

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tanah adalah suatu komponen utama didalam suatu pekerjaan kostruksi, karena seluruh item pekerjaan konstruksi pasti berhubungan dengan tanah, baik itu konstruksi gedung, bendung, jalan raya, dll. Terutama didalam pekerjaan konstruksi jalan raya, tanah adalah item yang paling mendasar yang perlu diperhatikan, sebab didalam konstruksi jalan raya tanah adalah tempat dihamparkannya langsung item-item pekerjaan.

Tanah selaku tempat dihamparnya item-item pekerjaan pada konstruksi jalan raya, maka harus mampu memikul beban yang dihampar diatasnya. Terkadang, tidak semua tanah mampu memikul beban yang dihampar diatasnya. Hal itu disebabkan oleh jenis tanahnya, seperti yang diketahui beda jenis tanah beda sifatnya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan penimbunan. Penimbunan dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dan menaikkan daya dukung tanah, sehingga mampu memikul beban yang dihampar diatasnya. Sedangkan tanah timbunan sendiri yakni material yang ditempatkan diatas tanah asli sebelumnya.

2.2 Sistem Klasifikasi Tanah

2.2.1 Sistem Unified Soil Classification System (USCS)

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak adalah sistem USCS. Standar Indonesia, SNI 03-6371-

2000 : Tata Cara Pengklasifikasian Tanah Dengan Cara Unifikasi Tanah, menguraikan prosedur untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS). Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh Casagrande selama perang dunia kedua untuk Kesatuan Engineering Angkatan Darat Amerika. Pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) sebagai metode klasifikasi tanah (ASTM D 2487). Pengklasifikasian tanah ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium, yaitu :

1. Analisa distribusi partikel.
2. Batas – batas Atterberg.

Unified Soil Classification System (USCS) mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse grained – soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah G (untuk tanah berkerikil) dan S (untuk tanah berpasir). Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan P (untuk tanah bergradasi buruk).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200, simbol kelompok ini adalah C (untuk lempung anorganik, clay) dan O (untuk lanau organik), Plastisitas dinyatakan dama L (rendah) dan H (tinggi).

Simbol-simbol yang digunakan adalah :

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic clay*)

W = gradasi baik (*well graded*)

P = gradasi buruk (*poor graded*)

H = plastisitas tinggi (*high plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem *Unified* adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan tanah apakah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar :
 1. Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butirannya.
 2. Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos $\leq 50\%$, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persentase yang lolos $> 50\%$, klasifikasikan tanah tersebut sebagai pasir.
 3. Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200 jika prosentase butiran yang lolos $\leq 5\%$, pertimbangkan bentuk grafik distribusi dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila berkerikil) atau SW (bila

pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila berkerikil) atau SP (bila pasir).

4. Jika prosentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 sampai dengan 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
5. Jika prosentase butiran tanah lolos saringan no.200 $>$ 12%, harus diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tertinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).

c. Jika tanah berbutir halus :

1. Menguji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50%, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
2. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
3. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.

4. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50%, gunakan simbol ganda.

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Unified

Deskripsi	Simbol kelompok	Kriteria Laboratorium				
		Butiran Bahu (%)	Kualitas	Plastisitas	Catatan	
Berbutir kasar (lebih dari 50% lebih besar dari 63 μ m BS atau ukuran ayakan US No.200)	Kerikal (lebih dari 50% pecahan kasar berukuran kerikal)	Kerikal bergradasi baik, kerikal berpasir, dengan sedikit atau tanpa butiran halus	GW	0-5	$C_u > 4$ $1 < C_c < 3$	Simbol rangkap dua jika butiran halus 5-12%. Simbol rangkap dua jika diatas garis A dan $4 < PI < 7$
	Pasir (lebih dari 50% pecahan kasar berukuran pasir)	Kerikal berlanau, kerikal berpasir, dengan sedikit atau tanpa butiran halus	GP	0-5	Tidak memenuhi syarat-syarat GW	
		Kerikal berlanau, kerikal berpasir berlanau	GM	> 12	Dibawah garis A atau $PI < 4$	
		Kerikal berlempung, kerikal berlempung berpasir	GC	> 12	Diatas garis A dan $PI > 7$	
		Pasir bergradasi baik, kerikal berpasir, dengan sedikit atau tanpa butiran halus	SW	0-5	$C_u > 6$ $1 < C_c < 3$	
	Pasir berlanau	Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikal, dengan sedikit atau tanpa butiran halus	SP	0-5	Tidak memenuhi syarat-syarat SW	
		Pasir berlanau	SM	> 12	Dibawah garis A atau $PI < 4$	
		Pasir berlempung	SC	> 12	Diatas garis A dan $PI > 7$	
Berbutir halus (lebih dari 50% lebih kecil dari 63 μ m BS atau ukuran ayakan AS No.200)		Lanau dan lempung (batas cair dari 50)	Lanau anorganik, pasir halus berlanau atau berlempung plastisitas tinggi	ML	Gunakan grafik plastisitas	
	Lanau dan lempung (batas cair lebih besar dari 50)	Lempung anorganik, lempung berlanau, lempung berpasir plastisitas rendah	CL	Gunakan grafik plastisitas		
		Lanau organik dan lempung berlanau organik plastisitas rendah	OL	Gunakan grafik plastisitas		
	Lanau dan lempung (batas cair lebih besar dari 50)	Lanau anorganik plastisitas tinggi	MH	Gunakan grafik plastisitas		
		Lempung anorganik plastisitas tinggi	CH	Gunakan grafik plastisitas		
		Lempung organik plastisitas tinggi	OH	Gunakan grafik plastisitas		
Tanah organik tinggi	Gambut dan tanah berkadar organik tinggi lainnya	Pt				

