

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah adalah gejala alam permukaan daratan, membentuk suatu mintakat (*zone*) yang disebut pedosfer, tersusun atas massa galir (*loose*) berupa pecahan dan lapukan batuan (*rock*) bercampur dengan bahan organik. Berbeda dengan mineral, tumbuhan dan hewan, tanah bukan suatu ujud tedas (*distinct*). Di dalam pedosfer terjadi tumpang-tindih (*everlap*) dan salingtindak (*interaction*) antar litosfer, atmosfer, hidrosfer dan biosfer. Maka tanah dapat disebut gejala lintas-batas antar berbagai gejala alam permukaan bumi. (Notohadiprawiro, 2006)

Untuk pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Didalam tanah terdapat ikatan antara butiran yang disebabkan oleh zat organik, karbonat, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi udara, air, ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Bentukan terjadinya tanah dari bebatuan induknya, dapat berupa proses kimia maupun proses fisik. Pelapukan fisika terdiri dari dua jenis. Jenis pertama adalah penghancuran disebabkan terutama oleh pembasahan dan pengeringan terus-menerus ataupun pengaruh salju dan es. Jenis kedua adalah pengikisan, akibat air, angin, ataupun sungai es (*glacier*). Proses terbentuknya tanah secara fisik yang mengubah bebatuan menjadi partikel-partikel kecil, akibat terjadinya pengaruh dari air, angin, erosi, es, manusia, atau hancurnya partikel-partikel tanah akibat dari perubahan suhu maupun cuaca. Partikel-partikel tanah mungkin berbentuk bergerigi, bulat, ataupun bentuk-bentuk lain-lain diantaranya. Secara umum, terjadinya pelapukan akibat proses kimia yang dapat terjadi oleh

pengaruh karbondioksida, oksigen, air (mengandung alkali maupun asam) dan proses-proses kimia yang lainnya. Jika hasil dari pelapukan telah berpindah dari tempatnya disebut sebagai tanah terangkut (*transported soil*) dan apabila tanah masih berada pada tempat asalnya disebut sebagai tanah residual (*residual soil*). Dibawah merupakan batasan ukuran golongan tanah di jelaskan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers. U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung <0,075)	

Sumber: Braja M. (Das, 1995), (Wesley, 2012)

Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam teknik jalan raya adalah sistem Unified dan sistem AASHTO.

2.1.1 Sistem *Unified*

Menurut Sukirman (1999) sistem Unifed dikembangkan oleh Casagrande yang pada garis besarnya membedakan tanah menjadi tiga kelompok besar yaitu:

- Tanah berbutir kasar, < 50% lolos saringan No. 200. Secara visual butir-butir tanah berbutir kasar dapat dilihat oleh mata.

- b. Tanah berbutir halus, > 50% lolos saringan No. 200. Secara visual butir-butir tanah berbutir halus tak dapat dilihat oleh mata.
- c. Tanah organik, tanah ini dapat dikenal dari warna, bau dan sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung didalamnya

Sifat teknis tanah yaitu dilihat dari butir dan gradasinya. Oleh karena itu tanah yang berbutir kasar dilihat dari gradasi dan butir tanahnya. Tanah yang bergradasi kasar dan halus seimbang akan memberikan kepadatan yang baik dibandingkan dengan tanah berbutir seragam. Untuk pengelompokan tanah yang berbutir halus yaitu ditentukan oleh plastisitas tanahnya. Tanah yang berplastisitas tinggi mempunyai daya dukung yang kurang baik dan peka terhadap perubahan yang terjadi. Klasifikasi tanah sistem Unified dijabarkan dengan huruf-huruf seperti berikut:

G = Kerikil (*Gravel*)

S = Pasir (*Sand*)

M = Lanau (*Silt/Loam*)

C = Lempung (*Clay*)

W = Bergradasi Baik (*Well graded*)

P = Bergradasi buruk (*Poor graded*)

U = Bergradasi seragam (*Uniform graded*)

L = Plastisitas rendah (*Low liquid limit*)

H = Plastisitas tinggi (*High liquid limit*)

O = Organik (*Organic*)

2.2 Tanah Butir Halus

Tanah Berbutir Halus adalah tanah yang lebih dan 50% berat total contoh tanah lolos saringan No. 200 (0,074 mm). Tanah Berbutir Halus ini kemudian diklasifikasikan atas dasar plastisitasnya yaitu : untuk batas cair- rendah (< 50%) dan untuk batas cair tinggi (>50%). Sebagaimana yang di jelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 2.2 Pengelompokan Tanah Butir Halus

Kelompok		Simbol	Nama
Tanah Berbutir halus (Lebih dari 50% lolos saringan 200)	Batas cair kurang dari 50	ML	lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berpasir, lempung berkerikil, lempung berlanau, lempung kurus (<i>lean clay</i>)
		OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Batas cair kurang dari 50	MH	lanau anorganik atau pasir halus diatomae atau lanau diatomae, lanau yang eiastis
		CH	lanau anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk(fatclay)
		OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.
Tanah dengan kandungan organik yang sangat tinggi		PT	gambut (peat), muck dan tanah tanah dengan kandungan organik tinggi

Sumber : Hary Christady Hardiatmo, Desember 2012 (L Braja, 1995)

2.3 Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Perkerasan jalan diletakkan diatas tanah dasar, dengan demikian secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar yang baik untuk konstruksi perkerasan jalan adalah tanah dasar yang berasal dari lokasi itu sendiri atau didekatnya, yang telah dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat. Sifat masing-masing jenis tanah tergantung dari tekstur, kepadatan, kadar air, kondisi lingkungan, dan lain sebagainya (Sukirman Silvia, 1999).

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan pelengkapan drainase yang memenuhi syarat.

Tidak semua jenis tanah dapat digunakan sebagai tanah dasar pendukung badan jalan secara baik, karena harus dipertimbangkan beberapa sifat yang penting untuk kepentingan struktur jalan, seperti:

- a. Daya dukung dan kestabilan tanah yang cukup.
- b. Komposisi dan gradasi butiran tanah.
- c. Sifat kembang susut (*swelling*) tanah.
- d. Kemudahan untuk dipadatkan.
- e. Kemudahan meluluskan air (drainase).
- f. Plastisitas dari tanah.
- g. Sifat ekspansive tanah dan lain-lain.

2.4 Stabilisasi Tanah

Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat

pula, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu (Hardiyatmo, 2010).

Proses stabilisasi tanah untuk memperbaiki susunan tanah agar lebih kompak, juga agar susunan tanah butirannya lebih baik, yaitu diemua butiran ada sehingga rongga menjadi kecil. Adanya rongga kecil maka kontak antar butir menjadi lebih kuat dan stabil, serta nilai kepadatan tanah meningkat (Wahjoedi, 2015).

