

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Tanah

##### 3.1.1 Komposisi Tanah dan Klasifikasi

Dari berbagai campuran partikel tanah yang ada dipermukaan bumi, terdapat beberapa jenis tanah yang kita ketahui :

1. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.
2. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), yaitu partikel batuan yang berukuran 0,075 sampai 2 mm. Dengan gradasi kasar sampai 2 mm, hingga gradasi halus yang berukuran kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074. *Deposit loose* terjadi bila angin mengangkut partikel lanau ke suatu lokasi. Angkutan oleh angin ini dapat membatasi ukuran partikel yang dibawanya sehingga dihasilkan *deposit* lanau yang homogen.

5. Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), yaitu partikel tanah yang diam dalam arti merupakan partikel tanah yang dianggap paling kecil, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Apabila dalam suatu *deposit* partikel tanah tersebut terdapat jumlah partikel terbanyak, maka *deposit* diberi nama sesuai dengan jumlah partikel terbanyak yang dikandungnya. Misalnya dalam *deposit* tersebut lebih dominan partikel pasir, maka tanah ini disebut tanah berjenis pasir. Demikian juga untuk tanah lainnya. Tabel 3.1 menyajikan jenis tanah beserta ukuran parameter butirannya.

Tabel 3.1 Jenis tanah dan ukuran butirnya menurut AASHTO 1982

No	Jenis Tanah	Diameter butiran (mm)
1	Tanah berbutir kasar	
	a. kerikil	76,2 - 2
	b. pasir	2 - 0,075
2	Tanah berbutir halus	
	a. lanau	0,075 - 0,002
	b. lempung	< 0,002

Sumber : Das,1988.

Klasifikasi tanah sistem AASHTO membagi tanah menjadi 8 kelompok, A-1 sampai A-8, termasuk sub-sub kelompok. Tabulasi klasifikasi sistem

AASHTO disajikan pada tabel 3.2 . Jenis A-8 yaitu gambut yang ditentukan dengan spesifikasi visual dan tidak diperhatikan dalam tabel.

Tabel 3.2 Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar jalan raya (system AASHTO)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Mak 10	Mak 35	Mak 35	Mak 35	Mak 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plstisitas (PL)	Maks 6		NP	Mak 40 Mak 10	Min 41 Mak 10	Mak 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau-lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (%) lolos No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

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

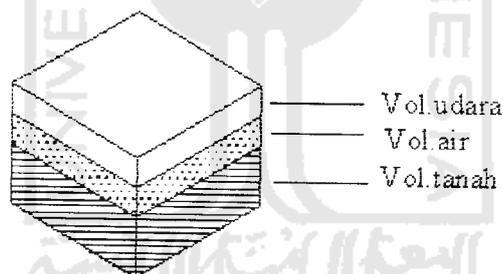
\*\* untuk A-7-6,  $PI \leq LL - 30$

Sumber : Das, 1988

### 3.1.2 Hubungan Antara Fase Tanah

Pemeriksaan visual pada tanah akan memperlihatkan tanah itu terdiri dari :

1. Pori atau ruang kosong (*voids*), yang merupakan ruang-ruang terbuka antara butir-butir tanah, dengan berbagai ukuran.
  2. Butir-butir tanah, mungkin makroskopis atau mikroskopis dalam ukurannya
  3. Kelembaban tanah, yang akan menyebabkan tanah terlihat basah, lembab ataupun kering. Air di dalam pori atau ruang kosong tadi, atau disebut air pori, mungkin ada dalam kuantitas yang cukup untuk memenuhi ruang kosong itu, atau mungkin hanya mengisi ruang kosong itu sebagian saja.
- Hubungan antara fase tanah digambarkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Fase Tanah

Sumber : Bowles, 1991

Dari Gambar 3.1 diterangkan beberapa istilah sebagai berikut :

1. Angka pori (*void ratio*)  $e$ , dihitung sesuai persamaan 3.1

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.1)$$

dengan :  $V_v$  = volume rongga/ *void*

$V_s$  = volume butiran tanah

2. Porositas (*porosity*)  $n$ , dihitung sesuai persamaan 3.2

$$n = (V_v / V_T) \times 100 \quad (3.2)$$

dengan :  $V_t$  = volume total

3. Kadar air (*water content*)  $w$ , dihitung sesuai persamaan 3.3

$$w = (W_w / W_s) \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan :  $W_w$  = berat air

$W_s$  = berat butiran tanah

4. Derajat kejenuhan (*degree of saturation*)  $S$ , dihitung sesuai persamaan 3.4

$$S = (V_w / V_v) \times 100\% \quad (3.4)$$

Dengan :  $V_w$  = volume air

5. Berat jenis (*specific gravity*)  $G$

$$G = \frac{\text{berat volume satuan suatu material}}{\text{berat volume satuan air pada } 4^\circ \text{C}} \quad (3.5)$$

Berat jenis butir tanah  $G_s$  dihitung sesuai persamaan 3.6

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (3.6)$$

Dengan :  $\gamma_s$  = berat volume tanah

$\gamma_w$  = berat volume air

### 3.1.3 Tanah Kohesif dan Tidak Kohesif

Apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pada massa butir-butir tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering tersebut, maka tanah tersebut disebut *kohesif*. Apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya

bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan didalam air, maka tanah ini disebut tidak *kohesif*.

