

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tanah

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, 1993).

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). (Hardiyatmo, 2001). Tanah juga dapat didefinisikan sebagai bahan kulit bumi yang belum terkonsolidasi (Kasiro, 1994).

Menurut Bowles (1991), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*Boulders*), yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*) atau pebbes.
- b. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), yaitu batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm. Berkisar dari kasar (3 sampai 5 mm) sampai halus (< 1mm).
- d. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074 mm.
- e. Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari sifat kohesif.

2.2. Pembentukan Tanah

Menurut Laurence D. Wesley dalam buku *Soil Mechanics For Geotechnical Engineers*, tanah terbentuk oleh pelapukan fisik dan kimiawi pada batuan. Pelapukan fisik terdiri atas dua jenis, jenis pertama adalah penghancuran, yang sebab utamanya oleh pembasahan dan pengeringan terus menerus ataupun oleh pengaruh salju dan es. Jenis kedua adalah pengikisan, akibat air, angin ataupun sungai es (*glacier*), proses yang kedua ini menghasilkan butiran yang kecil sampai besar namun komposisinya masih tetap sama dengan batuan asalnya. Perlu dimengerti bahwa pelapukan fisik tidak akan menghasilkan tanah bersifat lempung sekalipun ukuran butirnya sama kecilnya dengan ukuran butir tanah lempung, karena untuk menghasilkan tanah lempung harus melibatkan proses pelapukan kimiawi.

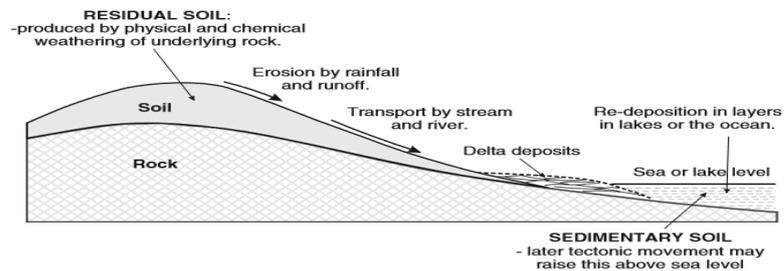
Pelapukan kimiawi adalah proses yang lebih rumit dari pelapukan fisik, pelapukan kimiawi memerlukan air serta oksigen dan karbon dioksida. Proses pelapukan kimiawi ini mengubah mineral yang terkandung dalam batuan menjadi jenis mineral lain yang sangat berbeda sifatnya. Mineral yang baru dibentuk ini disebut dengan mineral lempung (*clay minerals*).

Selain pelapukan fisik dan kimiawi, faktor penting lain yang terlibat dalam pembentukan tanah adalah pengangkutan butir tanah dan kemudian pengendapannya di lain tempat seperti laut atau danau. Tanah yang terbentuk langsung akibat pelapukan kimiawi disebut tanah residu (*residual soil*). Tanah ini tetap pada tempat pembentukannya diatas batuan asalnya. Hujan menyebabkan erosi dan tanah diangkut melalui sungai sampai mencapai laut atau danau. Disini terjadi pengendapan lapisan demi lapisan pada dasar laut atau danau. Proses ini dapat berlangsung selama ribuan atau jutaan tahun. Tanah ini disebut tanah endapan (*sedimentary soil*) atau tanah yang terangkut (*transported soil*).

Setelah terjadi pengendapan, tanah ini masih mengalami perubahan selanjutnya akibat dua faktor berikut:

1. Tekanan dari bahan tanah diatasnya; ini menyebabkan pemampatan sehingga tanah menjadi lebih padat dan lebih kuat.

- Perubahan kimia yang berlangsung perlahan-lahan pada jangka waktu yang lama. Akibat perubahan ini, tanah menjadi lebih kuat. Pengaruh ini disebut pengerasan (*bardening*) atau penuaan (*aging*).