2.4.1 Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material glanurel dari tempat lain (Hardiyatmo, 2010)

2.4.2 Stabilisasi Dengan Menggunakan Bahan-Tambah

Stabilisasi menggunakan bahan bahan merupakan stabilisasi kimiawi, yang bertujuan untuk mengubah bahan atau memperbaiki sifat-sifat tanah. Dengan menambahkan campuran dengan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudahan dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan-tambah sedikit. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan-tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan-tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik (Hardiyatmo, 2010).

2.5 Bata Ringan

Bata ringan/ blok bata ringan (*Autoclaved Aerated Concrete*) adalah beton ringan yang terbuat dari bahan baku berkualitas tinggi, diproduksi dengan teknologi proses terbaru. Produk ini dapat digunakan sebagai pembuatan dinding suatu

struktur bangunan, maupun sebagai panel lantai, tergantung jenis dan ukuran bata ringan yang di pakai. (Hidayat, 2008)

Bata ringan pertama kali dikenalkan di Indonesia pada tahun 1995 yang di produksi oleh PT. Hebel Indonesia di Karawang, Jawa Barat. Ada 2 jenis bata ringan yang saat ini beredar di pasaran yaitu jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Celullar Lightweight Concrete* (CLC) seperti pada Gambar 2.5. Pada dasarnya kedua jenis bata ringan ini sama yaitu menambahkan gelembung udara kedalam mortar untuk mengurangi berat yang dihasilkan hanya saja cara pengeringannya yang berbeda.



Gambar 2.1 Bata Ringan

(Sumber : <https://eprints.itenas.ac.id>, 25 Agustus 2024)

2.5.1 Bata Ringan Jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC)

Bata ringan AAC merupakan bata ringan yang dimana proses pembuatan gelembung udara disebabkan oleh reaksi kimia, yaitu pada saat bubuk alumunium atau alumunium pasta mengembang seperti pada pembuatan roti saat penambahan bahan ragi untuk pengembangan adonan. Adonan bata ringan jenis AAC umumnya terdiri dari pasir kwarsa, kapur, gypsum, semen, air, dan alumunium pasta.

Setelah semua adonan tercampur, nantinya adonan akan mengembang selama 4-6 jam. Bahan alumunium pasta tadi berfungsi juga sebagai pengeras beton. Volume alumunium pasta ini yaitu sebanyak 5-8% dari volume adonan yang akan dibuat. Kemudian adonan tersebut dipotong sesuai ukuran yang diinginkan dan dimasukkan kedalam autoclave chamber atau diberi uap panas dan diberi tekanan tinggi. Suhu di dalam autoclave chamber sekitar 180°C-200 °C dan tekanan

antara 1,5–1,6 Mpa. Hal ini dilakukan sebagai proses pengeringan atau pematangan.

2.5.2 Bata Ringan Jenis *Celullar Lightweight Concrete* (CLC)

Bata ringan jenis CLC merupakan bata ringan yang proses curing-nya secara alami. Bata ringan CLC merupakan beton konvensional dimana agregat kasar (kerikil) digantikan oleh gelembung udara yang dihasilkan dari foam agent. Peralatan dan pabrikasi yang digunakan pada produksi jenis ini merupakan alat standar, sehingga produksinya mudah dapat disamakan dengan pabrikasi beton konvensional. Hanya semen, pasir, air dan foam agent. Berat jenis yang diinginkan dapat disesuaikan mulai dari 350 kg/m³ sampai dengan 1.800 kg/m³ dan nilai kekuatan dapat juga dicapai dari 1,5 sampai lebih dari 30 N/mm².

Bata ringan jenis CLC ini sama halnya dengan beton konvensional yang mana kekuatan akan bertambah seiring dengan berjalan-nya waktu. Meskipun bata ringan jenis ini tidak seingan jenis AAC. Jenis CLC ini tetap memberikan penurunan berat yang cukup besar jika dibandingkan dengan beton konvensional.

Menurut SNI 03 0349 1989 kelayakan bata beton digunakan untuk pasangan dinding dapat dilihat dari terpenuhinya karakteristik nilai kuat tekan dan nilai penyerapan air pada bata ringan. Tabel 2.3 dibawah ini merupakan macam-macam bata ringan dan ukurannya.

Tabel 2.3 Ukuran Standar Bata Ringan

Jenis Bata Ringan	Ukuran Bata (cm)		
	Tebal	Lebar	Panjang
ACC Block	60	20	7,5-20
ACC Jumbo Block	60	40	7,5-20

(Sumber: Mustika Land, 2022)

2.6 Kadar Air (*Water Content*)

Unsur yang terdapat didalam tanah secara umum terdiri dari tiga unsur yaitu butiran tanah atau partikel padat (*solid*), air (*water*), dan udara (air atau gas). Kandungan air dan udara yang terdapat di dalam tanah menempati rongga (*void*) yang terdapat di antara butiran, yang disebut pori tanah. Bila volume pori di dalam tanah dipenuhi oleh air, maka tanah dinyatakan dalam kondisi jenuh. Sebaliknya bila di dalam pori tanah tidak berisi air sama sekali, maka tanah dalam kondisi kering (Budi, 2011).

Menurut Budi (2011), Besarnya kandungan air yang terdapat di dalam suatu contoh tanah yang sering disebut kadar air, *wc* (*moisture content atau water content*) dinyatakan dalam prosentase terhadap berat tanah dalam keadaan kering, sehingga:

$$W_c = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

W_c = kadar air (*water content*)

W_w = berat air

W_s = berat tanah dalam keadaan kering (*oven dry*)

Menurut Wesley (2010), Kadar air diperoleh dengan cara menimbang contoh tanah sebelum dan sesudah dikeringkan di oven pada suhu antara 105-110°C. Biasanya, tanah dikeringkan dalam oven selama 24 jam.

Berat tanah basah dan wadah = W_1

Berat tanah kering dan wadah = W_2

Berat air = $W_1 - W_2$

Berat wadah = W_3

Berat butiran tanah = $W_2 - W_3$

Kadar air = $(W_1 - W_2) / (W_2 - W_3)$

2.7 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Untuk menentukan berat jenis tanah lolos saringan 4,75 mm (No. 4) menggunakan alat piknometer. Apabila tanah mengandung partikel lebih besar saringan 4,75 mm (No. 4), maka bagian yang tertahan saringan 4,75 mm (No. 4) diuji sesuai dengan (SNI 1964, 2008). Apabila tanah merupakan gabungan dari partikel yang lebih besar dan lebih kecil dari saringan 4,75 mm (No. 4), maka contoh tanah harus dipisahkan menggunakan saringan 4,75 mm (No. 4).