2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, subbase, dan subgrade berdasarkan butiran tanah. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

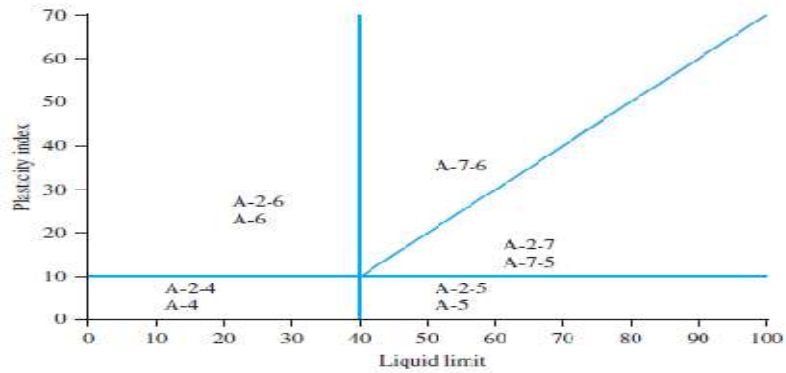
1. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung.

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm.

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,0075 mm.

Lanau & Lempung : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 0,0075 mm.

2. Plastisitas, nama berlanau dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.



Gambar 2.1 Nilai – nilai batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5,A-6, dan A-7.

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan – batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Pengujian yang dijadikan patokan untuk mengklasifikasi adalah sama dengan sistem klasifikasi tanah *Unified* yaitu analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Dan untuk mengevaluasi pengelompokan lebih lanjut digunakan indeks kelompok/*group index* (GI), dengan persamaan :

$$GI = (F200-35)[0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 (F200-15)(PI-10) \text{ (Pers.2.1)}$$

Dimana :

GI = indeks kelompok / *group index*

F = persen butiran lolos saringan no.200 (0,0075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Dimana,F200 adalah persentase lolos saringan No. 200, LL dan PI adalah batas cair dan indek plastisitas. Suku pertama dalam persamaan (20), (F200-35)[0,2+0,005(LL-40)] – + – merupakan bagian indek kelompok yang ditentukan dari batas cair. Sedangkan, suku keduanya yaitu 0,01(F200-

15)(PI-10) adalah bagian dari indeks kelompok yang ditentukan dari indeks plastisitas. Berikut ini diberikan aturan untuk menentukan indeks kelompok dari persamaan.

1. Jika persamaan menghasilkan nilai GI negatif, maka ditetapkan sebagai 0.
2. Indeks kelompok yang dihitung dari persamaan (20) dibulatkan ke nilai terdekat, misalnya : GI = 3,4 dibulatkan menjadi 3, GI = 3,5 dibulatkan menjadi 4.
3. Tidak terdapat batas atas untuk indeks kelompok.
4. Indeks kelompok tanah yang mengikuti kelompok A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 adalah selalu 0.
5. Untuk tanah kelompok A-2-6 dan A-2-7, indeks kelompok dihitung dari suku kedua persamaan (2.1), yaitu :

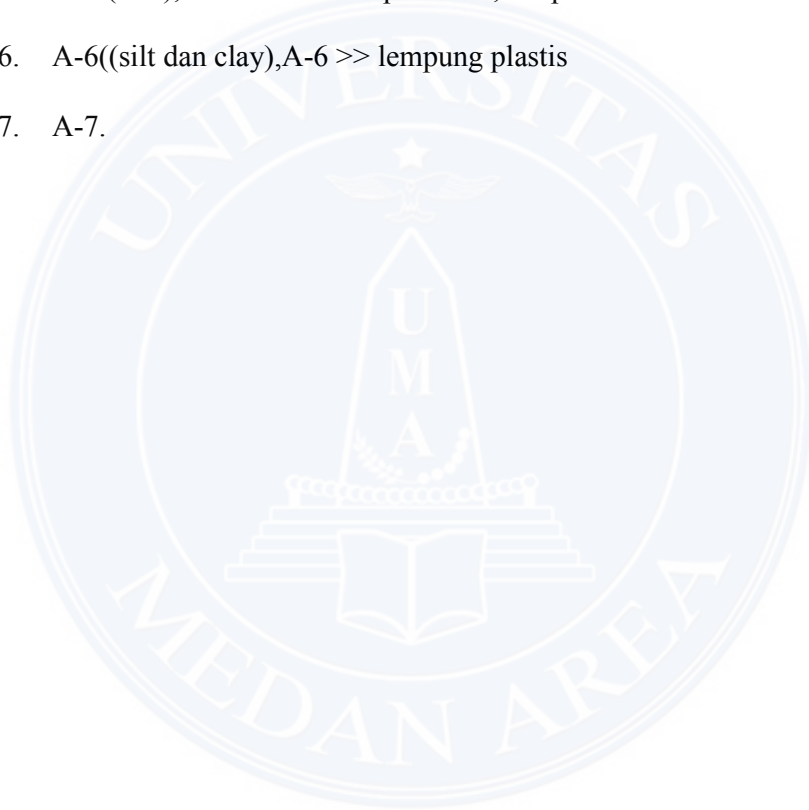
$$GI = 0,01(F_{200} - 15)(PI - 10) \quad (Pers.2.2)$$

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya. Tanah granular diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granular bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung lanau.