Gambar 2.1. Cara pembentukan tanah
Sumber: Wesley, 2010

2.3. Batuan Piroklastik dan Formasi Tufa Lampung

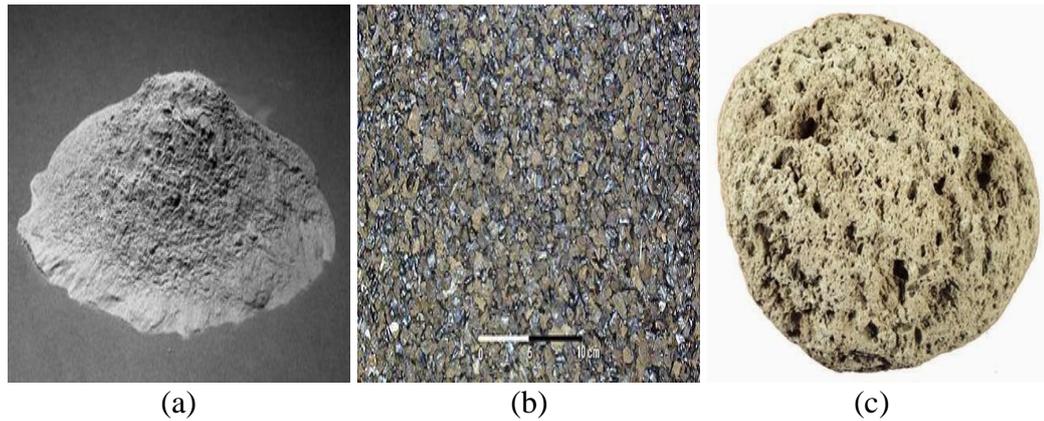
Batuan piroklastik adalah jenis batuan yang tersusun oleh material-material yang dihasilkan dari letusan gunung api. Jenis batuan ini biasanya dicirikan oleh adanya material-material piroklas yang dominan (gelas, kristal, batuan vulkanik), butiran yang bersudut (*angular*), dan porositas yang relatif tinggi. Salah satu jenis tanah yang terbentuk oleh pelapukan batuan piroklastik ini adalah tanah residual tufa atau batu putih.

Schmid (1981) membuat klasifikasi batuan piroklastik berdasarkan besar butir/ukuran pecahan (*klast*) yang dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar 2.2, 2.3.

Tabel 2.1. Klasifikasi Batuan Piroklastik Berdasarkan ukuran Pecahan

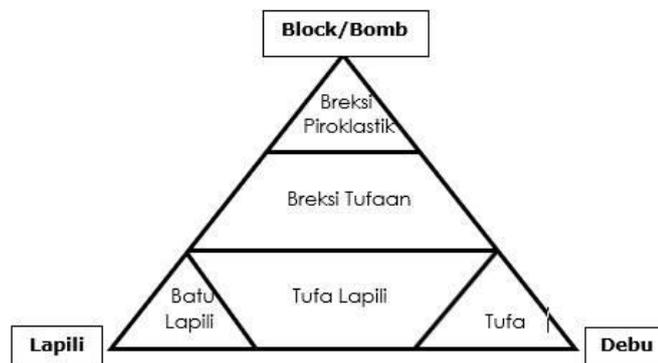
Ukuran Klast (pecahan)	Piroklast	Endapan Piroklastik Non-konsolidasi : Tefra	Endapan Piroklastik Konsolidasi : Batuan Piroklastik
64 mm	Blok (menyudut) Bom (membundar)	Aglomerat, lapisan blok/bom atau blok/bom tefra	Aglomerat, Breksi Piroklastik
	Lapili	Lapisan Lapili atau Tefra Lapili	Batuan Lapili
2 mm	Butiran debu (ash) kasar	Debu (Ash) Kasar	Tuf Kasar
	Butiran debu (ash) halus	Debu (Ash) Halus	Tuf Halus

Sumber : Schmid, 1981.



Gambar 2.2. Ukuran piroklastik : a. Ash (debu); b. Lapili; c. Bomb

Sumber: catatan-si-ilham.blogspot.com/2017/02/jenis-jenis-batuanlengkap.html



Gambar 2.3. Macam-macam ukuran piroklastik

Sumber: Google

Penamaan untuk batuan campuran piroklastik – epiklastik (Schmid, 1981) dapat dilihat pada tabel 2.2.

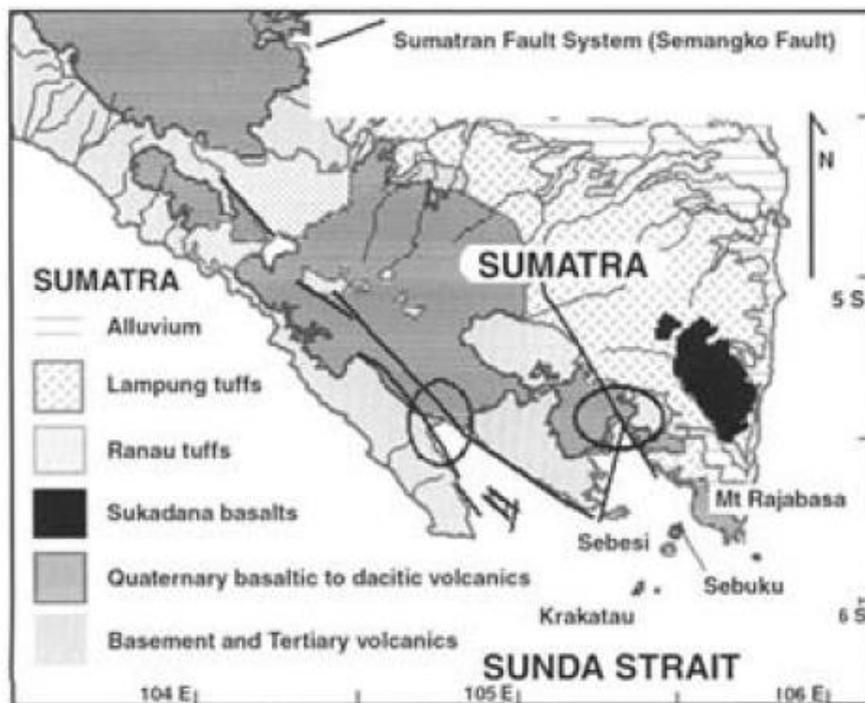
Tabel 2.2. Penamaan untuk campuran batuan piroklastik-epiklastik

