

## BAB 3

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Tanah Rawa

Tanah rawa adalah tanah yang memiliki kadar air tinggi yang bisa di temukan pada sawah, pinggiran laut, dan di bawah sungai. Tanah rawa dapat terjadi akibat adanya genangan air yang terjadi begitu lama secara berkala. Berdasarkan (Fahmi, 2018), Rawa adalah wadah air beserta air dan daya air yang terkandung di dalamnya, tergenang secara terus menerus atau musiman, terbentuk secara alami di lahan yang relatif datar atau cekung dengan endapan mineral atau gambut dan ditumbuhi vegetasi, yang merupakan suatu ekosistem. Rawa pasang surut adalah rawa yang terletak di tepi pantai, dekat pantai, muara sungai atau dekat muara sungai dan tergenangi air yang dipengaruhi pasang surut air laut. Rawa lebak adalah rawa yang terletak jauh dari pantai dan tergenangi air akibat luapan air sungai dan/atau air hujan yang menggenang secara periodik atau menerus.

#### 3.2 Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah merupakan pengelompokan tanah – tanah kedalam kelompok atau subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama. Tanah diklasifikasikan berdsarkan ukuran partikel yang dihasilkan dari analisa saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Uniflied Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway and Trasportation Officials (AASTHO)* (Hardiyatmo, 2017). Dari kedua standar tersebut terdapat perbedaan yang mendasar yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perbedaan klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASTHO dengan USCS

No	Sistem AASTHO	USCS
1.	Digunakan untuk mencari kesesuaian tanah sebagai bahan <i>subgrade</i> untuk jalan raya	Digunakan untuk menentukan kesesuaian tanah untuk penggunaan umum
2.	Tanah berbutir halus jika tanah lolos saringan No.200 (0,075 mm) >35%	Tanah berbutir halus jika taah lolos saringan No.200 (0,075)>35%

3.	Saringan No.10 (2,0 mm) digunakan untuk membagi tanah menjadi kerikil dan pasir	Saringan No.4 (4,75 mm) digunakan untuk membagi tanah menjadi kerikil dan pasir
4.	Tanah kerikil dan berpasir tidak didefinisikan dengan jelas	Kerikil dan tanah berpasir didefinisikan dengan jelas
5.	Tidak ada tempat untuk tanah organik	Tanah organik diklasifikasikan sebagai OL dan OH dan ssebagai gambut (Pt)
6.	Sedikit rumit digunakan karena proses eliminasi	Lebih mudah dalam pengklasifikasian

(Sumber : Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi, edisi ke-7)

### 3.2.1 Sistem klasifikasi AASTHO

Sistem ini umumnya digunakan untuk perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade* (Hardiyatmo, 2010). Sistem ini membagi tanah menjadi 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub – sub kelompok, dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Sistem klasifikasi AASTHO

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
Klasifikasi kelompok	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) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	- -	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 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 : Hary Christady Hardiyatmo, 2017)

### 3.2.2 Sistem klasifikasi USCS

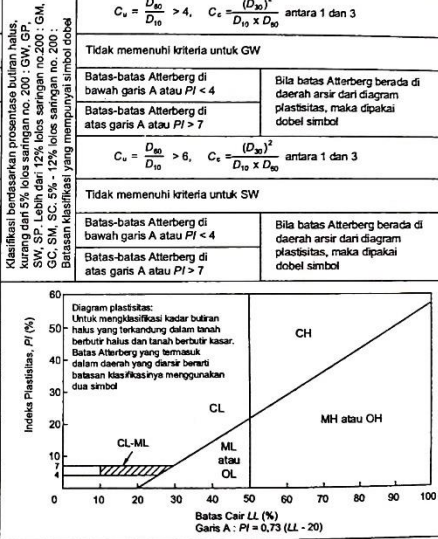
Pada sistem ini tanah dikatakan berbutir kasar (kerikil dan pasir) apabila terdapat kurang dari 50% tanah yang lolos saringan nomor 200, dan tanah dikatakan berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% tanah yang lolos saringan nomor 200. Pengelompokan tanah berdasarkan kelompok dan subkelompok dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Keterangan :

- G = Gravel (kerikil)
- S = Sand (pasir)
- C = Clay (lempung)
- M = Silt (lanau)
- O = Organic silt or clay (lanau atau lempung organik)
- Pt = Peat and highly organic soil (tanah gambut dan tanah organik tinggi)
- W = Well-graded (gradasi baik)
- P = Poorly-graded (gradasi buruk)
- H = High-plasticity (plastisitas tinggi)
- L = Low-plasticity (plastisitas rendah)

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium					
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih terdahan saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terdahan saringan no. 4 (4.75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kriteria untuk GW					
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus						
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung						
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung						
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kriteria untuk SW				
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus					
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsis dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung					
			Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang			ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488
							CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah								
Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis							
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")							
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi							
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi						



