

## BAB 3

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Tanah

Tanah merupakan campuran mineral, bahan organik, dan endapan lepas yang terbentuk di atas batuan dasar. Tanah berasal dari pelapukan batuan induk melalui proses fisik maupun kimiawi. Proses fisik menghasilkan partikel kecil akibat erosi atau cuaca, sedangkan pelapukan kimiawi membentuk partikel koloid ( $< 0,002$  mm) yang dikenal sebagai mineral lempung (Muchui Mugambi dkk., 2024). Tanah memiliki butiran padat dan rongga pori. Rongga pori pada tanah yang tidak jenuh air memiliki udara dan air, tetapi pada tanah yang jenuh air, rongga pori tersebut penuh dengan air (Hardiyatmo., 2022).

Tanah selain memiliki fungsi sebagai bahan bangunan juga berfungsi sebagai pendukung pondasi. Pelapukan batuan menghasilkan butiran mineral yang membentuk bagian padat tanah (Zaliha dkk., 2020). Semua butiran padat memiliki ukuran yang berbeda, dan variabel seperti ukuran, bentuk, dan komposisi kimia dari butiran tersebut sangat memengaruhi sifat fisik tanah (L Braja dkk., 2020).

Menurut (L Braja dkk., 2020) Secara umum, tanah dikategorikan berdasarkan ukuran partikel yang paling dominan di dalamnya:

- a. Kerikil (*Gravel*), Material berupa pecahan batuan dan partikel mineral dengan ukuran antara 5 mm hingga 150 mm..
- b. Pasir (*Sand*) Tersusun dari mineral kuarsa, feldspar, dan fragmen batuan dengan ukuran antara kurang dari 1 mm hingga 5 mm
- c. Lanau (*Silt*) adalah Partikel halus berukuran 0,002–0,074 mm, terdiri dari kuarsa dan partikel pipih mikroskopis.
- d. Lempung (*Clay*), Berisi partikel sangat halus ( $< 0,002$  mm) seperti mika dan mineral lempung. Bersifat ekspansif jika mengandung mineral natrium karena daya serap airnya tinggi.

Lempung terbentuk dari kombinasi aluminosilikat hidrat dan ion logam, Tanah ekspansif yang mengandung mineral natrium memiliki daya serap air tinggi sehingga mengalami peningkatan volume (Al-naje dkk., 2020).

## 3.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan metode untuk mengelompokkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan penggunaannya. Sistem ini dirancang agar mudah dipahami, serta memberikan gambaran umum tentang karakteristik tanah tanpa memerlukan penjelasan secara mendetail (L Braja dkk., 2020). Dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan adalah Sistem Unified (USCS) dan AASHTO. Keduanya menggunakan parameter indeks tanah sederhana, seperti distribusi ukuran butir, batas cair, dan indeks plastisitas. Namun, sistem AASHTO lebih difokuskan untuk kebutuhan perencanaan dan pembangunan jalan raya (Hardiyatmo., 2022).

### 3.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)

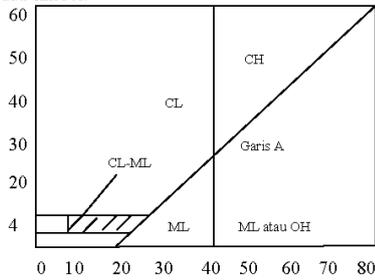
Sistem ini diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk mendukung pembangunan lapangan terbang oleh *Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Pada tahun 1952, sistem ini disempurnakan melalui kolaborasi dengan *United States Bureau of Reclamation* (L Braja dkk., 2020).

Menurut (L Braja dkk., 2020) Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kategori utama, yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar (*Coarse-Grained Soil*) mencakup pasir dan kerikil, dengan kandungan partikel yang lolos ayakan No. 200 kurang dari 50%. Simbol klasifikasinya diawali huruf G untuk kerikil (*gravel*) dan S untuk pasir (*sand*).
- b. Tanah Berbutir-Halus (*Fine-Grained Soil*), merupakan jenis tanah yang lebih dari 50% berat totalnya lolos ayakan No. 200. Pada klasifikasi ini, simbol PT digunakan untuk gambut, *muck*, dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Huruf M menunjukkan jenis lanau atau lempung anorganik, sedangkan huruf O digunakan untuk lanau dan lempung organik.

Selain itu juga pada klasifikasi tanah USCS terdapat tanah dengan kandungan organik yang sangat tinggi, yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuhan yang terkandung didalamnya seperti gambut (*peat*) yang disimbolkan dengan PT, *muck* (tanah rawa) dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi (Sukirman., 1992).

**Tabel 3.1 Klasifikasi USCS**

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi			
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% ≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol		
			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 ≥ 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	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
				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	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung			
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 	
				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 ≥ 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )				
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi				
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488			

(Sumber: Hardiyatmo, 1996)

### 3.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) digunakan terutama untuk pekerjaan konstruksi jalan,

seperti *subgrade*, *base*, dan *sub-base*. Tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok (A-1 hingga A-7) berdasarkan ukuran butiran dan batas *Atterberg*. Kelompok A-1 hingga A-3 mencakup tanah granuler, sedangkan A-4 hingga A-7 terdiri dari lanau dan lempung yang lolos saringan No. 200 (Hardiyatmo., 2022). Menurut (L Braja dkk., 2020) sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria berikut:

a. Ukuran butiran

Kerikil merupakan partikel tanah yang berukuran antara 75 mm hingga 2 mm, tertahan di saringan No. 20. Pasir berukuran antara 2 mm hingga 0,075 mm, tertahan di saringan No. 200. Adapun lanau dan lempung merupakan partikel halus yang lolos dari saringan No. 200.

b. Plastisitas

Penamaan "berlanau" diberikan pada tanah yang memiliki fraksi halus dengan indeks plastisitas (*Plasticity Index/PI*) sebesar 10 atau kurang. Sebaliknya, jika fraksi halus tersebut memiliki indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih, maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai "berlempung".

Jika terdapat batuan berukuran lebih dari 75 mm dalam sampel tanah yang akan diklasifikasikan, maka batuan tersebut harus disingkirkan terlebih dahulu. Meskipun demikian, persentase batuan yang dikeluarkan tetap harus dicatat dan dilaporkan.