Piroklastik	Tufit (Campuran Piroklastik- Epiklastik)	Epiklastik (Volkanik- Non-volkanik)	Rata-rata besaran klastika (mm)
Aglomerat, Aglutinat Breksi piroklastik	Konglomerat tufan, Breksi tufan	Konglomerat, Breksi	64
Batulapili			
(Debu) tuf	kasar halus	Batupasir tufan Batulanau tufan Batulempung tufan	Batupasir Batulanau Batulempung, Serpih
100%	75%	25%	0% volume
← (bertambah) Piroklastik (bertambah) → Epiklas volkanik + non-volkanik (+ kandungan minor sedimen biogenik, kimiawi & autigenik)			

Sumber : Schmid, 1981.

Provinsi Lampung memiliki Gunung Rajabasa sebagai gunung berapi aktif. Gunung ini terletak di Kabupaten Lampung Selatan. Berdasarkan pada peta geologi regional, Gunung Rajabasa berada pada peta formasi satuan gunung api muda tersusun dari lava berkomposisi andesit-basal, breksi, dan tufa. Formasi Lampung dan Andesit Tersier berada disekelilingnya. Karakteristik dan parameter teknis dari tanah residu hasil pelapukan endapan vulkanik merupakan satuan andesit yang lebih tua disusun oleh lava andesitik sebagai produk dari vilkanisme tersier menyebar dari bagian barat sampai bagian tenggara Gunung Rajabasa (Bronto dkk, 1993).

Karakteristik tanah di Provinsi Lampung dipngaruhi oleh kegiatan erupsi Gunung Krakatau yang pernah meletus di tahun 1883. Hasil erupsi tersebut berupa endapan hasil letusan gunung krakatau di Daerah Pantai Gubug Gaam, Tarahan dan Lampung Selatan. Lapisan endapan berupa lapisan yang terdiri dari lapisan pasir yang mengandung fragmen cangkang, lapisan abu vulkanik, dan lapisan batu apung. Pasir endapan yang teridentifikasi mempunyai ukuran butiran pasir halus sampai pasir kasar (Putra dkk, 2013).



Gambar 2.4. Peta Geologi Provinsi Lampung

Sumber: Darmawan, 2013

2.4. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum tanah pada kondisi fisik tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah, untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk suatu data dasar.

Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1991).

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Tetapi yang paling umum digunakan adalah :

- a. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified (Unified Soil Classification System / USCS)*.
- b. Sistem klasifikasi AASHTO.

- a. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Sistem klasifikasi *Unified* ini mengelompokkan tanah menjadi 2 bagian :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu sampel tanah yang diuji < 50% lolos ayakan No. 200. Disimbolkan mulai dari G atau S. G untuk tanah berkerikil atau kerikil (*gravel*) dan S untuk tanah berpasir atau pasir (*sand*).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu sampel tanah yang diuji > 50% lolos ayakan No. 200. Disimbolkan mulai dari M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT untuk tanah gambut (*peat*), *muck* (tanah yang mengandung bahan organik 35–65%), dan tanah lainnya yang memiliki kadar organik yang tinggi.