AASHTO sistem mengklasifikasikan tanah menjadi 7 bagian besar, yaitu :

1. A-1 (A-1-a ; A-1-b), kelompok ini termasuk granular.
A-1 >> kondisi dari agregat berbutir kasar sampai halus, dengan pengikat non plastis atau tanpa bahan pengikat.

2. A-2 (A-2-4 ; A-2-5 ; A-2-6 ; A-2-7),A-2 >> agregat kasar tapi batas kerikil dengan pasir
3. A-3, termasuk kelompok gravel dan sand.
A-3 >> pasir halus, termasuk debu. Dapat bercampur dengan pasir dengan lempung atau lanau.
4. A-4>> lempung yang non plastis atau sedikit plastis.
5. A-5 (fine), A-5 >> Sama seperti A-4, tetapi elastis.
6. A-6((silt dan clay),A-6 >> lempung plastis
7. A-7.



Tabel 2.2. Sistem Klasifikasi AASTO

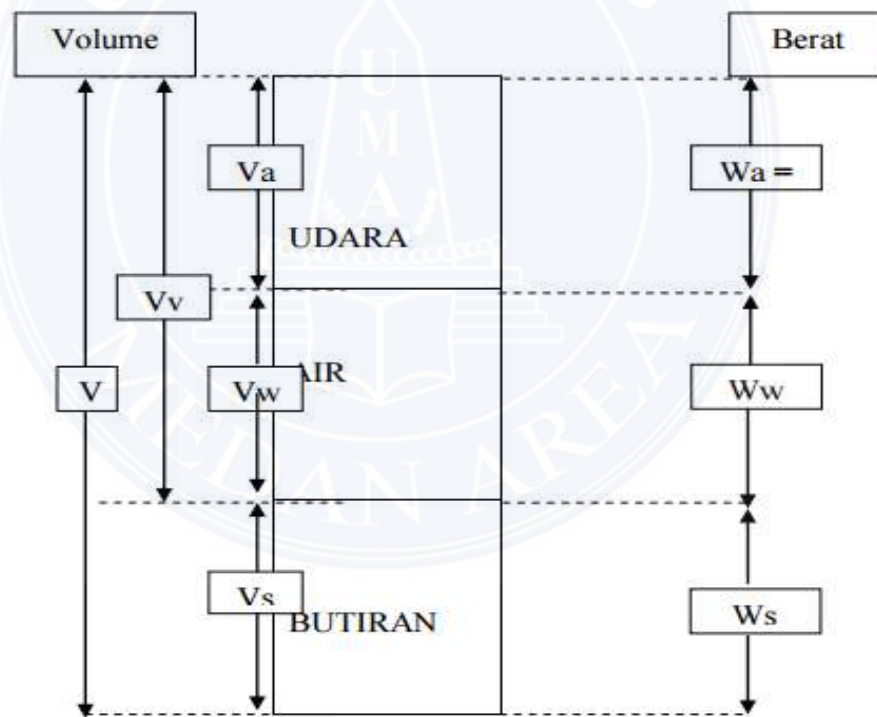
Klasifikasi umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No.200)							Bahan-bahan lanau lempung (lebih dari 35% lolos No.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisa saringan Persen lolos:											
No.10	Maks.50										
No.40	Maks.30	Maks.50	Maks.51								
No.200	Maks.15	Maks.15	Maks.10	Maks.35	Maks.35	Maks.35	Maks.35	Min.36	Min.36	Min.36	Min.36
Karakteristik Fraksi yang lolos No.40											
Batas cair :				Maks.40	Maks.41	Maks.40	Maks.41	Maks.40	Maks.40	Maks.40	Maks.41
Indeks plastisitas	Maks.6		N.P	Maks.10	Maks.10	Maks.11	Maks.10	Min.10	Min.10	Min.10	Min.10
Jenis umum	Fragmen batuan Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan				Tanah lanauan		Tanah lempungan	
Tingkat umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Cukup sampai buruk				

Catatan : Indeks Plastisitas untuk sub kelompok A-7-5- < LL - 30, sedang
Indeks Plastisitas untuk sub kelompok A-7-5-> LL - 30 .