**Tabel 3.2** Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (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 lolo saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastisitas (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Catatan:  
 Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)  
 Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5  
 Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6  
 Np = Nonplastis

(Sumber: Braja M.Das, 1996)

### 3.3 Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) dalam tanah, yang dinyatakan dalam bentuk persentase (Hardiyatmo, 2002).

$$\text{Kadar Air Tanah } (w) = \left( \frac{\text{Berat Air } (W_w)}{\text{Berat Tanah } (W_s)} \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\text{Kadar Air} = \left( \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

Tanah lebih mudah dipadatkan pada kadar air tertentu karena air membantu merapatkan butir tanah, namun kelebihan air dapat menurunkan kepadatan maksimum. Hanya udara yang dapat dikurangi dari volume tanah selama pemadatan jika volume air meningkat, kepadatan tanah yang paling besar akan berkurang. Tanah yang terlalu jenuh air sulit dipadatkan. Kadar air ideal menghasilkan pemadatan maksimal dan berat volume kering tertinggi pada tiap jenis tanah (Sihotang dkk., 2023). Disarankan untuk menggunakan air murni saat melakukannya, seperti saat mengerjakan beton; air tidak boleh mengandung alkali, garam, atau bahan organik yang berlebihan. Kadar air dihitung berdasarkan persyaratan kepadatan. Air yang diperlukan untuk menghidrasi hanya sekitar 1/4 berat semen yang diperlukan. Semen biasanya dipadatkan untuk mengurangi sedikit kepadatan tanah setelah ditambahkan. Pengaruh sekunder dari kadar air terkait dengan penghancuran tanah (Hardiyatmo., 2022).

### 3.4 Berat Jenis Tanah

Berat spesifik tanah, biasanya ditunjukkan dalam satuan tanpa dimensi, adalah rasio massa jenis partikel tanah (massa per unit volume) terhadap massa jenis air pada suhu tertentu. Ini adalah ukuran kerapatan partikel padat tanah tanpa memperhitungkan ruang kosong di antara mereka. Nilai ini tidak hanya memberikan informasi tentang jenis mineral dan komposisi tanah, tetapi juga membantu dalam menghitung sifat tanah lainnya seperti volume kosong dan kapasitas dukung (Hardiyatmo, 2002). Secara berat jenis tanah dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{W_t}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.3)$$

$$W_t = W_2 - W_1 \quad (3.4)$$

Dimana:

Gs = Berat Jenis tanah ( $\text{g/cm}^3$ )

Wt = Berat tanah (gram)

W1 = Berat piknometer (gram)

W2 = Berat piknometer + contoh (gram)

W3 = Berat piknometer + air + tanah pada *temperature* 20°C (gram)

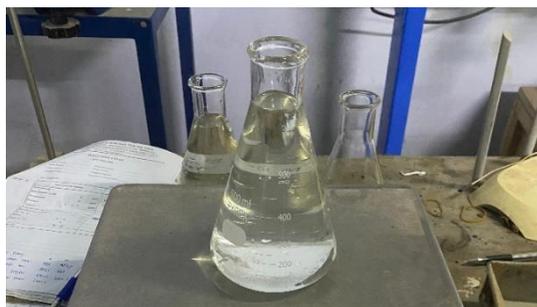
W4 = Berat piknometer + air pada 20°C (gram)

**Tabel 3.3** Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
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, 2002)

Standar SNI 1964-2008 mengatur prosedur pengujian untuk menentukan berat jenis tanah yang lolos saringan 4,75 mm (No. 4) menggunakan alat piknometer. Nilai berat jenis tanah ini memengaruhi berbagai faktor, seperti kekuatan tanah, berat jenis tanah itu sendiri, serta proses sedimentasi dan pergerakan partikel oleh air.



**Gambar 3.1** Alat *Piknometer*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

### 3.5 Batas-Batas *Atterberg* (*Atterberg* Limit)

Konsistensi tanah kohesif pada kondisi ini biasanya digambarkan dalam istilah lunak, sedang, atau kaku. Secara umum, tanah kohesif (seperti lempung) akan

menjadi lebih lunak seiring dengan meningkatnya kadar air. Tiga parameter kadar air penting untuk menggambarkan perilaku tanah berbutir halus, yaitu kadar air alami, batas cair, dan batas plastis. Atterberg (1991) mengklasifikasikan kondisi fisik tanah lempung pada kadar air tertentu menjadi empat, yakni Padat, Semi Padat, Plastis, dan Cair. Perbedaan kondisi ini ditentukan oleh Batas Susut (*Shrinkage Limit/SL*), Batas Plastis (*Plastic Limit/PL*), dan Batas Cair (*Liquid Limit/LL*), yang dikenal sebagai Batas-Batas *Atterberg* (Hardiyatmo, 2002).

### 3.5.1 Batas Cair

Batas cair merupakan kadar air pada titik peralihan antara keadaan plastis dan cair, yang menandai batas atas dari daerah plastis tanah (Hardiyatmo., 2002). Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan kadar air pada titik di mana tanah berubah dari keadaan semi-cair menjadi plastis. Batas cair juga berfungsi sebagai penentu kadar air pada sampel tanah (Pertwi dkk., 2023). Hasil uji batas cair digunakan untuk menentukan konsistensi, perilaku material, dan sifat tanah kohesif. Konsistensi tanah sangat dipengaruhi oleh nilai batas cair, yaitu kadar air pada titik peralihan antara kondisi cair dan plastis. Tanah dianggap berada pada batas cair jika, saat diuji dengan alat Cassagrande, dua bagian tanah yang terpisah oleh alur selebar 2 mm dapat menutup kembali sepanjang 12,7 mm setelah menerima 25 pukulan dengan frekuensi 2 pukulan per detik (SNI 1967-2008).



**Gambar 3.2** Alat *Cassagrande*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Menurut (Hardiyatmo., 2002) *Waterways Experiment Station* di *Vicksburg, Mississippi*, pada tahun 1949 mengusulkan persamaan Cassagrande untuk menentukan batas cair tanah sebagai berikut:

$$LL = W_N \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \text{ atau } LL = k \cdot W_n \quad (3.5)$$

Dengan

LL = Batas cair terkoreksi untuk tertutupnya alur pada 25 pukulan (%)

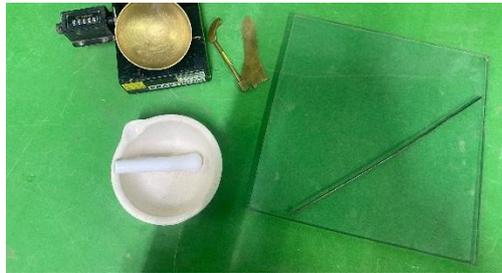
N = Jumlah pukulan sampai tertutupnya alur pada kadar air tertentu

$W_N$  = Kadar Air (%)

K = Faktor Koreksi Yang Terdapat Pada (SNI 1967:2008)

### 3.5.2 Batas Plastis

Batas plastis adalah kadar air minimum di mana tanah berubah dari kondisi plastis menjadi semi-padat. Nilai ini diperoleh saat silinder tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak saat digulung (Hardiyatmo., 2002).