Menurut Hardiyatmo (2002), Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4° C.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2.2)$$

Menurut Wesley (2010), Untuk memperoleh nilai berat jenis, dibutuhkan tempat khusus yang disebut piknometer. Keunggulan piknometer adalah volumenya dapat diukur dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Pengujian teriebut digambarkan pada Gambar 2.2 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Piknometer ditimbang dalam keadaan kosong (W_1).
2. Contoh tanah dimasukkan ke dalam piknometer, kemudian ditimbang kembali (W_2).
3. Piknometer (yang masih berisi tanah) diisi dengan air dan kemudian ditimbang (W_3).
4. Piknometer kosong kemudian diisi dengan air dan kemudian ditimbang (W_4).

$$\text{Berat tanah} = W_2 - W_1 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Berat air ketika piknometer penuh dengan air} = W_4 - W_1 \dots\dots\dots (2.4)$$

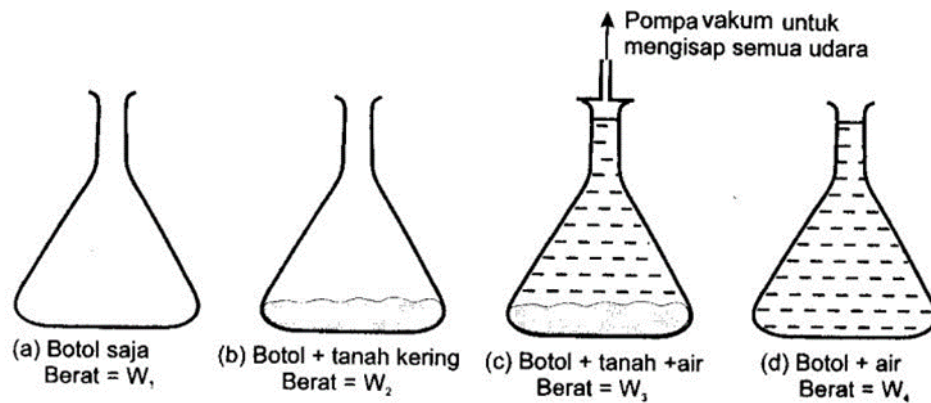
$$\text{Berat air ketika piknometer berisi air dan tanah} = W_3 - W_2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Berat air tanpa tanah} = (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Volume air dalam tanah} = \frac{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Berat satuan butiran} = \frac{\text{Berat tanah}}{\text{volume tanah}} = \frac{(W_2 - W_1) \gamma_w}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Berat jenis ditentukan} = G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.2 Cara menentukan berat jenis

(Sumber: Wesley, 2010)

Tabel 2.4 dibawah ini merupakan jenis-jenis pengelompokan tanah berdasarkan berat jenisnya.

Tabel 2.4 Berat Jenis Tanah

Jenis Tanah	Gs
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,65 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: (Hardiyatmo, 1992))

a) Hubungan antara angka pori dengan porositas:

$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots(2.11)$$

b) Berat volume basah dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1-e} \dots\dots\dots (2.12)$$

c) Untuk tanah jenuh air (S=1)

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1-e} \dots\dots\dots (2.13)$$

d) Untuk tanah kering sempurna:

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w}{1-e} \dots\dots\dots (2.14)$$

2.8 Batas Atterberg

Pada volume butiran tanah (*solid*) yang konstan, bila kadar air di dalam tanah lempung tersebut relatif besar, maka tanah lempung menjadi lumpur (*slurry*) yang bersifat seperti cairan yang kental (*viscous liquid*), dan kondisi ini disebut fase cair (*liquid state*). Sebaliknya bila kadar air di dalam tanah lempung dibiarkan menguap sedikit demi sedikit, maka tanah lempung mulai mengeras dan mempunyai kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Kondisi ini dinamakan fase plastis (*plastic state*). Jika kadar air dibiarkan menguap lebih lanjut, maka tanah lempung mengalami penyusutan (*shrink*), kaku (*stiff*), dan mudah retak (*brittle*). Kondisi ini dinamakan fase setengah-padat (semi solid). Pada proses penurunan kadar air, tanah lempung jenuh akan mengalami penyusutan yang besarnya sebanding dengan besarnya kehilangan volume air. Apabila kehilangan kadar air di dalam tanah tidak lagi menyebabkan perubahan volume total tanah (penyusutan), maka kondisi ini dinamakan fase padat (*solid*). Batas antara fase - fase tersebut dinamakan batas-batas Atterberg (Budi, 2011).

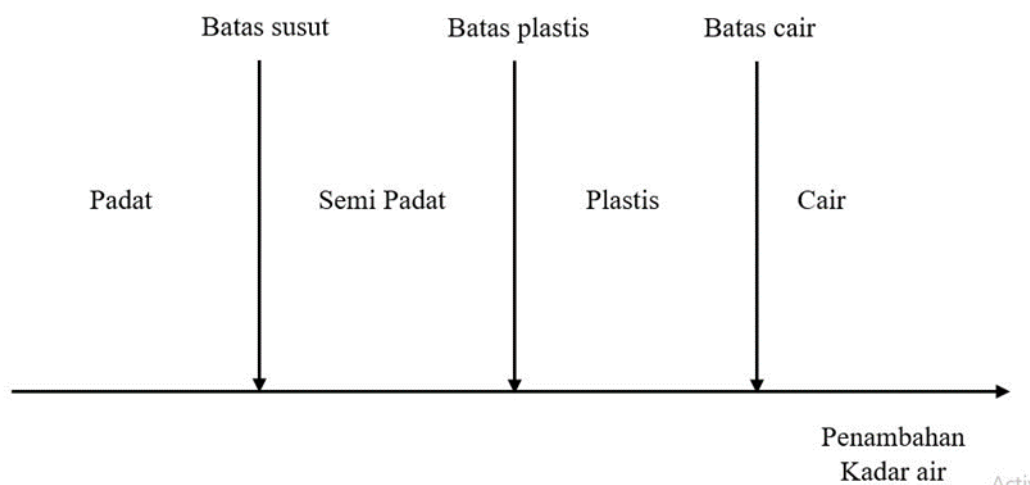
Sifat istimewa dari lempung adalah plastisitas, sehingga cara pengujian yang mengukur sifat ini merupakan petunjuk yang berguna tentang perilaku tanah tersebut. Uji yang digunakan selama bertahun-tahun pada mekanika tanah adalah batas Atterberg, yang menjadi petunjuk berharga untuk sifat lempung atau lanau. Nilai batas Atterberg adalah kadar air pada batas keadaan plastis tanah (Wesley, 2012).

Menurut Wesley (2010), Jika pada awalnya kadar air rendah, yaitu dalam keadaan kering, lempung tersebut adalah keras dan memiliki sifat seperti benda padat. Jika kadar airnya bertambah, lempung akan menjadi lebih lunak dan

memasuki tahap yang disebut semiplastis. Dengan terus menambah kadar airnya, lempung akan bertambah lunak sampai menjadi plastis. Pada tahapan plastis, lempung dapat mengalami perubahan bentuk tanpa terjadi retak atau pecah, dan tanpa mengubah volumenya. Jika kadar airnya terus ditambah, maka lempung tersebut akan menjadi sangat lunak sehingga lebih berupa cair daripada benda plastis. Kadar air yang menjadi batas dari tahap-tahap ini dinamakan batas susut, batas plastis, dan batas cair.

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*) (Hardiyatmo, 2002).