2.3 Sifat Fisik Tanah

2.3.1 Hubungan Antara Butiran, Air dan Udara dalam Tanah

Tanah merupakan komposisi dari dua atau tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase yang disebut butiran dan udara pengisi pori, tanah yang jenuh juga terdiri dari dua fase yaitu butiran dan air pori sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari tiga fase yaitu butiran, udara pori dan air pori. Berat udara dianggap sama dengan nol. Komponen-komponen tanah dapat digambarkan dalam suatu diagram fase, seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Diagram Fase Tanah

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w \quad (\text{Pers. 2.3})$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (\text{Pers. 2.4})$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (\text{Pers. 2.5})$$

dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume pori

Istilah-istilah umum yang dipakai untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit waight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut adalah sebagai berikut :

a. Kadar Air (W)

Kadar air (*water content*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (\text{Pers. 2.6})$$

b. Berat Volume Tanah

$$\gamma_s = \frac{W_w + W_s}{V} \quad (\text{Pers. 2.7})$$

c. Berat Volume Tanah Kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+W} \quad (\text{Pers. 2.8})$$

d. Berat Jenis (*Specific Gravity, G_s*)

Harga berat jenis dari butiran tanah (Bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga itu dapat ditentukan secara akurat di laboratorium. Tabel 2.5 menunjukkan harga-harga berat jenis beberapa mineral yang umum terdapat dalam tanah. Sebagian besar dari mineral-mineral tersebut mempunyai berat jenis berkisar 2.6 sampai dengan 2.9. Berat jenis dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang, umumnya sebagian besar terdiri dari quartz, dapat diperkirakan sebesar 2.65; untuk tanah berlempung atau lanau harga tersebut berkisar antara 2.6 sampai 2.9.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (\text{Pers. 2.9})$$

Tabel 2.3 Berat Jenis Mineral-Mineral Penting

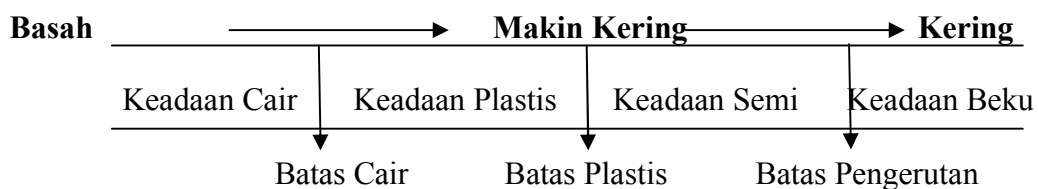
Mineral	Berat Jenis (G _s)
Quartz	2.65
Kaolinite	2.6
Illite	2.8
Montmorillonite	2.65 -2.80
Halloysite	2.0 – 2.55
Potassium Feldspar	2.57
Sodium and Calcium Feldspar	2.62 - 2.76

Chlorite	2.6 - 2.9
Biotite	2.8 - 3.2
Muscovite	2.76 - 3.1
Hornblende	3.0 - 3.47
Limonite	3.6 - 4.0
Olivine	3.27 - 3.37

Sumber: Braja M. Das, "Mekanika Tanah jilid1".

2.3.2 Arti Batas-Batas Atterberg dan Pengukurannya.

Tanah yang berbutir halus biasanya memiliki sifat plastis. Sifat plastis tersebut merupakan kemampuan tanah menyesuaikan perubahan bentuk tanah setelah bercampur dengan air pada volume yang konstan tanpa retak-retak dan remuk. Tanah tersebut akan berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat tergantung jumlah air yang bercampur pada tanah tersebut. Batas Atterberg memperlihatkan terjadinya bentuk tanah dari benda padat hingga menjadi cairan kental sesuai dengan kadar airnya. Dari test batas Atterberg akan didapatkan parameter batas cair, batas plastis, batas lengket dan batas kohesi yang merupakan keadaan konsistensi tanah. Batas-batas Atterberg dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Batas – batas Atterberg

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah yang untuk nilai-nilai di atasnya, tanah akan berperilaku sebagai cairan kental (batas antara keadaan cair dan keadaan plastis), yaitu batas atas dari daerah plastis.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air yang untuk nilai-nilai dibawahnya, tanah tidak lagi berpengaruh sebagai bahan yang plastis. Tanah akan bersifat sebagai bahan yang plastis dalam kadar air yang berkisar antara LL dan PL. Kisaran ini disebut indeks plastisitas.

3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitas tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis besar disebut tanah gemuk. Nilai indeks plastisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$IP = LL - PL \quad (Pers.2.10)$$

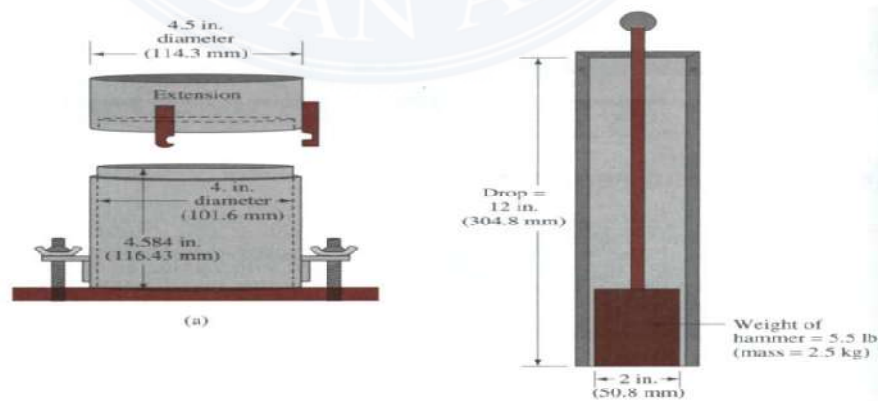
Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel berikut ini :