**Gambar 3.3** Alat Uji Batas Plastis

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah dalam persen pada batas antara kondisi plastis dan semi-padat (Pertiwi dkk., 2023). Berikut adalah rumus untuk menghitung batas plastis:

$$\text{Batas Plastis} = \frac{\text{Massa Air}}{\text{Massa Tanah Kering}} \times 100\% \quad (3.6)$$

Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*, PI) adalah selisih antara batas plastis dan batas cair tanah, yang menggambarkan rentang kadar air di mana tanah mempertahankan sifat plastisnya yang menunjukkan seberapa mudah tanah dapat mengalami deformasi tanpa retak (L Braja dkk., 2020). Berikut persamaan indeks plastisitas.

$$PI = LL - PL \quad (3.7)$$

Indeks Plastisitas (PI) menunjukkan seberapa plastis suatu tanah. Tanah dengan nilai PI yang tinggi mengandung banyak butiran lempung dan memiliki

kemampuan plastisitas yang lebih besar. Sebaliknya, tanah dengan nilai PI yang rendah, seperti tanah lanau, dapat kering karena kadar air yang rendah, mengurangi plastisitas tanah (Hardiyatmo., 2002).

**Tabel 3.4** 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, 2002)

### 3.6 Analisa Besar Butir

Ukuran analisa butiran menentukan sifat tanah, nama dan klasifikasi tanah didasarkan pada besarnya butiran. Analisis ukuran butiran tanah adalah proses menentukan persentase berat partikel tanah yang lolos pada saringan dengan ukuran tertentu. Untuk tanah berbutir kasar, komposisi teksturnya biasanya dianalisis menggunakan serangkaian saringan dengan berbagai ukuran lubang, yang dikenal sebagai analisis saringan (*sieve analysis*) (Hardiyatmo., 2022). Analisis saringan dilakukan dengan mengayak tanah menggunakan serangkaian ayakan berukuran berurutan dan semakin kecil, yang digetarkan untuk memisahkan partikel. Prosedur ini diterapkan pada tanah yang tertahan di saringan No. 200.



**Gambar 3.4** Alat *Sieve Shaker*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Persentase berat butir tanah yang tertahan pada saringan pada ukuran lubang tertentu dapat dihitung dengan melakukan analisis berat butir tanah. Karena ukuran

butir sangat memengaruhi sifat tanah, penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tanah butir kasar berdasarkan kurva distribusi ukuran butir dan koefisien keseragaman (Cu) (Thanara., 2023). Butir tanah yang berukuran lebih halus dari 0,06 mm dapat diidentifikasi melalui hasil pengujian dilatasi atau batas *Atterberg*. Persentase berat partikel dihitung dalam berbagai ukuran, dan teknik pengayakan adalah cara terbaik untuk melihat distribusi ukuran partikel (Rizky., 2025).

$$\%Berat\ Tertahan = \frac{Berat\ Tertahan}{Berat\ Tanah+Saringan} \times 100\% \quad (3.8)$$

**Tabel 3.5** Ukuran Saringan Yang Digunakan Untuk Analisis Ukuran Partikel

ASTM Vol. 14.02		BSI, BS-410	
No. Saringan	Ukuran (mm)	No. Saringan	Ukuran (mm)
3/4"	19,00		
#4	4,76		
5	4,00	#5	3,353
6	3,36	6	2,812
7	2,83	7	2,411
8	2,38	8	2,057
10	2,00	10	1,676
12	1,68	12	1,405
14	1,41	14	1,204
16	1,19	16	1,003
18	1,00	18	0,853
20	0,841	22	0,699
25	0,707	25	0,599
30	0,595	30	0,500
35	0,500	36	0,422
40	0,420		
45	0,354	44	0,353
50	0,297	52	0,295
60	0,250	60	0,251
70	0,210	72	0,211
80	0,177	85	0,178
100	0,149	100	0,152
120	0,125	120	0,124
140	0,105	150	0,104
170	0,088	170	0,089
200	0,074	200	0,076
230	0,063	240	0,066
270	0,053	300	0,053
325	0,044		
400	0,037		

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

### 3.7 Pemadatan Tanah

Pemadatan biasa dilakukan ketika tanah lapangan perlu diperbaiki, terutama ketika digunakan untuk timbunan. Dengan meningkatkan ruang kosong di antara partikel tanah, pemadatan meningkatkan kekuatan, stabilitas, dan daya dukung tanah (Hardiyatmo, 2002). Pengujian pemadatan bertujuan menentukan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum tanah. Pemadatan modifikasi dan pemadatan standar adalah dua prosedur uji pemadatan yang paling umum digunakan di laboratorium.



**Gambar 3.5** Alat Pemadatan

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Pengeringan adalah langkah pertama dalam pemadatannya, diikuti oleh penambahan air, sebelum akhirnya dapat digabungkan dengan bahan stabilisasi. menambahkan kadar air untuk menghasilkan kepadatan yang meningkat melalui berbagai tumbukan (Halim Muqorrobin & Yusa., 2018). Menurut (Hardiyatmo., 2002) Berikut tujuan dari pemadatan tanah:

- a. Meningkatkan kekuatan geser tanah, Pemadatan meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan gaya geser, sehingga tanah lebih stabil dan dapat mendukung beban dengan lebih baik.
- b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas), Dengan pemadatan, tanah menjadi lebih padat dan kurang mudah mengalami kompresi atau penurunan ketika diberi beban.
- c. Mengurangi permeabilitas, Pemadatan dapat mengurangi porositas tanah, sehingga mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap dan mengalirkan air.
- d. Mengurangi perubahan volume akibat perubahan kadar air, Tanah yang telah dipadatkan mengalami perubahan volume yang lebih sedikit ketika kadar airnya berubah, sehingga mengurangi risiko deformasi atau penurunan tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemadatan:

- a. Kadar air, Harga berat volume kering akan turun jika kadar air kurang atau lebih dari ideal.
- b. Jenis tanah, berpengaruh pada kadar udara ideal dan berat volume kering.
- c. Cara pemadatan dan energi pemadatan
  - 1) Energi pemadatan meningkat seiring dengan harga berat volume kering maksimum tanah dan hasil pemadatan.
  - 2) Peningkatan energi pemadatan menyebabkan penurunan harga kadar air optimum.