Gambar 2.3 Batas-batas Atterberg



(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.8.1 Batas Cair (*liquid Limits*) LL

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis (Hardiyatmo, 2002).

Batas cair adalah kadar air apabila galur bertaut sepanjang 13 mm dengan 25 putaran. Tidak praktis untuk mencari kadar air yang dengan 25 kali putaran tepat,

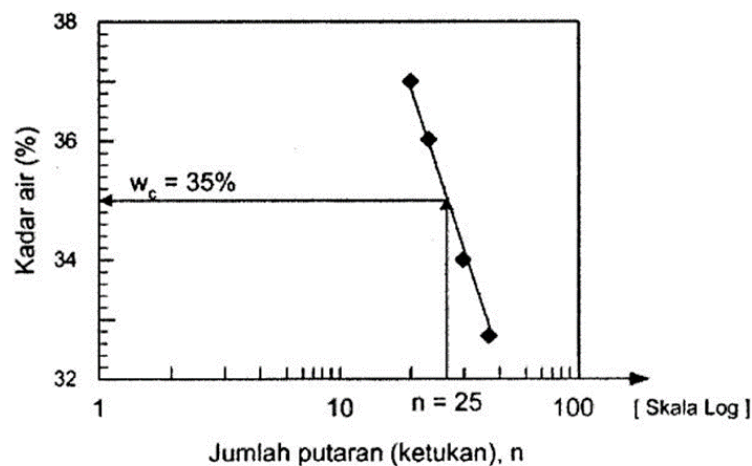
galur sepanjang 13 mm bertaut. Oleh karena itu, pengujian dilakukan pada beberapa contoh yang kadar airnya berbeda, dengan tujuan mendapat dua titik di atas dan di bawah batas cair. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan (Wesley, 2010). Tabel 2.5 dibawah ini yaitu penentuan kadar air pada batas cair.

Tabel 2.5 Contoh Penentuan Kadar Air Pada Batas Cair (LL)

Kode Cawan	Berat cawan kosong (W ₁)	Berat cawan dan tanah basah (W ₂)	Berat cawan dan tanah kering (W ₃)	Jumlah putaran (n)	Kadar air (%) $W_c = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$
A1	15.6	75.2	60.5	35	32.7
A2	14.1	73.4	58.3	29	34.2
D4	20.5	88.2	70.2	23	36.2
B6	18.3	117.2	90.5	20	37.0

(Sumber Budi, 2011)

Berdasarkan pada tabel 2.5 diperoleh besarnya batas cair (LL) contoh tanah 35%



Gambar 2.4 Penentuan Batas Cair

(Sumber: Budi, 2011)

Menurut Hardiyatmo (2002). Dari banyak uji batas-cair, Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi (1949), mengusulkan persamaan batas cair:

$$LL = W_N \left[\frac{N}{25} \right]^{\tan \beta} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan:

N = jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm).

W_N = kadar air.

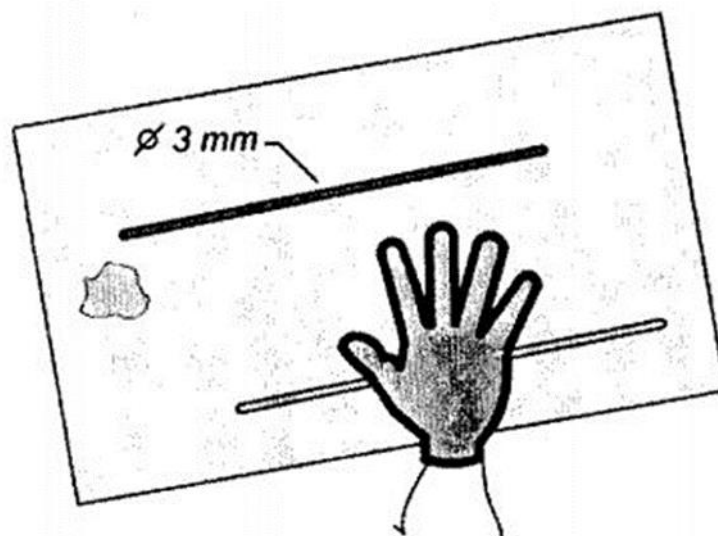
$\tan \beta = 0,121$ (tapi $\tan \beta$ tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah).

2.8.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*) PL

Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah, didefinisikan sebagai kadar air dan dinyatakan dalam persen, di mana tanah apabila digulung sampai dengan 1/8 inci (3,2 mm) menjadi retak-retak. Cara pengujiannya sangat sederhana, yaitu dengan menggulung contoh tanah dengan telapak tangan di atas kaca datar (Sutarman, 2013).

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2002).

Batas plastis (SNI 1967:2008, 2008) didefinisikan sebagai kadar air di dalam tanah pada fase antara plastis dan semi padat. Seperti telah diuraikan sebelumnya, apabila kadar air di dalam tanah berkurang, maka tanah menjadi lebih keras dan memiliki kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Perubahan tanah dari cair menjadi padat tersebut akan melalui fase yang dinamakan semi padat.



Gambar 2.5 Proses Penentuan Batas Plastis

(Sumber: Budi, 2011)

Tabel 2.6 Contoh Penentuan Kadar Air Pada Batas Plastis

Kode Cawan	Berat cawan kosong (W_1)	Berat cawan dan tanah basah (W_2)	Berat cawan dan tanah kering (W_3)	Kadar air (%) $W_c = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$
A1	15.6	75.2	64.5	21.9

(Sumber: Budi, 2011)

2.8.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*) SL

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa. Batas susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan

m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (g)

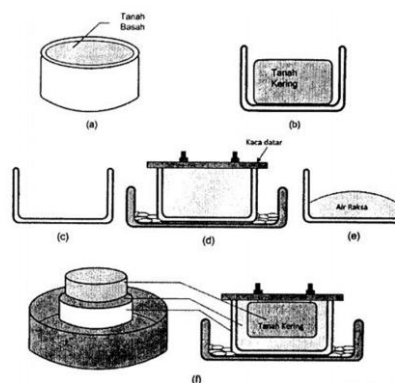
m_2 = berat tanah kering oven (g)

v_1 = volume tanah basah dalam cawan (cm^3)

v_2 = volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat volume air (g/cm^3)

Batas susut (ASTM D-427, 1998) diindikasikan sebagai kadar air dimana pengurangan kadar air pada tanah tidak lagi mempengaruhi volume total tanah. Seperti telah disebutkan sebelumnya, suatu contoh tanah akan menyusut sebanding dengan volume air di dalam pori tanah yang menguap. Namun terdapat suatu batas dimana berkurangnya air di dalam pori tanah tidak mengurangi volume tanah (Budi, 2011).



Gambar 2.6 Skema Pengujian Batas Susut

(Sumber: Budi, 2011)

2.8.4 Index Plastisitas (*Plasticity Index*) PI

Menurut Hardiyatmo (2002). Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.17)$$

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran

lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Seperti yang di jelaskan tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2.7 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: Hardiyanto, 2002)

2.9 Analisis Saringan

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu (Hardiyatmo, 2002).

