm dan tanah dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan. Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan kemudian digambarkan dalam sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Untuk menentukan variasi kadar air ( $w$ ) dengan  $g_{zav}$ , maka dilakukan cara sebagai berikut :

- 1) Menentukan berat jenis tanah ( $G_s$ ) dari uji laboratorium.
- 2) Memilih kadar air ( $w$ ) tertentu.
- 3) Menghitung  $g_{zav}$  untuk beberapa nilai kadar air ( $w$ ) dengan persamaan

$$g_{zav} = \frac{G_s g_w}{1 + wG_s} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- $g_{zav}$  = Volume kering saat tanah menjadi jenuh
- $G_s$  = Berat jenis tanah
- $g_w$  = Berat volume air
- $w$  = Kadar air

## 2.10 Faktor Yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan

Selain kadar air, factor yang sangat mempengaruhi kepadatan adalah macam tanah dan energy pemadatan (energy per volume satuan).

### a. Pengaruh macam tanah

Berat volume maksimum dan kadar air optimumnya sangat dipengaruhi oleh jenis tanah seperti ukuran dan bentuk butiran, berat jenis serta jenis mineral lempung yang terkandung dalam tanah yang di uji. Pada pengujian tanah berlempung menurut prosedur pemadatan ASTM D-698, bentuk kurva hasil perhitungan mendekati bentuk lonceng (bel).

Pada tanah pasir, berat volume kering ( $g_d$ ) cenderung berkurang saat kadar air ( $w$ ) bertambah. Pengurangan tersebut akibat dari pengaruh hilangnya tekanan kapiler saat kadar air bertambah. Pada kadar air rendah, tekanan kapiler dalam tanah yang berada dalam rongga pori menghalangi kecenderungan partikel tanah yang bergerak, sehingga butiran cenderung merapat (padat).

### **b. Pengaruh usaha pemadatan**

Pada usaha pemadatan per volume satuan berubah, maka bentuk kurva hubungan kadar air terhadap berat volume kering juga berubah. Besarnya energi pemadatan dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Jika energi pemadatan ditambah, berat volume kering tanah juga bertambah.
- 2) Jika energi pemadatan ditambah, kadar air optimum berkurang.

Kedua hal tersebut berlaku untuk hampir semua jenis tanah namun yang perlu diperhatikan bahwa derajat kepadatan tidak secara langsung proporsional dengan energi pemadatan.

Sifat pengembangan tanah lempung akibat usaha pemadatan, akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum daripada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air. Oleh karena itu, lempung tersebut mempunyai kecenderungan yang lebih besar untuk menyerap air. Sebagai hasilnya dari sifat mudah mengembang lebih sensitif pada perubahan lingkungan seperti kadar air. Hal ini kebalikan pada tanah yang dipadatkan pada basah optimum akan mempunyai sifat mudah susut yang lebih besar.

## **2.11 Pengujian CBR**

Istilah CBR menunjukkan suatu perbandingan (ratio) antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam (luas penampang 3 sqinch) ke dalam tanah untuk mencapai penurunan (penetrasi) tertentu dengan

beban yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991). Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang biasa dikenal adalah cara CBR (California Bearing Ratio). Metode ini dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (subgrade).

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Sedangkan, nilai CBR yang didapat akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang mempunyai nilai CBR tertentu. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dari nilai CBR digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas. Berikut merupakan grafik untuk menentukan korelasi antara nilai CBR dan nilai Daya dukung tanah (DDT).

### **2.11.1 Jenis-Jenis CBR**

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas :

#### **a. CBR Lapangan**

CBR lapangan disebut juga CBR inplace atau field inplace dengan kegunaan sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.
2. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan ini tidak umum digunakan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

### b. CBR Laboratorium

Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. CBR ini disebut CBR Laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium. Pemeriksaan CBR laboratorium dilaksanakan dengan dua macam metode yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*) (Sukirman, 1992). Hal yang membedakan pada dua macam metode tersebut adalah contoh tanah atau benda uji sebelum dilakukan pemeriksaan CBR.