Uji pemadatan tanah melibatkan pengukuran kadar air, berat isi kering, dan kepadatan. Rumus untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung berat isi basah tanah

$$\gamma = \frac{B_2 - B_1}{V} \quad (3.9)$$

di mana:

$\gamma$  = berat isi basah (gram/cm<sup>3</sup>)

B1 = berat cetakan dan keping alas (gram)

B2 = berat cetakan dan keping alas dan benda uji (gram)

- b. Menghitung kadar air benda uji

$$W = \frac{(A - B)}{B - C} \times 100\% \quad (3.10)$$

di mana:

W = Kadar udara (%)

A = Massa cawan dan benda uji basah (gram)

B = Massa cawan dan benda uji kering (gram)

C = Massa cawan (gram)

- c. Menghitung kepadatan (berat isi) kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(100 + w)} \times 100\% \quad (3.11)$$

$\gamma_d$  = Kepadatan kering (gram/cm<sup>3</sup>)

$\gamma$  = Kepadatan basah (gram/cm<sup>3</sup>)

w = Kadar air (%)

d. Menghitung kepadatan (berat isi) kering untuk derajat kejenuhan 100%

$$\gamma_d = \frac{(G_s \gamma_w)}{(100 + G_s w)} \times 100\% \quad (3.12)$$

$\gamma_d$  = Kepadatan kering (gram/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = Kepadatan air (gram/cm<sup>3</sup>)

w = Kadar air (%)

G<sub>s</sub> = Berat jenis tanah

### 3.8 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan proses penambahan bahan ke tanah guna meningkatkan sifat teknis seperti plastisitas, kekuatan, tekstur, dan kemampuan pengerjaan sehingga sesuai dengan persyaratan teknis (Fathonah et al., 2025). Proses stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan mencampur tanah asli dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang sesuai, atau dengan menambahkan bahan buatan pabrik untuk memperbaiki sifat teknis tanah (Hardiyatmo., 2022).

Stabilitas tanah adalah teknik yang memanfaatkan perlakuan khusus pada lapisan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan beban struktural, mengurangi penurunan lapisan tanah dengan mengurangi penurunan atau deformasi tanah, dan menurunkan permeabilitas dan potensi pembengkakan (*swelling*) dengan mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air dan membengkak (Panguriseng., 2001). Teknik stabilisasi tanah telah terbukti efektif dalam mengubah tanah lempung dan tanah berbutir halus berlumpur yang lemah untuk meningkatkan sifat-sifatnya, termasuk kekuatan, plastisitas, kompresibilitas, konduktivitas, hidraulik, dan daya tahan (Rabab'ah dkk., 2021).

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material lokal melalui stabilisasi mekanis atau penambahan bahan tambah ke dalam tanah (Hardiyatmo, 2022). Pada umumnya, saat membangun perkerasan jalan, tanah dasar dengan CBR < 2 harus distabilisasi. Stabilisasi dapat meningkatkan kapasitas dukung tanah-dasar (*subgrade*) dan mengurangi ketebalan komponen perkerasan. Untuk mengurangi debu, campuran tanah dengan bahan tambah dapat digunakan. Beberapa bahan tambah dapat mengatur kelembapan

tanah, mempermudah pengerjaan, dan memungkinkan pemadatan yang optimal terutama pada musim kemarau (Hardiyatmo., 2022).

Setiap lapisan dalam perancangan perkerasan jalan harus memenuhi standar kualitas tertentu dan memiliki kemampuan menahan gaya geser serta lendutan berlebih untuk mencegah retak maupun kerusakan pada lapisan di atasnya. Setelah dilakukan stabilisasi, kualitasnya meningkat dan lapisan dalamnya memiliki kapasitas untuk menyalurkan beban ke area yang lebih luas. Akibatnya, lapisan perkerasan yang diperlukan menjadi lebih tipis (Hardiyatmo., 2022).

Menurut Hardiyatmo, 2022 stabilisasi tanah dibagi menjadi dua yaitu:

a. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis adalah proses pencampuran dua jenis tanah dengan gradasi berbeda untuk memperoleh material yang memiliki kekuatan tertentu. Setelah dicampur, tanah tersebut dihamparkan dan dipadatkan. Lambe (1962) menyatakan bahwa Stabilisasi mekanis mencakup dua metode perubahan sifat tanah, yaitu penyusunan ulang partikel tanah melalui proses pemadatan, serta penambahan atau pengurangan partikel tanah, seperti pencampuran lempung berpasir dan kerikil untuk memenuhi daya dukung tanah dasar pada proyek jalan tertentu.

b. Stabilisasi dengan Bahan Tambah

Stabilisasi dengan bahan tambah, yang juga dikenal sebagai stabilisasi kimiawi, bertujuan meningkatkan sifat teknis tanah melalui pencampuran dengan bahan tertentu dalam proporsi yang telah ditentukan. Jika tujuan utama adalah untuk memperbaiki gradasi, plastisitas, dan kemudahan pengerjaan, maka jumlah bahan tambah yang digunakan relatif sedikit. Tapi stabilisasi memerlukan lebih banyak bahan jika ingin mengubah tanah menjadi kuat. Material yang telah dicampur dengan bahan tambahan harus dihamparkan dengan baik dan dipadatkan. Contoh bahan tambah adalah aspal, kapur, semen *portland*, abu terbang (*fly ash*), aspal (bitumen) dan lain-lain.

### 3.9 Zeolit

Zeolit terbentuk dari endapan abu vulkanik yang bereaksi dengan air sehingga terbentuknya batuan tuffa terjadi jutaan tahun yang lalu (Sosial dkk., 2025). Zeolit

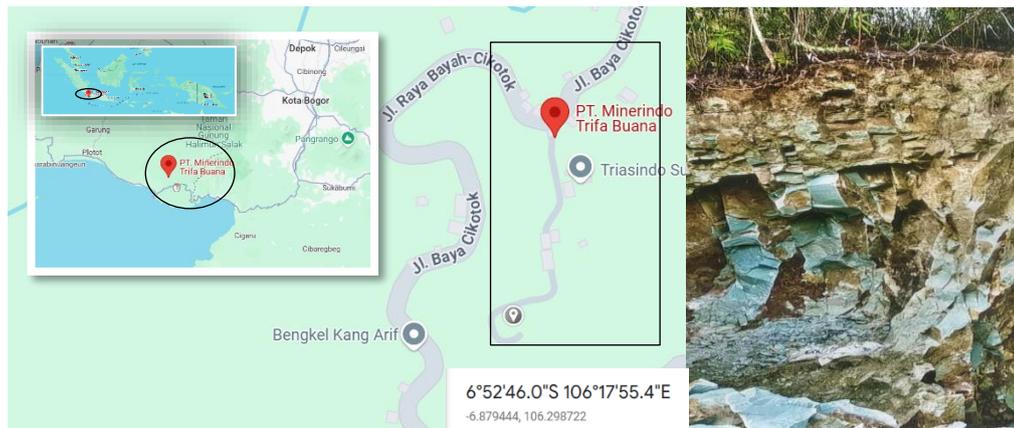
merupakan material berstruktur berongga dengan pori-pori berukuran tertentu, yang biasanya terisi oleh air dan kation yang bersifat dapat dipertukarkan (Muhiddin & Tangkeallo, 2020). Zeolit memiliki komposisi kimia utama berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), yang dikenal sebagai alumino-silikat. Struktur ini terikat dengan unsur alkali atau alkali tanah yang bersifat lemah (Sosial et al., 2025b). Zeolit membentuk struktur tetrahedral, yang mana zeolit mempunyai rumus  $\text{M}_2\text{nO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ . Zeolit memiliki berat jenis rata-rata antara 2 hingga 2,4, dan molekul air di dalamnya dapat dilepaskan melalui proses pemanasan. Dalam proses pertukaran ion, atau perawatan ion, molekul lain dapat menggantikan air dan kation dalam rongga zeolit (Anggoro, 2017). Kristal zeolit biasanya memiliki ukuran antara 10-15 mikron (Hadi dkk, 2023). Menurut (Anggoro, 2017) Zeolit memiliki beberapa sifat penting, yaitu Dehidrasi, Adsorpsi, Penukar Ion dengan Ion-ion dalam kerangka zeolit atau rongga membantu proses penetralan dan menjaga keseimbangan elektrolit, Katalis, Penyaring atau Pemisah.