### 3.1.4 Batas Konsistensi Tanah

Batas-batas konsistensi tanah yang dikemukakan oleh A. Atterberg (1911) didasarkan kepada kadar air, yaitu:

1. Batas cair / *liquid limit* ( $w_L$ )

Kadar air dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah akan bersifat sebagai cairan kental (campuran tanah-air tanpa kuat geser yang dapat diukur). Dalam teknik batas cair ini didefinisikan secara kasar sebagai kadar air dimana 25 kali pukulan oleh alat batas cair akan menutup celah (*groove*) standar yang dibuat pada lempengan tanah untuk panjang 12,7 cm.

2. Batas plastis / *plastic limit* ( $w_p$ )

Kadar air dimana untuk nilai-nilai dibawahnya tanah tidak lagi bersifat sebagai bahan yang plastis. Tanah akan bersifat sebagai bahan yang plastis untuk kadar air yang berkisar diantara  $w_L$  dan  $w_p$ . Kisaran ini disebut indeks plastisitas. Batas plastis secara kasar ditetapkan sebagai kadar air dimana selapis tanah yang digulung sampai diameter 3 mm tepat akan putus atau terpisah/ retak-retak.

3. Batas susut / *shrinkage limit* ( $w_s$ )

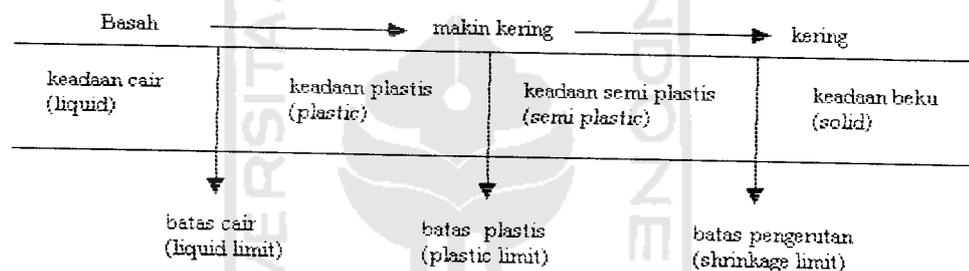
Kadar air yang didefinisikan untuk derajat kejenuhan = 100 persen, dimana untuk nilai-nilai dibawahnya tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan lagi.

4. Batas lengket / *sticky limit*

Kadar air dimana suatu tanah kehilangan sifat adhesinya dan tidak dapat lengket lagi kepada obyek-obyek lainnya seperti jari atau permukaan yang halus dari logam spatula.

5. Batas kohesi / *cohesion limit*

Kadar air dimana butir-butir tanah tidak dapat bersatu lagi, yaitu dimana pengambilan tanah tidak dapat menghasilkan lempengan-lempengan yang bersatu. Batas konsistensi tanah digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Batas Konsistensi Tanah

Sumber : Wesley, 1977

### 3. 2 Sifat-Sifat Tanah Berbutir Halus

Pada tanah berbutir halus khususnya lempung, hampir selalu terhidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut air teradsorpsi. Lapisan air ini dapat hilang pada temperatur antara  $60^{\circ} - 100^{\circ} \text{C}$  dan akan mengurangi plastisitas alamiah (sekitar 6% - 10%) dari tanah. Sebagian air ini dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja. Sifat plastisnya dapat dikembalikan dengan mencampur air dalam jumlah yang cukup, namun apabila dehidrasi terjadi pada suhu yang lebih tinggi sifat plastisnya akan turun dan berkurang selamanya.

Oleh karena itu pada tanah berbutir halus atau lempung, daya dukungnya menjadi kurang baik. Sehingga sangat diperlukan perbaikan atau lebih dikenal dengan istilah stabilisasi tanah, agar tanah jenis ini dapat dijadikan bahan tanah urugan yang mampu menahan beban di atasnya.