Tabel 2.4 Sifat – sifat tanah ditinjau dari nilai indeks plastisitas

Indeks Plastis	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Non Plastis	Pasir
$0 < PI < 7$	Rendah	Lanau
$7 < PI < 17$	Sedang	Lempung Kelanauan/ Lanau Kelempungan
$PI > 17$	Sangat Plastis	Lempung/ Tanah liat

2.3.3 Perilaku Pematatan Tanah

Dari hasil pengujian yang biasa dipergunakan untuk menilai sifat pematatan, dapat diketahui perilaku tanah ketika dipadatkan. Pengujian ini biasanya disebut pengujian pematatan “*Standart Proctor*” atau pengujian pematatan “*modified(atau heavy) Proctor*”. Pengujian ini dilakukakn dengan memakai sebuah tempat berbentuk silinder dan palu penumbuk, sebagaimana diperlihatkan pada *tabel 2.5* keduanya dibuat menurut ukuran dan beban tertentu.



Gambar 2.4 Peralatan yang dipakai pada pengujian proctor.

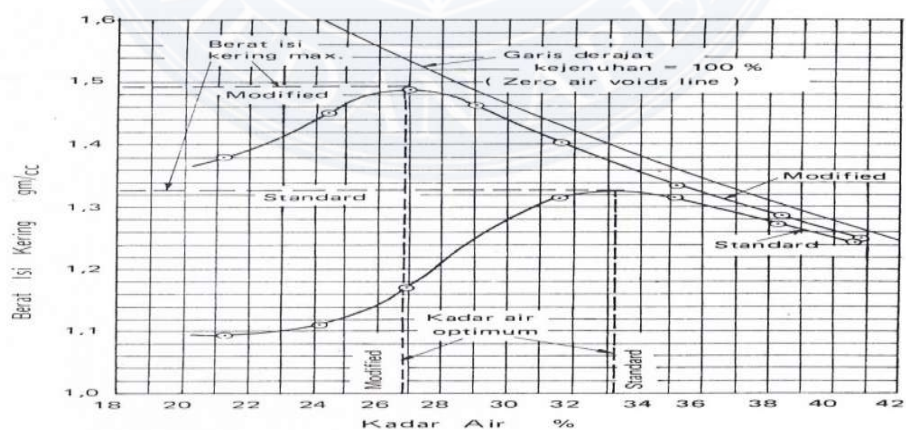
Pengujian ini dilakukan pada sederetan contoh tanah, masing-masing dengan kadar air yang berbeda, dari kering sampai basah. Jadi sebelum pengujian dimulai, contoh-contoh tanah disiapkan dengan kadar air yang berbeda. Selisih kadar air antara masing-masing contoh diusahakan supaya hampir sama, kemudian contoh ini dipadatkan sesuai urutannya. Cara pemadatan adalah lapis demi lapis yang tebal lapisnya sama. Tebalnya dipilih supaya permukaan lapisan terakhir sedikit lebih tinggi daripada atasnya silinder, yaitu masuk sedikit kedalam kerah silinder. Selanjutnya kerah dibuka dan permukaan contoh dipotong supaya datar. Contoh yang ditimbang dan sebagian diambil untuk mengukur kadar air. Silinder yang dipakai pada kedua pengujian (*Standar dan Modified*) tetap sama, tetapi palu yang dipakai berlainan. Cara *modified* lebih berat dari cara *standart*. Cara *modified* memakai 5 lapisan, sedangkan cara *standart* memakai 3 lapisan. Keterangan lengkap tentang kedua cara dapat dilihat pada *Tabel 2.5*.

Tabel 2.5 Keterangan lengkap tentang pengujian pemadatan (Standard dan Modified)

	Pengujian Pemadatan <i>Standart Proctor</i>	Pengujian Pemadatan <i>modified</i> (atau heavy)
Diameter silinder (cm)	10.5	10.5
Tinggi silinder (cm)	11.55	11.55

Volume silinder (cm ³)	1000	1000
Jumlah lapisan tanah	3	5
Berat palu penumbuk (kg)	2.5	4.5
Tinggi jatuh palu (cm)	30	45
Jumlah pukulan tiap lapisan	27	27

Jelas bahwa pengujian modified menggunakan tenaga yang lebih tinggi daripada pengujian standar. Hasil pengujian dibuat grafik berat satuan kering terhadap kadar air. Hasil umum dari lempung diperlihatkan pada *gambar 2.5*. Terlihat juga pada gambar tersebut garis dimana kadar udara sama dengan nol, yaitu derajat kejenuhan = 100%. Nilai berat satuan kering pada garis ini adalah nilai terbesar yang dapat dicapai pada kadar air tertentu.