Wilayah gunung api tersebar luas di Indonesia, terutama di Jawa Barat, Banten, Lampung, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, dan Tapanuli Utara. Potensi sumber daya endapan zeolit di Indonesia mencapai 447.490 ton. Salah satu daerah dengan cadangan zeolit terbesar berada di Pasirgombang, Bayah, Banten, dengan jumlah sekitar 123.000.000 ton yang terdiri atas jenis zeolit seperti Mordenit, Clinoptilolit, dan Plagioklas (Setiawan dkk., 2020).

Zeolit dibedakan menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis. Zeolit alam banyak ditemukan di berbagai wilayah Indonesia seperti Cipatujah, Bayah, Nagreg, dan Malang Selatan. Zeolit sintesis memiliki tingkat kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan zeolit alam. Zeolit biasanya terbentuk pada batuan sedimen atau batuan lainnya yang mengalami kondisi fisika dan kimia tertentu, serta sering dijumpai pada tuf yang telah mengalami proses sedimentasi dan alterasi (Anggoro., 2017). Zeolit bisa terbentuk dari proses perubahan mineral di daerah panas bumi, dan biasanya terbentuk dalam lapisan-lapisan yang tersusun secara vertikal atau horizontal, tergantung pada perubahan suhu dan komposisi mineral di daerah tersebut. Zeolit alam dapat terbentuk sebagai mineral alterasi atau melalui reaksi antara air pori dengan berbagai material seperti gelas vulkanik, mineral lempung amorf, dan *gel* aluminosilikat (Setiawan dkk., 2020). Sifat mineral zeolit sangat

bervariasi, tergantung pada jenis dan kandungan mineralnya, karena terbentuk dari endapan abu vulkanik yang mengalami proses geologis selama jutaan tahun (Hadi dkk., 2023).

Zeolit dalam penelitian ini diambil dari area pertambangan zeolit PT. Minerindo Trifa Buana di Desa Suwakan, Kecamatan Bayah, Kabupaten Lebak, Banten yang terletak pada koordinat  $6^{\circ}52'46.0''S$   $106^{\circ}17'55.4''E$  atau lintang  $-6.879444$  (selatan) dan bujur  $106.298722$  (timur) dan diberi nama Zeolit Bantargadung.



**Gambar 3.6** Lokasi Zeolit Bayah

(Sumber: Google Maps, 2025)

Menurut PT Minerindo Trifa Buana Zeolit merupakan batuan yang terbentuk akibat proses perubahan dari aktivitas gunung api, yang awalnya berupa endapan tufa yang mengalami pemadatan dan perubahan. Zeolit Bantargadung termasuk dalam anggota formasi Cikotok, yang memiliki umur dari Eosen akhir hingga Oligosen akhir, sekitar 44 hingga 33 juta tahun yang lalu. Pada awalnya, Zeolit Bantargadung merupakan endapan hasil erupsi gunung api dalam bentuk tufa. Selanjutnya, proses geologi seperti pembebanan oleh lapisan batuan di atasnya dan peningkatan suhu menyebabkan perubahan pada tufa tersebut menjadi zeolit.

Menurut Penelitian zeolite bayah oleh (Setiawan et al., 2020) Mineral zeolit yang ditemukan di daerah swakan terdiri atas klinoptilolit dan mordenit, disertai mineral lain seperti plagioklas, kuarsa, kaolinit, montmorilonit, dan kristobalit. Mordenit merupakan zeolit kaya silika yang terbentuk melalui proses alterasi batuan vulkaniklastik atau gelas vulkanik berkomposisi riolitik. Sementara itu, klinoptilolit umumnya dijumpai pada tuf gelas dan sedimen mengandung gelas vulkanik akibat

proses diagenesa, khususnya pada lingkungan dengan sedimentasi cepat. Dengan kandungan pada Zeolit tipe Mordenit  $(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca})[\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24}] \cdot \text{H}_2\text{O}$  dan Klinoptilolit  $\text{Na}_6(\text{Al}_6\text{Si}_{13}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  merupakan hasil ubahan dari gelas vulkanik. Di daerah Swakan, Bayah, batuan tuf yang mengandung zeolit tersebar cukup luas dengan warna bervariasi dari putih kehijauan hingga hijau tua. Batuan tersebut berasosiasi dengan mineral hasil alterasi seperti klorit, kuarsa (1%), kalsit, epidot, mineral opak (1%), serta fragmen batuan sebesar (2%).



**Gambar 3.7** Zeolit Bayah

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Menurut penelitian zeolit bayah pada Desa Swakan oleh (Setiawan et al., 2020) didapatkan unsur utama batuan yang dikandung oleh zeolit Bayah sebagai berikut:

**Tabel 3.6** Unsur Utama Batuan Zeolit Bayah

Unsur Oksida	Kandungan (%)
$\text{SiO}_2$	55,75
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,16
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,64
$\text{MnO}$	0,137
$\text{MgO}$	1,88
$\text{CaO}$	1,79
$\text{Na}_2\text{O}$	0,34
$\text{K}_2\text{O}$	1,64
$\text{TiO}_2$	0,216
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,01
LOI	17,59

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Kandungan zeolit bayah diatas adalah kandungan zeolit bayah pada salah satu sampel pengujian (Setiawan et al., 2020) yang mana pada pengujian didapatkan nilai SiO<sub>2</sub> pada zeolit daerah swakan berkisar antara 56-69%. Zeolit yang ditemukan di daerah Swakan memiliki kapasitas tukar kation sebesar 84,17 meq/100 gram, yang mencerminkan jumlah kation yang dapat dipertukarkan oleh zeolit alam sebelum proses aktivasi. Menurut sampel diatas didapatkan tipe zeolit nya yaitu mordenit dengan nilai hasil uji UTJ yaitu 80,42 dengan fase mineral berupa Kuarsa, Mordenit, Dikit, dan Antigorite.