Menurut (SNI 03-3423-1994, 2018) Percobaan Ini berlandaskan ASTM D422, AASHTO T88, yang pada dasarnya analisis ukuran butir ini terdiri dari:

- Mendapatkan contoh tanah yang representatif dan mengurangi menjadi partikel- partikel elemen, diaduk menjadi mortel serta dicuci pada saringan no. 200.
- Contoh disaring melalui susunan saringan empat sampai enam buah saringan, kemudian butiran yang tertahan pada setiap saringan ditimbang.
- Hitung persentase tanah yang tertahan oleh masing-masing saringan berdasarkan berat komulatif serta berat total contoh.
- Gambarkan persentase tanah yang lolos saringan pada kertas semilog.
- Gambaran semilog ini dipergunakan untuk memberikan keterangan dari ukuran butir tanah.

Ada jenis tanah yang terdiri atas butiran dengan berbagai macam ukuran, dari kerikil kasar dan pasir hingga lanau dan lempung. Tanah ini disebut tanah bergradasi baik. Tanah lain yang terdiri atas bahan dengan ukuran yang hampir sama disebut tanah bergradasi seragam. Golongan ketiga, jarang ditemukan, terbentuk dari bahan dengan berbagai ukuran, tetapi ada ukuran tertentu yang hilang. Golongan ini disebut tanah bergradasi celah, terkadang disebut juga tanah bergradasi buruk (Wesley, 2010).

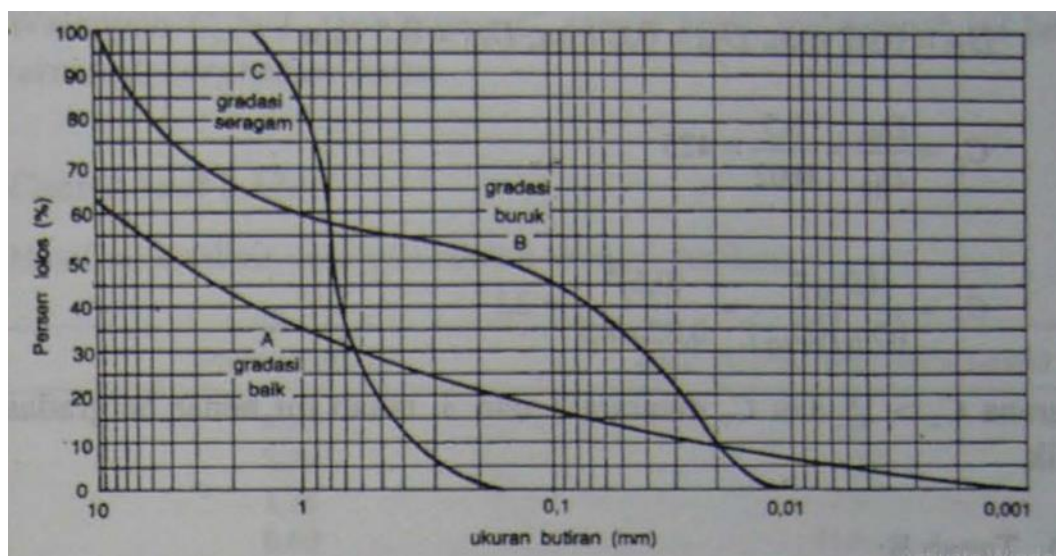
Ukuran lubang dari beberapa standar dari beberapa standar dapat dilihat pada tabel 2.8

Tabel 2.8 Diameter Lubang Ayakan Beberapa Standar

<i>American Society for Testing and Materials, ASTM</i>		<i>AASHTO</i>	<i>British Standard BS 1377: 1975</i>	
Nomor ayakan	Ukuran lubang (mm)	Ukuran lubang (mm)	Nomor ayakan	Ukuran lubang (mm)
No. 4	4.76	4.75		
No. 6	3.35			
No. 8	2.36	2.36	No. 8	2.057
No. 10	2.00			
No. 16	1.18	1.18	No. 16	1.003
No. 20	0.841			
No. 30	0.595	0.600	No. 30	0.500
			No. 36	0.422
No. 40	0.425			
No. 50	0.300	0.300	No. 52	0.295
No. 60	0.250		No. 60	0.251
No. 80	0.180		No. 85	0.178
No. 100	0.150	0.150	No. 100	0.152
No. 140	0.106			
No. 170	0.088	0.090		

<i>American Society for Testing and Materials, ASTM</i>		<i>AASHTO</i>	<i>British Standard BS 1377: 1975</i>	
Nomor ayakan	Ukuran lubang (mm)	Ukuran lubang (mm)	Nomor ayakan	Ukuran lubang (mm)
No. 200	0.075	0.075	No. 200	0.076

(Sumber: Budi, 2011)



Gambar 2.7 Analisis Distribusi Ukuran Butiran

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.9.1 Koefisien Keseragaman (*Uniformity Coefficient*), U

Menurut Budi (2011). Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*) didefinisikan sebagai kemiringan (*slope*) dari grafik penyebaran butiran tanah. Keseragaman dipresentasikan sebagai perbandingan antara ukuran ayakan dimana masing-masing 60 persen dan 10 persen tanah lolos pada ukuran lubang ayakan tersebut. Koefisien keseragaman yang dinotasikan U, dirumuskan sebagai:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

U = koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*)

D_{60} = ukuran lubang ayakan dimana 60% butiran tanah lolos pada ukuran lubang tersebut 60

D_{10} = ukuran efektif, yaitu ukuran lubang ayakan dimana 10% butiran tanah lolos pada ukuran lubang tersebut

2.9.2 Koefisien Gradasi (*Coefficient of Graduation*), C_z

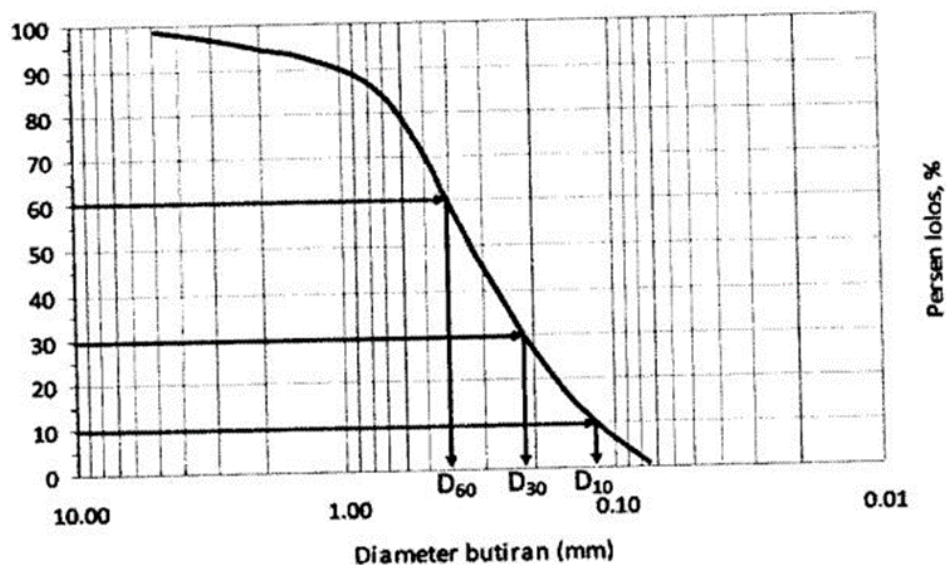
Menurut Budi (2011). Koefisien gradasi (C_z) dirumuskan sebagai;

$$C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

D_{60} D_{30} D_{10} = ukuran lubang ayakan dimana masing-masing 60%, 30%, dan 10% butiran tanah lolos pada ukuran lubang tersebut