Gambar 2.5 Pengujian pemadatan pada lempung – standart dan modified heavy

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa untuk tenaga pemadatan tertentu, berat satuan kering mencapai nilai maksimum (puncak) pada kadar air tertentu. Kadar air ini disebut kadar air optimum dan berat satuan disebut berat satuan kering maksimum. Apabila tanah dipadatkan pada kadar air optimum, maka tanah akan menjadi paling padat. Kedua parameter ini merupakan cara yang biasa dipakai untuk mengontrol pemadatan tanah di lapangan (*lihat gambar 2.5*). perlu dipahami bahwa kadar air ini bukan suatu sifat khas pada tanah; nilai kadar air ini hanya merupakan kadar air yang paling sesuai pada tenaga pemadatan yang dipakai. Apabila tenaga pemadatan berubah, maka kadar air optimum akan turut berubah. Pada contoh *digambar 2.5*, kadar air optimum dari pengujian *modified* kira-kira 8% dibawah nilai dari pengujian standart. Selisih ini boleh dianggap biasa untuk lempung dengan plastisitas sedang hingga tinggi. Juga pada lempung dengan plastisitas tinggi, nilai kadar air optimum dari pengujian standart tidak jauh berbeda dengan batas plastis.

2.4 Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Tanah dasar (sub grade) adalah permukaan tanah semula, atau permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Keawetan dan kekuatan suatu konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Secara geoteknis, daya dukung tanah ditentukan oleh banyak hal. Pentingnya kekuatan tanah dasar menjadi point utama ukuran kekuatan dan keawetan

struktur perkerasan selama umur layanan. Umumnya permasalahan yang terjadi menyangkut tanah dasar berupa perubahan bentuk tetap, sifat mengembang dan daya dukung tidak merata.

Bahan sub grade akan berpengaruh pada daya dukung tanah tersebut, semakin bagus spek tanah untuk sub grade semakin bagus daya dukung tanah tersebut. Terutama untuk tanah dasar berupa tanah timbunan, maka perlu diperhatikan beberapa hal sehubungan dengan daya dukung tanah tersebut, antara lain :

- Klasifikasi tanah, berupa sifat butiran, sifat teknis tanah, serta nilai CBR tanah. Kesemua hal itu berhubungan dengan kepadatan tanah, semakin padat tanah dasar (sub grade) semakin kuat daya dukung tanahnya.
- Kadar air, semakin tinggi kadar air semakin jelek daya dukungnya.
- Kontrol pemadatan yang baik, baik dilaboratorium maupun dilapangan.

2.5 Pengujian Pemadatan Tanah (*Proctor Standart*)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah yaitu dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah yang biasanya menggunakan energi mekanis. Di lapangan, usaha pemadatan dihubungkan dengan jumlah gilasan dari mesin gilas, atau hal lain yang prinsipnya sama untuk suatu volume tanah tertentu. Di laboratorium melakukan pengujian standart yang disebut uji proctor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu pada beberapa lapis tanah di dalam

sebuah mould. Dengan dilakukan pengujian pemadatan tanah ini maka akan menghasilkan hubungan antara kadar air dengan berat volume.

Tujuan pemadatan adalah untuk memadatkan tanah dalam keadaan kadar air optimum, sehingga udara dalam pori-pori tanah akan keluar.

Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pemadatan ini adalah :

1. Menaikkan kekuatan tanah.
2. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
3. Berkurangnya penurunan permukaan (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal didalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume kering (γ_d), berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dengan persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (\text{Pers.2.11})$$

2.5.1 Penentuan Kadar Air Optimum

Untuk mengetahui kadar air yang optimum pada tanah, maka dilakukan pengujian pemadatan proktor standart, pengujian tersebut dilakukan dengan pemadatan sampel tanah basah (pada kadar air terkontrol) dalam suatu cetakan dengan jumlah 3 lapisan. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tumbukan yang ditentukan dengan penumbuk dengan

massa 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm. Energi pemadatan sebesar 592,57 kilo Joule/m³.

Kadar air yang memberikan berat kering yang maksimal disebut kadar air optimum. Untuk tanah berbutir halus dalam mendapatkan kadar air optimum digunakan batas plastisnya. Buat kurva hubungan antara kadar air (w) sebagai absis dan berat volume tanah kering sebagai koordinat, puncak kurva sebagai nilai γ_d (maks), kurva yang digunakan adalah kurva dari uji pemadatan tanah (*proctor standart*). Dari titik puncak ditarik garis vertikal memotong absis, pada titik ini adalah kadar air optimum. (*Gambar 2.5*)

2.6 Pemadatan Laboratorium

Pemadatan Laboratorium adalah suatu jenis tes pemadatan tanah yang dilakukan di laboratorium. Ada 2 macam tes pemadatan tanah secara laboratorium yaitu Proctor Standart Test dan Proctor Modified Test.

Prinsip prinsip pemadatan tanah laboratorium :

1. Tes pemadatan Proctor Standart

- Cetakan Standart Proctor test berdiameter 10,16 cm (4 inchi) Dan tinggi 11,643 cm (4,584 inchi). Cetakan tersebut sendiri Dari 2 bagian , yaitu bagian bawah mempunyai pelat dasar Yang dapat dipasang pada dasar cetakan , dan mempunyai Silinder perpanjangan (*extansion*) yang bisa disambung dengan Bagian atas dari cetakan.

- Sedangkan pada Modified Proctor, pemadatan dilakukan dalam 5 lapisan dan jumlah tumbukan per lapisan sebanyak 25x
- Tes pemadatan dilakukan minimal 6x, dengan kondisi 3 benda uji Di atas kadar air optimum
- Dari setiap percobaan yang dilakukan akan didapatkan harga Berat volume kering (gd) dan kadar air (wc).