Untuk kehidupan masyarakat zeolit berfungsi untuk penjernihan air yang digunakan dalam proses pengolahan air bersih maupun limbah yang mana zeolit memungkinkan untuk penyerapan logam berat, amonia dan zat pencemar lainnya, pada bidang pertanian zeolit dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman pada pupuk, pada bidang peternakan zeolit dapat mengurangi bau tidak sedap yang dihasilkan kotoran ternak, dan pada bidang kesehatan zeolit dapat menyerap limbah radioaktif dan bahan pencemar lainnya. Penggunaan zeolit pada taman dapat meningkatkan aspek estetika, memperbaiki kualitas tanah melalui peningkatan porositas dan kemampuan menahan air serta unsur hara. Selain itu, zeolit membantu menghemat penggunaan air dan mengurangi bau tidak sedap di area taman (Tangkeallo dkk., 2023).

### **3.10 Semen *Portland***

Semen terdiri dari komponen utama kalsium oksida, silikat, dan aluminat, yang akan membentuk pasta pengikat saat mengalami proses hidrasi. Jika semen *portland* bereaksi dengan air, mereka akan menjadi ikatan dan kemudian membentuk massa yang keras (Ishmah dkk., 2020). Proses hidrasi adalah reaksi yang terjadi saat pembentukan media perekat ini. Hasil hidrasi semen akan terlebih dahulu mengendap pada bagian luar, sementara bagian dalam mengalami hidrasi secara bertahap, yang menyebabkan penyusutan volume.

Menurut Hardiyatmo, 2022 umumnya terdapat 5 tipe semen yaitu:

- a. Tipe I, semen *Portland* biasa (*Ordinary Portland Cement*) digunakan untuk bangunan yang tidak memiliki persyaratan khusus.

- b. Tipe II, digunakan untuk struktur yang membutuhkan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III, Semen tipe III digunakan untuk bangunan yang membutuhkan kekuatan tinggi dalam waktu singkat.
- d. Tipe IV, Semen dengan panas hidrasi rendah (*Low Heat of Hydration Cement*), digunakan untuk bangunan yang tidak membutuhkan panas hidrasi tinggi.
- e. Tipe V, Semen tipe V digunakan untuk struktur di lingkungan dengan kadar sulfat tinggi.



**Gambar 3.8** Semen *Portland* Tipe 1

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Kalsium silikat ( $C_3S$  dan  $C_2S$ ), yang merupakan komponen utama semen dengan proporsi sekitar 70–80%, sangat memengaruhi sifat-sifat semen. Saat terkena air,  $C_3S$  segera terhidrasi, menghasilkan panas, dan berperan penting dalam proses pengerasan awal, terutama dalam 14 hari pertama. Proses yang digunakan semen untuk membuat tanah stabil atau reaksi kimia yang terjadi saat hidrasi semen masih menjadi subjek penelitian. Namun, semen biasanya mengandung 63%  $CaO$ , 21%  $SiO_2$ , 6%  $Al_2O_3$ , dan 3%  $MgO$  serta oksidasi tambahan bereaksi dengan silika di tanah dan mengikat partikel secara bersamaan (Hardiyatmo, 2022).

Menurut SNI 03-3438-1949 yang mengacu pada SII-0013-1981, stabilisasi tanah sebaiknya menggunakan semen tipe I yang memenuhi standar umum. Semen berkualitas rendah tidak diperbolehkan. Jika digunakan semen khusus, harus mempertimbangkan kondisi lingkungan untuk membenarkan peralihan dari penggunaan semen biasa. Pada tanah organik, disarankan menggunakan semen cepat mengeras karena dapat menambah kalsium guna menetralkan bahan organik.

Selain itu, bahan pelambat reaksi dapat digunakan untuk mencegah penurunan kekuatan akibat keterlambatan pematangan.

**Tabel 3.6** Penentuan Estimasi Persentase Semen Yang Dibutuhkan

Jenis Tanah	Kebutuhan Semen (%)
Batuan Pecah ( <i>fine crushed rock</i> )	0,5-5
Lempung berpasir-berkerikil ( <i>well graded sandy clay gravel</i> )	2-4
Pasir gradasi baik ( <i>well graded sand</i> )	2-4
Pasir gradasi buruk ( <i>poorly graded sand</i> )	4-6
Lempung berpasir ( <i>sand clay</i> )	4-6
Lempung berlanau ( <i>silty clay</i> )	6-8
Lempung ( <i>heavy clay</i> )	8-12
Lumpur ( <i>veary heavy clay</i> )	12-15
Tanah organik ( <i>organic soils</i> )	10-15

(Sumber: Ingles & matclaf, 1972)

### 3.11 CBR (*California Bearing Ratio*)

Uji CBR (*California Bearing Ratio*) dikembangkan pada tahun 1929 oleh Departemen Transportasi *California* untuk mengukur kekuatan tanah dasar jalan. Semakin padat tanah, semakin tinggi nilai CBR yang dihasilkan (Junaidi., 2022). Uji CBR (*California Bearing Ratio*) bertujuan untuk menilai kelayakan lapisan tanah sebagai *subbase* atau *base course* dalam konstruksi jalan raya (Hadi dkk., 2023).

Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) menunjukkan kualitas tanah dasar dengan membandingkan beban uji terhadap beban standar (Mina et al., 2024). Nilai CBR dinyatakan dalam bentuk persentase. Batu pecah digunakan sebagai bahan standar dengan nilai CBR sebesar 100% dalam menahan beban lalu lintas. Pada pengujian CBR, beban uji dicatat saat penetrasi mencapai 0,1 inci dan 0,2 inci (Junaidi., 2022).

Menurut (Hadi dkk, 2023) *Base* atau *Sub-Base* di bawah perkerasan jalan atau lapangan terbang, CBR (*California Bearing Ratio*) dapat dibagi menjadi:

- a. CBR Lapangan, CBR lapangan adalah nilai CBR asli tanah sesuai kondisi aktual di lokasi. Uji ini digunakan untuk menilai apakah tingkat kepadatan tanah telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.
- b. CBR Laboratorium, Dalam pembangunan jalan baru, tanah dasar bisa berasal dari tanah asli, timbunan, atau galian yang dipadatkan hingga mencapai 95%

kepadatan. Pengujian CBR, baik rendaman maupun tanpa rendaman, dilakukan di laboratorium untuk mengetahui nilai CBR tanah pada berbagai kadar air saat pemadatan. Jika nilai CBR tinggi, maka lapisan perkerasan di atasnya bisa dibuat lebih tipis, dan sebaliknya jika nilai CBR rendah, diperlukan lapisan yang lebih tebal. Pengujian rendaman selama 4 hari dilakukan untuk mensimulasikan genangan air akibat hujan, hingga tanah mencapai kondisi jenuh. Tujuannya adalah mengetahui pengaruh kadar air dan sifat tanah terhadap nilai CBR untuk mendukung perencanaan jalan yang optimal.