Besarnya nilai D_{60} D_{30} dan D_{10} , dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Penentuan D_{60} D_{30} D_{10}

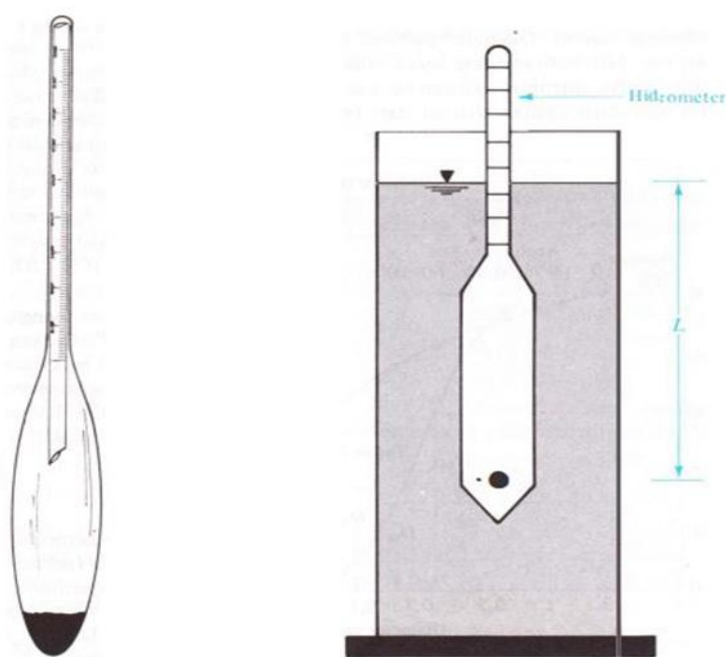
(Sumber: Budi, 2011)

2.10 Hidrometer

Analisa Hydrometer adalah cara tidak langsung yang dipakai untuk menentukan distribusi butiran tanah yang mempunyai ukuran kurang dari 0.075 mm. Metode ini didasarkan pada perumusan Stokes, yang mengkorelasikan diameter butiran tanah dengan kecepatan penurunan butiran tanah di dalam cairan (Budi, 2011).

Pada uji hidrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan ke dalam air destilan yang dicampuri dengan bahan pendeflokulasi (*deflocculating agent*) yang dapat berupa sodium *hexametaphosphate* agar partikel-partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Kemudian, larutan suspensi ditempatkan pada tabung hidrometer (Hardiyatmo, 2002).

Di dalam laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (= 457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml. Campuran Calgon (natrium hexametaphosphate) biasanya digunakan sebagai bahan pendispersi (*dispersing agent*). Total volume dari larutan air + calgon + tanah yang terdispersi dibuat menjadi 1000 ml dengan menambahkan air suling (Das, 1995). Pada Gambar 2.8 ditunjukkan sebuah alat hidrometer tipe ASTM 152 H.



Gambar 2.9 Definisi L pada uji
Hidrometer

(Sumber: Das, 1995)

Menurut Das (1995). Untuk mudahnya, dapat dianggap bahwa semua partikel tanah itu berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendap dari partikel-partikel tersebut dapat dinyatakan dalam hukum Stokes, yaitu:

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} D^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan

v = kecepatan mengendap

γ_w = berat volume air (g/cm^3)

γ_s = berat volume partikel tanah (g/cm^3)

μ = kekentalan air (g.det/cm^2)

D = diameter partikel tanah (mm)

Jadi dari persamaan (2.15),

$$D = \sqrt{\frac{18 \mu v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18 \mu}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Di mana:

$$\frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{L}{t} \dots\dots\dots (2.22)$$

Perhatikan bahwa:

$$\gamma_s = G_s \gamma_w \dots\dots\dots (2.23)$$

Jadi, dengan mengkombinasikan persamaan-persamaan (2.21) dan (2.22), maka:

$$D = \sqrt{\frac{18 \mu}{(G_s - 1) \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Bila satuan μ adalah dalam gram.detik/cm^2 , γ_w dalam gram/cm^3 , L dalam cm, t dalam menit, dan D dalam mm, didapat:

$$\frac{D \text{ (mm)}}{10} = \sqrt{\frac{18 \mu \text{ (g.det)/cm}^2}{(G_s - 1) \gamma_w \text{ (g/cm}^3)}} \sqrt{\frac{L \text{ (cm)}}{t \text{ (men)}.60}} \dots\dots\dots (2.25)$$

Atau

$$D = \sqrt{\frac{30 \mu}{(G_s - 1) \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan menganggap bahwa γ_w kira-kira 1 gram/cm³, didapat:

$$D(\text{mm}) = K \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{men})}} \dots\dots\dots (2.27)$$

Di mana:

$$K = \sqrt{\frac{30 \mu}{(G_s - 1)}} \dots\dots\dots (2.28)$$

Harus dicatat bahwa harga K merupakan fungsi dari G_s dan μ , yang tergantung pada temperatur uji. Pada gambar berikut diberikan variasi harga K menurut temperatur uji dan harga berat jenis (G_s) dari butiran tanah.

Temperatur	Gs							
	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80
16	0,01510	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,1414	0,01394	0,01374
17	0,01511	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339
19	0,01474	0,01449	0,01425	0,01403	0,01381	0,01361	0,01341	0,01323
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204
28	0,01327	0,01204	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191
29	0,01312	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01169

Gambar 2.10 Harga-harga K

(Sumber: Das, 1995)

2.11 Pemadatan Tanah

Pemadatan adalah proses yang dilakukan untuk merapatkan butiran tanah (*solid*) yang satu dengan yang lain, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah menjadi kecil (Budi, 2011).