1. CBR Laboratorium Rendaman (*Soaked Design CBR*)
2. CBR Laboratorium Tanpa Rendaman (*Unsoaked Design CBR*)

#### 2.11.2 Pengujian Kekuatan Dengan CBR

Pada pengujian kekuatan dengan CBR, jumlah penambahan air diperoleh dari hasil pengujian dan perhitungan kadar air optimum pada pengujian pemadatan (*Compaction Test*). Untuk sampel pengujian kekuatan CBR dengan berat sampel material 6800 gram dan menggunakan mould 6" dapat dihitung dengan rumus

$$\text{Penambahan air} = W_s \times W \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$W_s$  = Berat sampel tanah CBR (gram)

$W$  = Kadar air optimum (%)

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, Proving Ring digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur

dengan arloji pengukur (dial). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2”, yaitu dengan rumus

$$\begin{aligned} \text{Nilai CBR pada penetsai 0,1"} &= \frac{A}{3000} \times 100\% \\ \text{Nilai CBR pada penetsai 0,2"} &= \frac{B}{4500} \times 100\% \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

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.

## 2.12 Spesifikasi Lapisan Tanah Dasar

Spesifikasi merupakan bagian penting dalam suatu proyek pekerjaan yang memuat semua peraturan dan ketentuan mengenai pekerjaan baik dari persiapan pekerjaan, pelaksanaan sampai akhir pekerjaan. Dalam persiapan pekerjaan tanah, terdapat persyaratan bahan ditentukan dalam spesifikasi umum Bina Marga dalam seksi Bahan dan seksi pengendalian mutu. Persyaratan bahan tersebut dapat dilihat pada table berikut :

**Tabel 2.6** Persyaratan bahan timbunan biasa

Sifat - Sifat	s/d 30 cm dibawah subgrade	>30 cm dibawah subgrade
Klasifikasi tanah	Bukan A-7-6 atau CH	-
CBR(SNI 03-1744-1989) pada kepadatan ringan 100% (SNI 03-1742-1989)	≥6%	-
Nilai keaktifan = indeksPlastisitas /% lolos No. 200	<1,25	<1,25
Kepadatan (SNI 03-2828-1992)	≥100%	≥95%

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Lubis Kamaluddin (2020), dengan judul penelitian “Pemanfaatan Limbah Baja (Slag Baja) Sebagai Bahan Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall” pada penelitian ini peneliti menggunakan slag baja (steel slag) dipakai sebagai filler pada campuran laston yaitu lolos pada saringan No. 200. Dengan persentase 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% sudah memenuhi spesifikasi Marshall dengan hasil 1230,215 kg, 1164,295 kg, 980,234 kg, 1147,173 kg dan 1147,173 kg.

M. Yahya (2013), dengan judul penelitian “Pemanfaatan Limbah Industri Baja (Blast Furnace Iron Slag) Sebagai Bahan Bangunan” peneliti mendapatkan hasil dengan komposisi 0% : 100%. Dengan hasil nilai yang maksimal 20,49 Mpa dengan nilai porositas terendah 0,74 %

Linawati Linawati, Tri Sulistyowati, Ismail Hhoesain Muchtaranda dengan judul penelitian “Analisi Modulus Geser Maksimum Tanah Lempung Ekspansif Dengan Perkuatan Serat Ijuk Berdasarkan Metode Empiris” Hasil secara empiris menunjukkan bahwa tanah lempung ekspansif Desa Tanak Awu mempunyai (berturut-turut adalah = 78,90 kPa; 109,77 kPa; 116,16 kPa; 123,86 kPa; 129,94 kPa; 139,30 kPa, dengan prosentase serat berturut-turut (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%). Sedangkan dari uji geser langsung tanah lempung ekspansif Desa Tanak Awu mempunyai ( berturut-turut adalah = 78,30 kPa; 97,90 kPa; 101,20 kPa; 109,60 kPa; 115,70 kPa; 138,60 kPa, dengan presentase serat berturut-turut (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%).