### 3.3 Sifat bahan *Clean Set Cement*

*Clean Set Cement* adalah suatu jenis bahan kimia yang diproduksi oleh pabrik, berfungsi untuk memperbaiki atau menstabilkan tanah lunak, endapan lumpur dan lain-lain. Adapun bahan dasar dari *Clean Set Cement* terdapat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.3. Komposisi kimia *Clean Set Cement*

Komponen	% berat
SiO <sub>2</sub>	15.09 – 21.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.25 – 7.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.03 – 4.26
CaO	53.26 – 65.90
MgO	1.77 – 3.22
SO <sub>3</sub>	1.52 – 9.87

Sumber : PT. Indo Clean Set Cement, 1990

Apabila dicampur dengan tanah, maka *Clean Set Cement* akan menurunkan kadar air tanah, itu disebabkan *Clean Set Cement* mampu mengikat molekul air. *Clean Set Cement* juga mampu meningkatkan atau menambah kekuatan tanah. Ada tiga jenis *Clean Set Cement* yaitu :

1. Seri CS-10 yang digunakan untuk tanah berpasir, lempung alluvial, tanah laterit dan tanah lempung

2. Seri CS-20 yang digunakan untuk tanah organik seperti tanah gambut.
3. Seri CS-60 yang digunakan untuk lempung expansif.

### 3.4 Pasir

Pasir merupakan bahan batuan berukuran kecil, menurut AASHTO ukuran butirnya antara 0,075 – 2 mm, butiran tanah yang lolos saringan No.10 dan tertahan saringan No.200 kurang dari 35 %. Pasir dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alam dari batuan-batuan, atau berupa pasir pecahan batu yang dihasilkan alat/mesin pemecah batu.

### 3.5 Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Abu sekam padi merupakan abu yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi. Jika sekam padi (kulit padi yang dipakai setelah proses penggilingan) dibakar dalam kondisi terkontrol, abu sekam yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran, memiliki sifat *pozzolanik* yang tinggi, karena kandungan silikanya ( $\text{SiO}_2$ ). Proses pembakaran sekam padi sampai menjadi abu, membantu menghilangkan kandungan kimia organik dan meningkatkan silica ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup banyak. Perlakuan panas terhadap silica dalam sekam berakibat pada perubahan struktur yang berpengaruh terhadap aktifitas *pozzolan* abu dan kehalusan butiran.

Silica merupakan senyawa pokok *RHA* yang dapat bereaksi dengan kapur yang menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat (C-S-H) yang berbentuk gel, menghasilkan reaksi pengikatan kapur bebas, sisa proses hidrasi air dan semen. Komposisi dari abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.4 Komposisi abu sekam padi (Swamy, 1986)

Komposisi kimia	Jumlah (% berat)
SiO <sub>2</sub>	92,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21
CaO	0,41
MgO	0,45
Na <sub>2</sub> O	0,08
K <sub>2</sub> O	2,31

Sumber : Swamy, 1986

Jika sekam padi dibakar dalam kondisi terkontrol *RHA* yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran, mempunyai sifat *pozzolan* yang tinggi dan baik digunakan dalam campuran pozzolan kapur dan sebagai pengganti semen, karena kandungan silikanya.

### 3. 6 Stabilisasi Tanah

Apabila suatu tanah yang terdapat dilapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, mempunyai permeabilitas yang terlalu tinggi, atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus di stabilisasikan. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut :

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi dan/atau tahanan geser yang timbul

3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan –perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah.
4. Merendahkan muka air (drainase tanah)
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan berikut:

1. Secara mekanis, pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Penambahan bahan pencampur (*additives*), misalnya kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir kasar, dan pencampur kimiawi seperti semen portland, gamping , abu batu bara – sering dengan gamping dan/atau semen portland, semen aspal, sodium, dan kalsium klorida, limbah-limbah pabrik kertas, dan lainnya (sodium silikat, polifosfat, dan sebagainya).

### 3. 7 Pemadatan Tanah

Pemadatan (*compaction*) adalah usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antara partikel tanah sehingga terjadi reduksi volume udara dengan menggunakan energi mekanis. Umumnya makin tinggi derajat pemadatan, makin rendah kemampuan tanah tersebut untuk terus memadat. Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan kerapatan kering (*dry density*), yaitu massa partikel padat persatuan volume tanah.

Adapun tujuan pemadatan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dari usaha pemadatan ini antara lain :

1. pengurangan penurunan tanah (*subsidence*) akibat gerakan –gerakan vertikal didalam massa tanah sendiri, akibat berkurangnya angka pori.
2. bertambahnya kekuatan tanah
3. pengurangan penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

Dalam pemadatan ini akan dihasilkan grafik atau kurva hubungan antara berat isi kering ( $\gamma_d$ ) dengan kadar air yang diberikan secara teratur pada waktu dilakukan pemadatan tanah berikutnya. Setelah terbentuk grafik tersebut dapat dilihat berapa kadar air optimum yang dimiliki oleh tanah yang telah dipadatkan. Pada keadaan ini telah mencapai kepadatan tanah yang maksimum.