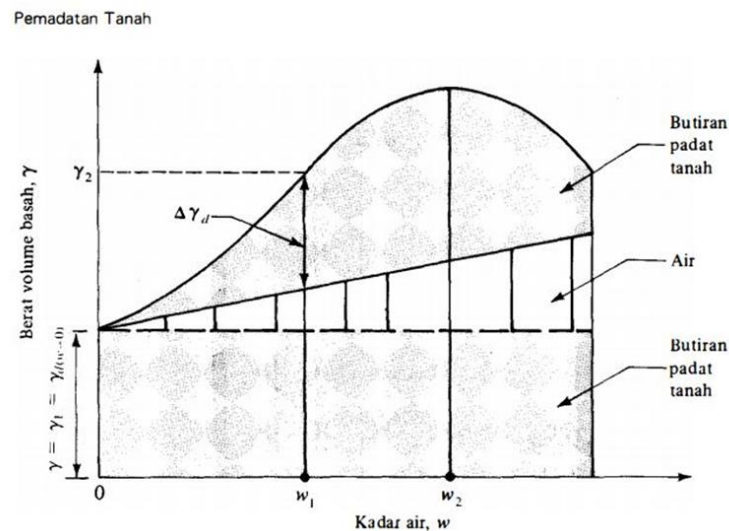
Menurut Hardiyatmo (2002). Pada awal pemadatan berat volume kering bertambah ketika kadar air bertambah. Pada kadar air nol ($w = 0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume kering (γ_d), atau $\gamma_{b(w=0)} = \gamma_d = \gamma_1$

Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah, dan usaha pemadatan yang sama digunakan pada saat pemadatan, berat butiran tanah padat per volume satuan juga bertambah. Misalnya, pada saat kadar air sama dengan w_1 maka berat volume basah (γ_b) menjadi:

$$\gamma_b = \gamma_2$$

Berat volume kering (γ_d) pada kadar air tersebut:

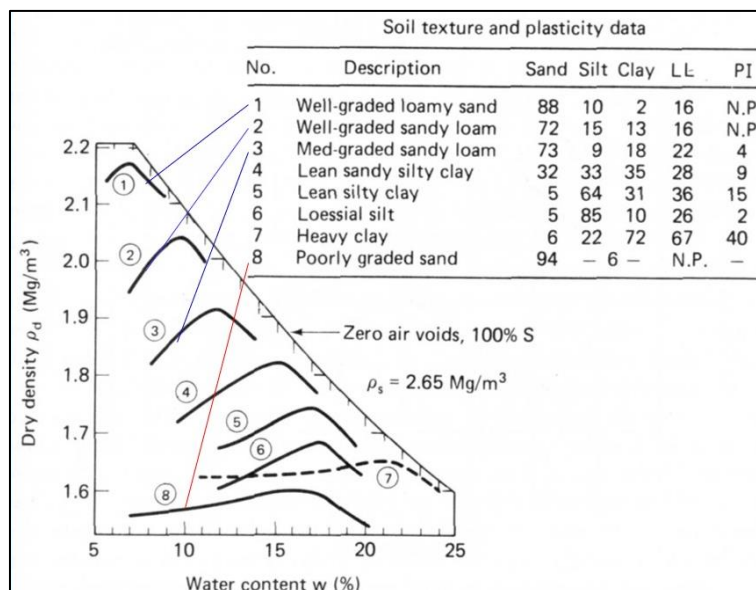
$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta\gamma_d$$



Gambar 2.11 Prinsip Pemadatan

(Sumber: Das, 1995)

Berdasarkan (Johnson dan Sallberg, 1960), hubungan kadar air dengan berat isi kering untuk delapan jenis tanah yang dipadatkan menurut standar proctor dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini .



Gambar 2.12 Hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering Untuk Delapan Jenis Tanah Yang dipadatkan Menurut Standar Proctor ((Johnson dan Allberg, 1960)

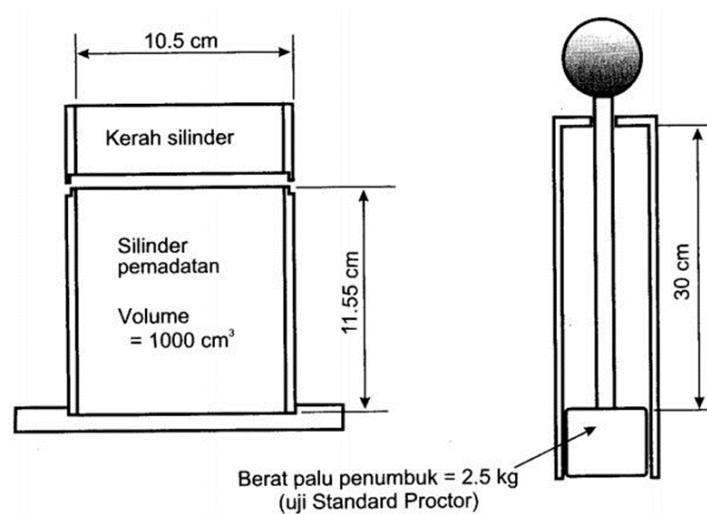
Dari hasil pengujian yang biasa dipergunakan untuk menilai sifat pemadatan, dapat diketahui perilaku tanah ketika dipadatkan. Pengujian ini biasanya disebut pengujian pemadatan "Standar Proctor" atau pengujian pemadatan "*modified (heavy) Proctor*". Dalam pengujian ini dilakukan dengan memakai pemadatan Standar Proctor. Berikut merupakan perbedaan antara pemadatan *proctor* dan *modified*.

Tabel 2.9 Perbedaan Pemadatan *Standar Proctor* dan *Modified Proctor*

		Standar	Modified
Mold	Diameter	4 inch	4 inch
	isi	1/30 cubic feet	1/30 cubic feet
Hammer	Berat	5.5 Pound	10 Pound
	Tinggi Jatuh	12 inch	18 inch
Lapisan		3 lapis	5 lapis
Jumlah Pukulan		25 x/ lapis	25 x/lapis
Energi		± 12000 ft-lb/cu-ft	± 56000 ft-lb/cu-ft

(sumber; (Pemadatan Standar Proctor dan Modified, 2008)

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 15.1. Keduanya dibuat menurut ukuran dan beban tertentu.



Gambar 2.13 Peralatan yang dipakai pengujian pemadatan 'Proctor'

(Sumber: Wesley, 2010)

Menurut Hardiyatmo (2002). Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots(2.25)$$

Kemungkinan berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering jenuh (γ_{sav}), dapat dihitung dari persamaan:

$$\gamma_{sav} = \frac{G_s \gamma_w}{1+wG_s} \dots\dots\dots(2.25a)$$

karena saat tanah jenuh ($S = 1$) dan $e = wG_s$, maka:

$$\gamma_{sav} = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \dots\dots\dots(2.25b)$$

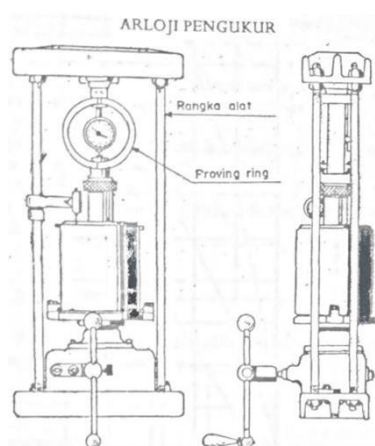
Berat volume kering (γ_d) setelah pemadatan pada kadar air w dengan kadar udara (*air content*), A ($A = V_a/V = \text{volume udara/volume total}$) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{G_s (1-A) \gamma_w}{1+wG_s} \dots\dots\dots(2.26)$$