**Gambar 3.9** Alat CBR

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Untuk mengetahui nilai CBR, nilai beban terkoreksi penetrasi 2,54 mm (0,1 inci) dan 5,08 mm (0,2 inci) harus dibagi dengan beban standar 13 kN (3000 lbs) dan 20 kN (4500 lbs), kemudian dikalikan dengan 100 (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Persamaan CBR sebagai berikut.

$$CBR = \frac{\text{Beban Terkoreksi}(lb)}{\text{Beban Standar}(lb)} \times 100\% \quad (3.13)$$

Untuk harga CBR 0,1' pada t = 120

$$CBR = \frac{\text{Beban } (lb)}{3000 (lb)} \times 100\% \quad (3.14)$$

Untuk harga CBR 0,2' pada t = 240

$$CBR = \frac{\text{Beban } (lb)}{4500 (lb)} \times 100\% \quad (3.15)$$

Nilai CBR umumnya diambil pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inci). Namun, jika nilai pada penetrasi 5,08 mm (0,2 inci) lebih besar, maka pengujian harus diulang. Jika hasilnya tetap sama setelah pengulangan, maka nilai CBR pada penetrasi 5,08 mm (0,2 inci) yang digunakan (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

### 3.12 Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

*Swelling* merupakan peningkatan volume tanah secara bertahap akibat penyerapan air selama proses perendaman (Kusuma & Mina., 2018). Terlalu banyak kembang susut di tanah dasar akan merusak lapisan perkerasan di atasnya. Beberapa faktor yang memengaruhi tingkat pengembangan tanah antara lain jenis dan jumlah mineral, kadar air, struktur tanah, konsentrasi garam dalam air pori, sementasi, dan kandungan bahan organik. Uji *swelling* dilakukan menggunakan silinder logam. Karena tanah ekspansif tidak langsung mengembang saat terkena air, durasi pengujian tergantung pada waktu air meresap ke dalam tanah. Tekanan pengembangan digunakan untuk menahan laju pengembangan tanah. Pengujian *swelling* dilakukan dengan memasukkan cetakan bahan uji ke dalam air, membiarkan air meresap. Kemudian, benda uji diendam selama 96 jam, atau 4 hari, dengan permukaan air sekitar 25 mm pada bak perendaman (Mina et al., 2022).

$$\Delta h = \frac{h1-h0}{h0} \times 100\% \quad (3.16)$$

Keterangan :

$\Delta h$  = Pengembangan (%)

$h_0$  = Tinggi awal benda uji (mm)

$h_1$  = Tinggi akhir benda uji setelah perendaman (mm).

### 3.13 Prosedur Pengambilan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh langsung dari lokasi penelitian melalui pengamatan dan pengujian. Berikut adalah contoh data primer:

a. Kadar air

Sesuai dengan SNI 1965-2008, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan peralatan yang diperlukan seperti *oven*, cawan, timbangan, dan desikator;
- 2) Membersihkan dan mengeringkan cawan kosong, kemudian menimbang dan mencatat beratnya (W1);
- 3) Memasukkan contoh tanah ke dalam cawan, kemudian menimbang dan mencatat beratnya (W2);
- 4) Memasukkan cawan beserta contoh tanah ke dalam *oven* selama 24 jam;
- 5) Setelah 24 jam, mengeluarkan cawan dan contoh tanah dari *oven*, kemudian mendinginkannya menggunakan desikator dan menutupnya;
- 6) Setelah dingin, mengeluarkan cawan dan contoh tanah dari desikator, lalu menimbang dan mencatat beratnya (W3).

b. Berat Jenis

Sesuai dengan SNI 1964-2008, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan peralatan yang diperlukan seperti piknometer dengan kapasitas 500 ml, desikator, timbangan, *oven*, termometer, saringan no 4 dan 10, air suling, bak perendam, dan kompor listrik;
- 2) Membersihkan dan mengeringkan piknometer, kemudian menimbang dan mencatat beratnya (W1);
- 3) Memasukkan contoh tanah ke dalam piknometer, lalu menimbang dan mencatat beratnya (W2);
- 4) Menambahkan air suling hingga piknometer terisi 2/3. Untuk tanah asli, biarkan selama paling sedikit 24 jam;
- 5) Setelah itu, didihkan selama  $\pm 10$  menit dan miringkan piknometer sambil digoyangkan sesekali untuk mempercepat pengeluaran udara yang terperangkap di dalamnya sampai didihnya merata;
- 6) Setelah proses pendidihan selesai, dinginkan piknometer yang berisi tanah dan air hingga mencapai suhu ruangan;
- 7) Menambahkan air suling hingga mencapai tanda batas, membersihkan bagian luar piknometer hingga kering, kemudian menimbang dan mencatat beratnya (W3);

- 8) Menentukan volume piknometer sampai tanda batas dengan cara memasukkan air suling ke dalam piknometer, kemudian mengeringkan bagian luarnya, menimbang, dan mencatat beratnya (W4).

c. Batas Cair

Sesuai dengan SNI 1967-2008, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan peralatan yang diperlukan seperti alat baku penentu batas cair (*Casagrande*), alat pembuat alur (*grooving tool*), cawan porselen, cawan kadar air, saringan nomor 40, timbangan, cawan kadar air sebanyak 4 buah, air suling, dan *oven*;
- 2) Menyaring benda uji yang lolos saringan nomor 40 sebanyak 200 gram;
- 3) Memasukkan benda uji ke dalam cawan porselen sebanyak 50 gram, kemudian menambahkan air sedikit demi sedikit sambil mengaduknya hingga benda uji tercampur homogen;
- 4) Setelah merata, letakkan sebagian benda uji ke dalam alat baku penentu batas cair (*Casagrande*), dengan ketebalan benda uji di dasar mangkok tidak lebih dari 1 cm;
- 5) Membuat alur menggunakan *grooving tool* sehingga contoh tanah terbagi menjadi dua bagian yang sama besar;
- 6) Memutar alat tersebut sehingga mangkok bergerak naik turun dan memukul alasnya dengan kecepatan dua pukulan per detik;
- 7) Lanjutkan pemutaran ini sampai dua bagian tanah yang terbagi oleh alur saling bertemu (singgungan);
- 8) Mengambil bagian tanah yang bersinggungan dari alur dan memasukkannya ke dalam cawan kadar air, kemudian menimbang dan mencatat beratnya;
- 9) Memasukkan cawan kadar air dan contoh tanah ke dalam *oven* selama 24 jam;
- 10) Setelah 24 jam, mengeluarkan benda uji dan cawan kadar air dari *oven*, kemudian memasukkannya ke dalam desikator selama  $\pm 1$  jam;
- 11) Mengeluarkan benda uji dan cawan kadar air dari desikator, lalu menimbang dan mencatat beratnya;
- 12) Menghitung nilai kadar air.