Adapun parameter yang perlu diketahui dalam pemadatan tanah adalah sebagai berikut :

1. Kadar air ( $w$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran tanah ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut, yang dinyatakan dalam persen (persamaan 3.3).
2. Berat volume basah ( $\gamma_b$ ), didefinisikan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ), dapat dihitung dengan persamaan 3.7.

$$\gamma_b = W / V \quad (3.7)$$

3. Berat volume kering ( $\gamma_d$ ), didefinisikan sebagai perbandingan berat butiran tanah ( $W_s$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ), dapat dihitung dengan persamaan 3.8.

$$\gamma_d = W_s / V \quad (3.8)$$

4. Berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ), dapat dihitung dengan persamaan 3.9.

$$\gamma_s = W_s / V_s \quad (3.9)$$

5. Berat jenis tanah (*specific gravity*),  $G_s$  didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur  $4^{\circ}$  C (persamaan 3.5).

### 3.8 Pengujian CBR

Uji CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai pada pembuatan perkerasan jalan raya. Prinsip pengujian CBR adalah dengan menembus sampel tanah dengan kepadatan tertentu dalam suatu tabung dengan menggunakan alat penekan standar. Alat penembus /penetrasi yang digunakan adalah sebuah piston bertampang bulat dengan luas  $3 \text{ in}^2$ . Kecepatan penetrasi dilakukan secara konstan sebesar  $0,05 \text{ in per menit}$ . Pengukuran harga CBR diukur pada waktu piston masuk sedalam  $2,50 \text{ mm}$  dan  $5,00 \text{ mm}$  ( $0,1 \text{ inch}$  dan  $0,2 \text{ inch}$ ). Kemudian dibuat gambar grafik hubungan antara beban penetrasi dengan besarnya penetrasi, dimana besarnya penetrasi sebagai absis dan beban

penetrasi sebagai ordinat. Grafik yang tadinya tidak lurus perlu dikoreksi dari titik awal.

Nilai CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100% dalam memikul beban lalu-lintas. Pengujian CBR pada penelitian ini menggunakan contoh tanah dalam keadaan air optimum yang diperoleh dari pengujian pemadatan.

### 3.9 Uji Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas adalah bentuk khusus yang dilakukan terhadap sampel tanah lempung. Tujuan pengujian adalah untuk menentukan kuat tekan bebas ( $q_u$ ), kohesi tanah ( $c$ ), serta menentukan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ).

Kuat tekan bebas ( $q_u$ ) adalah besarnya tekanan aksial ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) yang diperlukan untuk menekan silinder tanah hingga mencapai keruntuhan atau besarnya tekanan yang memberikan perpendekan tanah hingga mencapai 20% apabila hingga 20% tanah tersebut tidak mengalami keruntuhan.

Besarnya kuat tekan bebas ( $q_u$ ), kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ditentukan dengan persamaan 3.7, 3.8 dan 3.9.

$$q_u = \frac{P}{A} \quad (3.7)$$

$$c = \frac{q_u}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \quad (3.8)$$

$$\phi = (\alpha - 45) \times 2 \quad (3.9)$$

dengan :

- $P$  = gaya aksial tekan bebas (kg)
- $\alpha$  = sudut keruntuhan tanah ( $^{\circ}$ )
- $A$  = luas penampang benda uji ( $\text{cm}^2$ )
- $c$  = kohesi ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- $\phi$  = sudut geser dalam tanah ( $^{\circ}$ )

Ukuran daya tarik diantara partikel-partikel tanah yang kohesif disebut kohesi (simbol  $c$ ). Begitu pula halnya tahanan terhadap perpindahan relatif dalam tanah yang tidak kohesif disebut geser. Geser yang dimaksud disini adalah gaya geser dan sudut geser dalam dari tanah ( $\phi$ ). Nilai batas yang lebih rendah untuk pasir, kerikil, atau campuran pasir kerikil dapat diperkirakan dari sudut yang terbentuk apabila bahan tadi dicurahkan dengan teliti menjadi suatu tumpukan, dan mengukur sudut yang dihasilkan oleh kemiringan curahan tersebut.

Tahanan terhadap perpindahan partikel, atau kekuatan geser juga tergantung kepada bagaimana partikel itu tersusun (kerapatan), pengujian antar partikel (bentuk), derajat kekangan, derajat kegemukan, dan faktor-faktor lainnya. Kohesi dan geser itu sebenarnya merupakan akumulasi statistik dari pengaruh yang terlihat untuk keadaan tanah pada saat itu, dan dalam kondisi pengukuran atau prosedur pengujian.