2) Menentukan Tingkat Pemadatan Suatu Tanah

- *Tingkat pemadatan suatu tanah di laboratorium diukur berdasarkan Dari berat volume kering yang dipadatkan (gd_{max}), dan harga kadar Air optimum (wc_{opt}) dari tanah yang di tes.*
- *Menentukan harga g_{max} didapatkan dari grafik antara kadar air (wc) Dengan berat volume kering (gd)*

2.7 California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan perbandingan beban penetrasi pada suatu bahan dengan beban standart pada penetrasi dan kecepatan pembebanan yang sama. Cara CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (subgrade). Nilai CBR adalah nilai yang

menyatakan kualitas suatu bahan dibanding dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 %. CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini.

Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan. Nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ini disebut "*Design CBR*". Cara yang dipakai untuk mendapat "*Design CBR*" ini ditentukan dengan perhitungan dua faktor, yaitu (*Wesley, 1977*):

- a) Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
- b) Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat.

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas 3; yaitu:

- CBR lapangan (*field CBR*)
- CBR lapangan rendaman (*Undistrub soaked CBR*)
- CBR rencana titik / CBR laboratorium / *design CBR*

2.7.1 CBR lapangan (*field CBR*)

Gunanya untuk mendapatkan nilai CBR asli dilapangan sesuai dengan kondisi tanah saat itu, dimana tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan

lagi. Pemeriksaan dilakukan saat kadar air tanah tinggi atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.

2.7.2 CBR lapangan rendaman (*Undisturbed soaked CBR*)

Gunanya untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli dilapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan maksimum. Pemeriksaan dilaksanakan pada kondisi tanah dalam keadaan jenuh air. Hal ini sering terjadi digunakan untuk menentukan daya dukung anag di daerah yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak terendam air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau, sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau.

2.7.3 CBR rencana titik / CBR laboratorium / *design CBR*.

Tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan . Pada dasarnya , CBR laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu *soaked design CBR* dan *unsoaked design CBR*

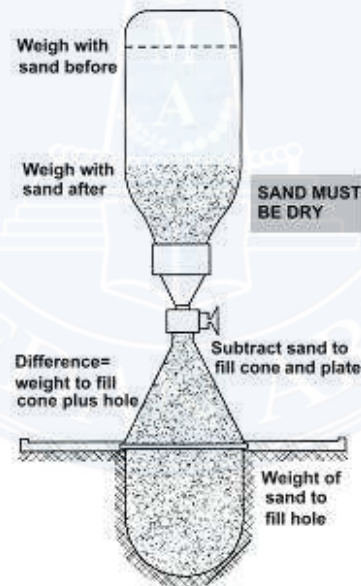
2.8 Pengujian Isi Kering (Density Dry Test)

Percobaan Sandcone (Kerucut Pasir) merupakan salah satu jenis pengujian yang dilakukan di lapangan untuk menentukan berat isi kering (Kepadatan) tanah asli maupun hasil pekerjaan pemadatan yang dilakukan baik pada tanah kohesif maupun

tanah non kohesif. Menentukan kepadatan tanah dilapangan (γ_d) dan derajat kepadatan tanah

Nilai berat isi tanah kering yang diperoleh dari percobaan ini biasanya digunakan untuk mengevaluasi hasil pekerjaan pemadatan dilapangan (*Degree Of Compaction*) yaitu, perbandingan antara ($\gamma_{d \text{ maks}}$)hasil percobaan pemadatan dilaboratorium.

Tujuan dari pemadatan adalah untuk memperoleh stabilitas tanah dan memperbaiki sifat-sifat teknisnya. Oleh karena itu, sifat teknis timbunan sangat penting untuk diperhatikan tidak hanya kadar air dan berat keringnya.



Gambar 2.6 Alat Pengujian Sandcone (Kerucut Pasir)

2.9 Pemilihan Material Timbunan

Pemilihan material timbunan harus dilakukan dari sumber yang telah diketahui atau disetujui pihak terkait (owner, konsultan, pengawas, *engineer*, atau pihak lainnya) berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan. Pemilihan material timbunan juga disesuaikan dengan jenis pekerjaan timbunan yang akan dilakukan berdasarkan ketentuan standar spesifikasi yang akan dijadikan acuan.

2.9.1 Untuk pekerjaan timbunan jenis *Common Embankment*

Material timbunan yang diklasifikasikan sebagai *Common Embankment* harus terdiri dari tanah dari galian atau material batuan yang telah disetujui oleh *engineer* terkait sebagai kesesuaian untuk pekerjaan permanen yang telah ditentukan sebelumnya. Material tersebut juga dipilih secara khusus untuk menghindari penggunaan tanah lempung plastisitas tinggi dan tanah lanau kelempungan yang golongan sebagai A-7 oleh AASHTO spesifikasi M 145 atau sebagai CH pada *Unified* atau *Casagrande Soil Classification System*. Penggunaan tanah plastisitas tinggi tidak dapat dihindari atau diizinkan, misalnya material yang hanya akan digunakan pada *backfill* yang tidak diperlukan dalam penyediaan *bearing* dan *shear strength* yang memadai. Namun, penggunaan tanah plastisitas tinggi dalam 30cm sebagai material langsung dibawah perkerasan atau bahu *subgrade* tidak diperbolehkan sama sekali. Ketentuan timbunan tersebut dilakukan pengujian sesuai dengan SNI 03-1744-1989, dengan nilai CBR tidak kurang dari 6% setelah empat hari perendaman (*soaking*) ketika dipadatkan hingga 100% dari maksimum *dry density* sesuai ketentuan SNI 03-1742-1989.