(Sumber : Hary Christady Hardyatmo, 2017)

### 3.3 Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan antara berat air dengan berat tanah, yang dinyatakan dalam persen. Kadar air digunakan untuk menggambarkan hubungan antar komponen yang terkandung dalam suatu volume bahan tanah. Nilai kadar air berhubungan dengan beberapa pengujian lainnya, seperti pengujian batas cair dan batas plastis tanah. Untuk menghitung kadar air sampel tanah dapat digunakan persamaan berikut:

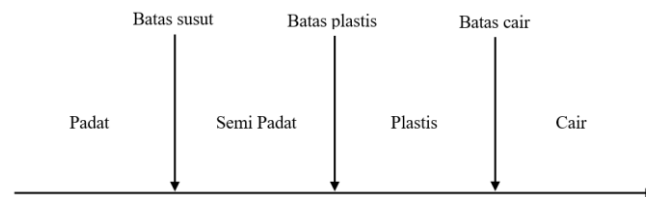
$$\text{Kadar air} = \frac{W1-W2}{W2-W3} \times 100\%$$

Keterangan :

- W = kadar air (%)
- W1 = berat cawan dan tanah basah (gram )
- W2 = berat cawan dan tanah kering (gram )
- W3 = berat cawan (gram )
- (W1 – w2) = berat air (gram )
- (W2 – w3) = berat tanah kering ( partikel padat ) (gram)

### 3.4 Batas – batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Plastisitas merupakan kemampuan tanah untuk beradaptasi terhadap perubahan bentuk pada volume tertentu tanpa retak atau hancur. Keadaan ini tergantung pada jumlah air, tetapi jika jumlah air terlalu tinggi, tanah menjadi cair. Ada beberapa kondisi yang disebabkan oleh perbedaan kadar air. (Atterberg, 1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas konsistensi tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kadar air tanah. Batasan tersebut yaitu batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*). Batas-batas ini juga disebut (*Atterberg Limit*), yang ditunjukkan pada gambar berikut :

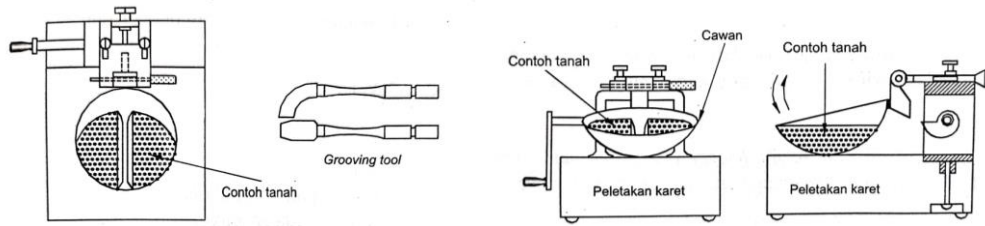


Gambar 3.1 *Atterberg Limit*

(sumber : Hardiyatmo, 2002)

#### 3.5.1 Batas Cair (*liquid Limit*)

Batas cair adalah keadaan ketika kadar air tanah berada pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Batas ini berdasarkan uji *Cassagrande* (1948) dengan menggunakan cawan berbentuk khusus dan membagi contoh tanah dengan tinggi contoh tanah  $\pm 8$  mm. Saat membelah dilakukan dengan alat *grooving tool* dan dilakukan ketukan dengan memutar tuas hingga sampel menyatu.



Gambar 3.2 Skema alat uji batas cair  
(Sumber : Hary Christady Hardyatmo, 2017)

$$LL = W_n \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \text{ Atau } LL = k.W_n$$

Dengan pengertian :

- N = jumlah pukulan yang menyebabkan tertutupnya alur pada kadar air tertentu
- LL = batas cair terkoreksi untuk tertutupnya alur pada 25 pukulan (%)
- W<sub>n</sub> = kadar air (%)
- K = faktor koreksi yang terdapat pada (SNI 1967:2008)

### 3.5.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah keadaan dimana kadar air tanah berada pada batas peralihan antara keadaan plastis dan semi padat. Dalam keadaan ini, tanah dapat menahan deformasi yang dapat ditunjukkan dengan membuat sampel tanah berdiameter 3,2 mm dan mulai terjadi retakan ketika digulung.

$$\text{Batas plastis} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa tanah kering}} \times 100\%$$

Batas cair dan batas plastis merupakan pengujian yang berkaitan karena data indeks plastisitas diperoleh dari kedua pengujian tersebut. Indeks plastisitas dihasilkan dari perbedaan kadar air antara batas cair dan batas plastis.

$$IP = LL - PL$$

Keterangan:

- IP = Indeks Plastisitas (%)
- LL = Batas Cair (%)
- PL = Batas Plastis (%)

### 3.5 Berat Jenis Tanah

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume partikel tanah dengan berat volume air pada volume dan suhu yang sama. Nilai berat jenis tanah dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$G_s = \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)}$$

Keterangan :

$G_s$  = Berat jenis (gram/cm<sup>3</sup>)

$W_1$  = Berat piknometer kosong (gram)

$W_2$  = Berat piknometer + contoh tanah kering (gram)

$W_3$  = Berat piknometer + contoh tanah + air suling (gram)

$W_4$  = Berat piknometer + air suling (gram).