2.12 California Bearing Rasio (CBR)

Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR. CBR pertama kali diperkenalkan oleh California Division of Highways pada tahun 1928. Orang yang banyak mempopulerkan metode ini adalah O.J.Portec. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1"/0,2" dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1"/0,2". Harga CBR dinyatakan dalam persen. Jadi harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas .(SNI, 2012)

Prinsip dasar dari pengujian CBR adalah membandingkan besarnya beban (gaya) yang diperlukan untuk menekan torak dengan luas penampang 3 inch² ke dalam lapisan perkerasan sedalam 0.1 inch (2.54 mm) atau 0.2 inch (5.08 mm) dengan beban standar. Oleh karena itu, kekokohan lapisan perkerasan dinyatakan dalam "kekokohan relatif" atau persen kekokohan. Besarnya beban standar untuk penetrasi 0.1 inch adalah 3000 lbs (pound) atau sekitar 1350 kg, sedangkan besarnya beban standar untuk penetrasi 0.2 inch adalah 4500 lbs atau sekitar 2025 kg (Budi, 2011).



Gambar 2.14 Alat pemeriksa CBR

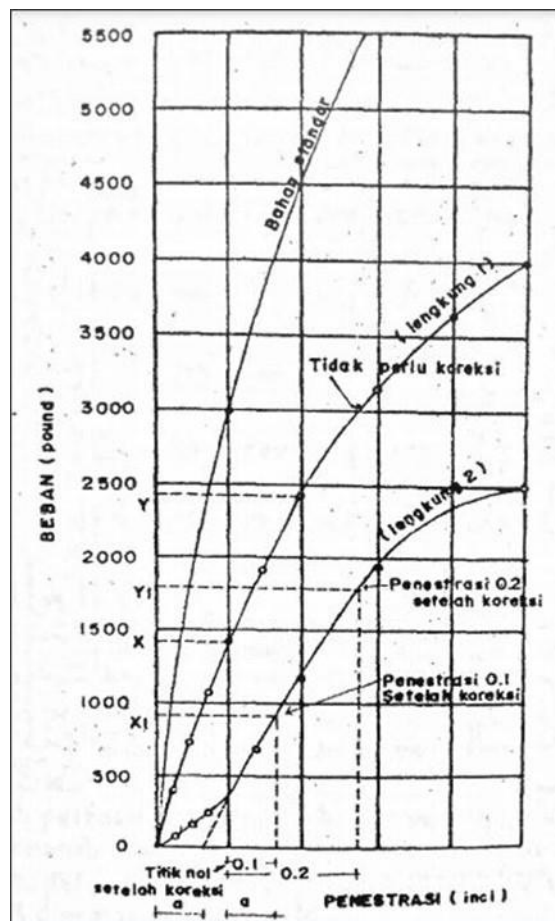
(Sumber: Sukirman, 1999)

Tabel 2.9 dibawah merupakan penjelasan menurut Sukirman (1999). Beban yang dipergunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar adalah sbb:

Tabel 2.10 Besarnya beban yang dibutuhkan untuk melakukan penetrasi bahan standar

Penetrasi Inch	Beban Standar Ibs	Beban Standar Ibs/inch ²
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

(Sumber: Sukirman, 1999)



Gambar 2.15 Grafik hubungan antara beban dan penetrasi pada pemeriksaan CBR

(Sumber: Sukirman, 1999)

Menurut Sukirman (1999). Perlu diperhatikan bentuk lengkung yang diperoleh. Jika lengkung yang diperoleh seperti lengkung 1 (awal lengkung merupakan garis lurus) pada gambar 2.14 maka:

$$CBR_{0,1''} = x/3000 \times 100\% = a \% \dots\dots\dots (2.27)$$

$$CBR_{0,2''} = y/4500 \times 100\% = b \% \dots\dots\dots (2.28)$$

Nilai CBR adalah nilai yang terbesar antara a & b

Jika lengkung yang diperoleh seperti lengkung 2 (awal lengkung merupakan lengkung cekung) pada gambar 2.14 maka :

$$CBR_{0,1''} = x_1/3000 \times 100\% = a_1 \% \dots\dots\dots (2.29)$$

$$CBR_{0,2''} = y_1/4500 \times 100\% = b_1 \% \dots\dots\dots (2.30)$$

Nilai CBR adalah nilai yang terbesar antara a_1 dan b_1 , x_1 dan y_1 diperoleh dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tarik garis singgung pada garis lengkung sehingga memotong sumbu absis.
2. Geser titik yang menunjukkan penetrasi 0,1'' dan 0,2'' ke kanan sejauh a (gambar 2.14), titik-titik tersebut menjadi titik 0,1'' dan 0,2''.

Berdasarkan grafik CBR terhadap penambahan kadar kapur padam (lime), tanah ekspansif mengalami peningkatan CBR tanah bersamaan dengan penambahan kadar kapur padam. Peningkatan nilai CBR campuran kapur padam dengan tanah ekspansif tidak melonjak tinggi setelah kadar kapur diatas 6% pada uji CBR atas dan 9% pada uji CBR bawah. Penambahan kadar kapur padam lebih besar dari pada 9% hanya memberikan perubahan CBR relatif kecil. Dengan demikian nilai stabilitas tanah ekspansif sebagai material timbunan dicapai pada nilai CBR optimum pada penambahan kadar kapur padam antara 6% s/d 9% (Sutikno, 2009).

Dari seluruh hasil percobaan yang dilakukan pada percobaan penelitian penambahan pasir pada tanah lempung, penulis mendapatkan hasil nilai California Bearing Ratio dengan variasi 0%, 15%, 30% berturut-turut adalah sebagai berikut : 6.803, 10.339, 14.409. Dari hasil nilai California Bearing Ratio maka penulis dapat menyimpulkan bahwa penambahan pasir quarsa pada campuran tanah lempung

pada percobaan ini ternyata menaikkan nilai California Bearing Ratio, yang dalam artian penambahan pasir pada tanah meningkatkan kekuatan dari tanah tersebut (Simanjuntak, 2017).

Dari hasil pengujian CBR memperlihatkan peningkatan seiring dengan penambahan kadar limbah bata ringan. Kondisi tanah asli 0% adalah sebesar 2,96%. Untuk penambahan limbah bata ringan 10% terjadi peningkatan sebesar 3.2%, untuk penambahan limbah bata ringan 20% terjadi peningkatan sebesar 3.3%%. untuk penambahan limbah bata ringan 30% terjadi peningkatan 3,7%, untuk penambahan limbah bata ringan 40% terjadi peningkatan sebesar 8,7%. Kenaikan nilai CBR ini adalah yang tertinggi (Hairulla, 2015).