d. Batas Plastis

Sesuai dengan SNI 1966-2008, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan seperti plat kaca, cawan porselen, pastel, batang kawat ukuran  $\pm 3$  mm, saringan nomor 40, timbangan, cawan kadar air, desikator, air suling, dan *oven*;
- 2) Menyiapkan benda uji yang lolos saringan nomor 40 sebanyak 200 gram;
- 3) Memasukkan benda uji ke dalam cawan porselen pencampur, kemudian menambahkan air sedikit demi sedikit sambil mengaduknya hingga kadar airnya homogen;
- 4) Setelah kadar air merata, buat bola-bola tanah dan giling di atas plat kaca. Penggilingan dilakukan dengan telapak tangan dengan kecepatan 80–90 gilingan per menit;
- 5) Lakukan penggilingan terus-menerus sampai benda uji membentuk batang dengan diameter sekitar 3 mm, kemudian biarkan beberapa menit agar terjadi penurunan kadar air;
- 6) Teruskan pengadukan dan penggilingan hingga retakan muncul pada batang tanah, lalu masukkan batang yang retak ke dalam cawan;
- 7) Menimbang cawan beserta contoh tanah, lalu mencatat beratnya;
- 8) Memasukkan cawan beserta contoh tanah ke dalam *oven* selama  $\pm 24$  jam;
- 9) Setelah  $\pm 24$  jam, mengeluarkan cawan dan contoh tanah dari *oven*, lalu mendinginkannya dalam desikator;
- 10) Setelah dingin, menimbang cawan beserta contoh tanah dan mencatat beratnya;
- 11) Menghitung kadar air.

e. Analisa Besar Butir

Sesuai dengan SNI 3423-2008, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan seperti timbangan, satu set saringan, *oven*, *sieve shaker*, cawan, sekop, dan palu karet;
- 2) Mengambil sampel tanah dan memasukkannya ke dalam cawan, kemudian memasukkan cawan tersebut ke dalam *oven* selama  $\pm 2$  jam;

- 3) Mengambil tanah yang sudah di *oven*, kemudian memindahkannya ke dalam cawan yang sudah diketahui beratnya. Benda uji yang dibutuhkan sebanyak 500 gram;
- 4) Menyusun satu set ayakan, dimulai dengan *pan* di bagian bawah, diikuti dengan saringan no. 200, 100, 50, 30, 16, 8, dan no. 4 (saringan dengan ukuran lebih kecil diletakkan di bagian atas);
- 5) Memasukkan benda uji ke dalam saringan paling atas dari susunan saringan, kemudian meletakkan susunan saringan pada mesin *electrical sieve shaker*, lalu menggetarkannya selama 15 menit;
- 6) Menimbang saringan dan benda uji yang tertinggal di setiap saringan, serta mencatat berat saringan tersebut.

f. Pemadatan

Sesuai dengan SNI 1742-2008, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan alat seperti silinder pemadatan, penumbuk, dongkrak, timbangan, pisau perata, saringan no. 4, oven, talam, dan botol air suling;
- 2) Menyiapkan contoh tanah yang akan diuji, sebanyak 2,7 kg per sampel dan sudah lolos saringan nomor 4;
- 3) Mencampur dan mengaduk tanah hasil ayakan dengan air dalam talam hingga merata, sehingga tanah bisa dikepal namun mudah hancur saat dilepas;
- 4) Membersihkan *mold* yang akan digunakan dan menimbang beratnya;
- 5) Menyambungkan *mold* dengan sambungan tabung (*collar*) agar saat penumbukan, *hammer* tidak meleset keluar;
- 6) Memasukkan benda uji sebanyak  $1/3$  dari tinggi *mold*;
- 7) Menumbuk dengan *hammer* sebanyak 9 kali dengan pola yang benar;
- 8) Memasukkan benda uji sebanyak  $2/3$  dari tinggi *mold*;
- 9) Menumbuk dengan *hammer* sebanyak 8 kali dengan pola yang benar;
- 10) Memasukkan benda uji hingga *mold* terisi penuh;
- 11) Menumbuk dengan *hammer* sebanyak 8 kali dengan pola yang benar;
- 12) Membuka sambungan tabung di atasnya dan meratakan permukaan tanah dengan pisau perata;

- 13) Menimbang *mold* beserta contoh tanah;
- 14) Mengeluarkan tanah dari *mold* dengan menggunakan alat pengeluar benda uji, mengambil sampel dari bagian atas dan bawah, lalu memasukkan kedalam cawan dan menimbang;
- 15) Memasukkan sampel ke dalam *oven* selama 24 jam, kemudian mengeluarkannya dan menimbang setelah dingin.

g. Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Sesuai dengan SNI 1744-20012, langkah-langkah untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan seperti mesin CBR, *mold*, pisau perata, timbangan, jangka sorong, *stopwatch*, dan *oven*;
- 2) Menimbang silinder logam;
- 3) Memadatkan contoh tanah dengan kadar air dan kepadatan yang diinginkan. Pemadatan dilakukan pada cetakan silinder pemadatan, dengan menumbuk per 1/3 bagian untuk 10 tumbukan, 25 tumbukan, dan 56 tumbukan;
- 4) Membuka bagian atas silinder, kemudian meratakan permukaan tanah dengan pisau perata;
- 5) Menimbang cetakan silinder beserta benda uji;
- 6) Meletakkan silinder pada mesin CBR, lalu memasang alas silinder sebelum diletakkan pada alat penetrasi;
- 7) Menempatkan keping-keping beban, mengatur torak penetrasi agar benda uji berada pada posisi yang tepat, dan memastikan jarum menyentuh permukaan keping beban;
- 8) Memastikan arloji penetrasi dan arloji beban berada pada angka nol sebelum memulai pengujian;
- 9) Mengeluarkan tanah dari *mold* menggunakan alat pengeluar benda uji;
- 10) Mengambil sampel tanah dari bagian atas (A), tengah (T), dan bawah (B) secukupnya, lalu memasukkannya ke dalam cawan;
- 11) Memasukkan cawan beserta benda uji ke dalam *oven* selama 24 jam;
- 12) Mengeluarkan benda uji dari *oven* setelah 24 jam, kemudian mendinginkannya dengan desikator selama  $\pm 15$  menit;
- 13) Menimbang cawan beserta benda uji, lalu menghitung besar kadar airnya.