Berat jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 untuk berat jenis  $G_s = 2,67$  gr/cm<sup>3</sup> biasanya digunakan untuk tanah – tanah tidak berkoheisi atau granuler, dan untuk berat jenis antara 2,68 sampai 2,72 merupakan tanah kohesif yang tidak mengandung bahan organik. Untuk lebih jelasnya dalam **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Macam tanah	Berat jenis ( $G_s$ )
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 – 2,65
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,8

(sumber : Hary Christady Hardyatmo, 2017)

### 3.6 Analisa Besar Butir

Ukuran partikel tanah merupakan dasar untuk memberikan nama dan klasifikasi tanah, sehingga harus dilakukan uji analisis besar butir. Analisis besar butir adalah penentuan persentase berat butir pada suatu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Berdasarkan ukuran partikelnya tanah dibagi menjadi dua jenis, tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus, dilakukan dengan cara menyaring benda uji dengan satu set saringan standar.



Gambar 3.3 Uji Analisa Besar Butir  
(sumber : Hary Christady Hardyatmo, 2017)

### 3.7 Pemasatan Tanah

Pemasatan tanah adalah proses peningkatan berat isi kering melalui pembebanan dinamis. Pemasatan dilakukan untuk mendapatkan tanah sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan untuk suatu pekerjaan tertentu. Berkurangnya rongga udara mengakibatkan butiran – butiran tanah merapat satu sama lainnya, yang disebabkan oleh beban dinamis. Tingkat kepadatan tanah di ukur dari nilai berat volume keringnya ( $\gamma_{dry}$ ), berat volume kering tidak akan berubah dengan kenaikan kadar air. Kadar air pada keadaan berat kering maksimum merupakan kadar air optimum, kadar air ini akan digunakan dalam pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). Hubungan berat volume kering ( $\gamma_{dry}$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_{wet}$ ) dan kadar air ( $w$ ) dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1+w}$$

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

*California Bearing Ratio* (CBR) pertama kali dikembangkan oleh *california state highway departement*, prinsip pengujian ini adalah pengujian dengan melakukan penetrasi kedalam benda uji. (SNI 1744:2012) CBR adalah perbandingan antara

tegangan penetrasi suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap tegangan penetrasi bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

### 3.8.1 Metode Pengujian

Berikut ini merupakan metode pengujian dari alat *California Bearing ratio* (CBR) berdasarkan standar (SNI 1744:2012) :

- a. Pasang keping beban diatas permukaan benda uji. Tahap ini bertujuan untuk mencegah naiknya material lunak melalui lubang pada keping beban;
- b. Atur piston penetrasi menggunakan beban awal sebesar 44 N (4,54 kg), kemudian atur arloji pengukur penetrasi dan arloji beban pada posisi nol;
- c. Beri beban pada piston penetrasi dengan mengayun tuas pada alat CBR secara konstan pada 1,27 mm/menit.
- d. Catat beban apa bila penetrasi menunjukkan 0,32 mm (0,0125 inch), 0,64 mm (0,025 inch), 1,27 mm (0,050 inch), 1,91 mm (0,075 inch), 2,54 mm (0,10 inch), 3,81 mm (0,15 inch), 5,08 mm (0,20 inch), 7,62 mm (0,30 inch). Pembacaan beban pada penetrasi 10,16 mm (0,40 inch) dan 12,70 mm (0,50 inch) dapat ditentukan apabila diperlukan.

Nilai CBR umumnya digunakan pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inch). Jika Nilai CBR pada penetrasi 5,08 mm (0,2 inch) lebih besar dari Nilai CBR pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inch), pengujian CBR harus Diulang. Jika setelah diulang tetap memberikan hasil yang serupa, nilai CBR pada penetrasi 5,08 mm (0,2 inch) harus digunakan. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung nilai pembebanan CBR :

$$\text{CBR} = \frac{\text{Beban Terkoreksi}}{\text{Beban Standar}} \times 100$$

Terdapat dua pengujian CBR, yaitu CBR laboratorium rendaman, dan CBR laboratorium tanpa rendaman. Secara umum nilai Laboratorium selalu menghasilkan nilai yang lebih besar dibanding CBR laboratorium rendaman. Berikut merupakan alat uji CBR laboratorium:





Gambar 3.4 Alat pengujian CBR Laboratorium  
(Sumber: Dokumen Penulis 2023)

### 3.9 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan pencampuran tanah dengan bahan tertentu untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Stabilisasi tanah dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi dengan bahan tambah (Hardiyatmo, 2010).