Tanah ekspansif tinggi yang memiliki *activity value* (nilai aktivitas) lebih tinggi dari 1,25 atau satu derajat perluasan diklasifikasikan oleh AASHTO sebagai *Very High* atau *Extra High expansive soil*. Jenis tanah tersebut tentunya tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai material timbunan. *Activity value* pada tanah timbunan juga dapat diukur dengan ketentuan sebagai *Ratio Plasticity Index* (SNI 03-1966-1989) atau *Percent Clay Sizes* (SNI 03-3422-1994).

2.9.2 Untuk pekerjaan timbunan jenis Selected Embankment

Timbunan akan diklasifikasikan sebagai *Selected Embankment* ketika digunakan pada lokasi dan tujuan tertentu dimana jenis Selected embankment telah dispesifikasikan dan diperlihatkan pada rencanag awal atau kesepakatan lain yang tertulis pada *planning engineer*. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai *selected embankment* harus terdiri dari tanah atau material batuan yang bertemu semua dengan bagian atas material yang digunakan untuk *selected embankment* dan dalam penambahan harus memenuhi ketentuan kebutuhan properti lainnya, tergantung pada kegunaan yang diharapkan sesuai permintaan atau persetujuan pihak *engineer*. Dalam semua aplikasi, material timbunan *selected embankment* harus dipes dengan ketentuan SNI 03-1744-1989, memiliki nilai CBR sekurang-kurangnya 25% setelah empat hari perendaman (*soaking*) ketika dipadatkan hingga 100% dari maksimum *dry density* sesuai ketentuan SNI 03-1742-1989.

Pada saat digunakan dalam situasi dimana kondisi pemadatan *under saturated* atau kondisi banjir yang tidak dapat dihindari, *selected embankment* harus menggunakan material *sand* (pasir) atau *gravel* (koral) atau material granular lainnya dengan maksimum indeks plastisitas 6%. Ketika digunakan pada lereng atau pekerjaan stabilisasi timbunan atau situasi yang lainnya dimana *shear strength* yang memadai sangat penting dibutuhkan, tetapi kondisi normal *dry compaction* berlaku *selected embankment* boleh menggunakan timbunan batu, *clayey gravel* bergradasi baik, *sandy clay*, atau lempung dengan plastisitas rendah. Tipe material yang diseleksi atau disetujui oleh *engineer* tergantung pada kecuraman lereng yang dibangun atau diisi serta *bearing pressure* yang didukung. Ketika digunakan sebagai lapisan *capping subgrade* material *selected embankment* harus ditempatkan pada ketebalan 250 mm atau disesuaikan dengan perencanaan yang ditetapkan. Material *selected embankment* harus seragam gradasi agregat kasar dengan ukuran material tidak lebih besar dari 63 mm dan tidak lebih dari 15% lolos saringan 37,5 mm.

2.9.3 Untuk pekerjaan timbunan jenis Selected Embankment Swampy Areas

Material pilihan timbunan untuk daerah rawa sedapat mungkin harus berupa pasir atau koral atau material granular murni lainnya dengan maksimum indeks plastisitas 6%. Timbunan pada area ini dapat diperkuat

dengan pemasangan geogrid sebagai langkah antisipasi terjadi longsor pada sisi timbunan.

2.9.4 Untuk pekerjaan timbunan jenis Granular Structural Fill :

Timbunan diklasifikasikan sebagai *granular structural fill* ketika digunakan pada sisi *abutment* didepan dinding, sayap dinding (*wing walls*), *retaining walls*, dan sisi dinding gorong-gorong sesuai yang ditunjukkan atau yang direncanakan oleh *engineer*. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai *granular structural fill* harus menyediakan karakteristik drainase yang baik dengan memperlihatkan tidak lebih 4% dari berat lolos saringan 0,074 mm ketika dites berdasarkan SNI 03-3422-1994 dan harus memiliki property gradasi tergantung pada penggunaan sebagai berikut:

- a. Setiap 0,1 m³ mengandung koral murni atau yang dihancurkan menyesuaikan gradasi GP dalam *Unified System*, harus ditempatkan pada punggung lubang saluran.
- b. Setiap 1 m tebal lapisan dari medium hingga pasir koarsa atau koral murni menyesuaikan gradasi SW atau GW dalam *Unified System*, harus ditempatkan berlawanan dengan tanah sisi-sisi dari *abutment*, *wing walls*, *retaining walls*, dan sisi dinding gorong-gorong perpanjangan dari pijakan (*footing*) bawah atau elemen bawah hingga bagian sisi bawah mendekati bidang (*run-on-slabs*) atau *subbase* timbunan.