### 3.10 Terak baja

*Steel slag* atau Terak baja merupakan limbah hasil pembakaran dalam proses pembuatan baja. Terak baja terbentuk akibat penambahan kapur dalam pembuatan besi murni untuk mengikat bahan – bahan pengotor. Terak baja bersifat keras dan tahan air, serta dapat digunakan sebagai bahan bendungan, bahan beton, dan bahan baku semen. Misalnya, di Jepang, zat ini dikembangkan sebagai pupuk tanaman. Berikut merupakan zat yang terkandung dalam Terak baja.

Dalam (SNI 8378:2017) menjelaskan bahwa terak baja dapat digunakan sebagai lapis fondasi bawah, dengan memenuhi persyaratan – persyaratan yang telah ditetapkan, seperti :

- a. Slag harus berasal dari limbah peleburan biji besi atau baja, baik berupa *BF slag*, *BOF slag*, *EAF slag* maupun *IF slag*.

- b. Pemanfaatan slag untuk menjadi agregat lapis fondasi dan fondasi bawah harus dari hasil produksi industri yang sudah ada izin pengolahan slag dari kementerian yang berwenang di bidang lingkungan hidup.
- c. Pengambilan contoh slag untuk pengujian sesuai dengan (SNI 6889:2014), Bahan harus ditumpuk maksimum 5 meter, dipisah setiap ukuran, terhindar dari air dan disimpan dengan baik sehingga dapat mencegah segregasi. Untuk mencegah tercampurnya slag – slag tersebut maka gunakan dinding pemisah.
- d. Fraksi slag kasar dan slag halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, non plastis, dan bebas dari bahan yang menurunkan kualitas campuran.
- e. Tidak boleh ada penambahan bahan lain ke agregat *slag* yang mempunyai perbedaan berat jenis lebih dari 0,2.



Gambar 3. 5 Limbah Terak baja PT.Karakatau *Steel*  
(Sumber: Dokumen Penulis 2023)

Tabel 3.5 Pengujian Komposisi Kimia

Kandungan	Komposisi (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,875%
SiO <sub>2</sub>	12,75%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,65%
MgO	28,29%
MnO	1,51%
CaO	29,245%
FeO	22,945%
TiO <sub>2</sub>	1,41%
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16%

(Sumber : PT. Krakatau Steel, Wildan, 2009)

### 3.11 Semen portland

Semen memiliki sifat – sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat. semen yang paling efektif sebagai bahan stabilisasi tanah adalah semen portland. Semen portland akan mengeras ketika bereaksi dengan air. Semen portland memiliki ukuran  $\pm 20$  micron, sehingga proses hidrasi lebih cepat ( Dr. Ir. H. Darwis, M.Sc, 2017). Pada **Tabel 3.6** berisikan komposisi yang terkandung dalam Semen Portland yang bersumber dari PT. Baturaja.

Tabel 3.6 Komposisi utam Semen portland

Nama Komposisi	Komposisi Oksida	Singkatan
<i>Tricalcium silicate</i>	3 CaO .SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
<i>Dicalcium silicate</i>	2 CaO .SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
<i>Tricalcium aluminate</i>	3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
<i>Tetracalcium aluminoferrite</i>	4 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> AF

(Sumber : PT.Baturaja)



Gambar 3. 6 Semen portland

(Sumber: Dokumen Penulis 2023)

Reaksi dari pencampuran tanah dengan semen akan terjadi pertukaran ion (ionic change reaction) dan akan berlanjut dengan reaksi sementasi. Pembentukan senyawa kimia ini terus-menerus berlangsung untuk waktu yang lama dan menyebabkan tanah menjadi keras dan kuat serta awet, karena ia berfungsi sebagai binder (pengikat). Ditentukan dalam SNI 03 – 3438 – 1994, jenis semen yang baik digunakan untuk stabilisasi tanah adalah semen portland.

Berikut merupakan persentase penambahan Semen Portland berdasarkan jenis tanah yang digunakan::

Tabel 3.7 Penentuan estimasi persentase semen yang dibutuhkan

Jenis Tanah	Kebutuhan Semen (%)
Batuan Pecah ( <i>fine crushed rock</i> )	0,5 - 2
Lempung berpasir - berkerikil ( <i>well graded sandy clay gravel</i> )	,2 - 4
Pasir gradasi baik I( <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)