Tabel 2.3. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

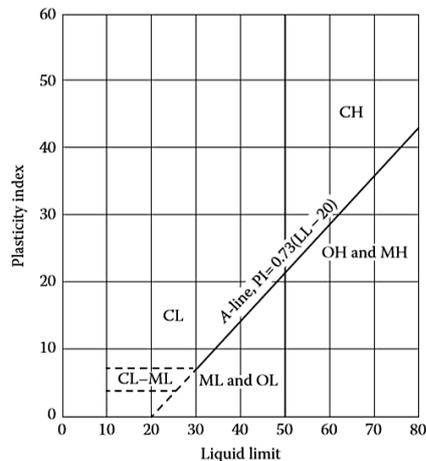
Major divisions	Group symbols	Typical names	Criteria or classification ^a
Coarse-grained soils (<50% passing No. 200 sieve) ^a			
Gravels (<50% of coarse fraction passing No. 4 sieve)			
Gravels with few or no fines	GW	Well-graded gravels; gravel–sand mixtures (few or no fines)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$ Between 1 and 3
	GP	Poorly graded gravels; gravel–sand mixtures (few or no fines)	Not meeting the two criteria for GW
Gravels with fines	GM	Silty gravels; gravel–sand–silt mixtures	Atterberg limits below A-line or plasticity index less than 4 ^b (Gambar 2.5)
	GC	Clayey gravels; gravel–sand–clay mixtures	Atterberg limits above A-line with plasticity index greater than 7 ^b (Gambar 2.5)
Sands (≥50% of coarse fraction passing No. 4 sieve)			
Clean sands (few or no fines)	SW	Well-graded sands; gravelly sands (few or no fines)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$ Between 1 and 3
	SP	Poorly graded sands; gravelly sands (few or no fines)	Not meeting the two criteria for SW
Sands with fines (appreciable amount of fines)	SM	Silty sands; sand–silt mixtures	Atterberg limits below A-line or plasticity index less than 4 ^b (Gambar 2.5)
	SC	Clayey sands; sand–clay mixtures	Atterberg limits above A-line with plasticity index greater than 7 ^b (Gambar 2.5)
Fine-grained soils (≥50% passing No. 200 sieve)			
Silts and clay (liquid limit less than 50)	ML	Inorganic silts; very fine sands; rock flour; silty or clayey fine sands	(Gambar 2.5)
	CL	Inorganic clays (low to medium plasticity); gravelly clays; sandy clays; silty clays; lean clays	(Gambar 2.5)
	OL	Organic silts; organic silty clays (low plasticity)	(Gambar 2.5)
Silts and clay (liquid limit greater than 50)	MH	Inorganic silts; micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils; elastic silt	(Gambar 2.5)
	CH	Inorganic clays (high plasticity); fat clays	(Gambar 2.5)
	OH	Organic clays (medium to high plasticity); organic silts	(Gambar 2.5)
Highly organic silts	Pt	Peat; mulch; and other highly organic soils	

Group symbols are G, gravel; W, well-graded; S, sand; P, poorly graded; C, clay; H, high plasticity; M, silt; L, low plasticity; O, organic silt or clay; Pt, peat and highly organic soil.

^a Classification based on percentage of fines: <5% passing No. 200: GW, GP, SW, SP; >12% passing No. 200: GM, GC, SM, SC. 5%–12% passing No. 200: borderline—dual symbols required such as GW–GM, GW–GC, GP–GM, GP–GC, SW–SM, SW–SC, SP–SM, SP–SC.

^b Atterberg limits above A-line and plasticity index between 4 and 7 are borderline cases. It needs dual symbols (Gambar 2.5)

Sumber : Das, 2019.



Gambar 2.5. Plasticity Chart

Sumber : Das, 2019.

b. Sistem Klasifikasi AASTHO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*, dan mengalami beberapa perbaikan, versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (*ASTM Standart no D-3282, AASHTO metode M145*).

Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A1 sampai dengan A7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan 200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Klasifikasi pada sistem ini didasarkan dengan kriteria:

a. Ukuran butir

- 1) Kerikil: butiran tanah yang lolos pada saringan berdiameter 75 mm serta tertahan disaringan berdiameter 2 mm.
- 2) Pasir: butiran tanah yang lolos pada saringan berdiameter 2 mm serta tertahan disaringan berdiameter 0,0075 mm.
- 3) Lanau dan Lempung: butiran tanah yang lolos pada saringan berdiameter 0,0075 mm.

b. Plastisitas

Plastisitas adalah kemampuan suatu tanah untuk menyesuaikan suatu bentuk volume konstan tanpa adanya retakan, hal ini dipengaruhi oleh kadar air yang terdapat didalamnya. Jika suatu tanah halus mempunyai indeks plastisitas sebesar 10 atau kurang, maka dinamakan berlanau. Dan jika indeks plastisitasnya sebesar 11 atau lebih maka disebut berlempung.

Jika dalam pelaksanaan ditemukan batuan (ukuran > 75mm) dalam sampel klasifikasi tanah, maka batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu dari sampel tanah, namun persentase dari batuan tersebut tetap harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO digunakan untuk mengklasifikasikan tanah, maka data yang didapat dari hasil uji dicocokkan dengan angka pada tabel 2.4 yang dimulai dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka yang sesuai.

Tabel 2.4. Klasifikasi tanah menurut AASHTO

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index		6 max.	NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone, fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel, and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)						
Group classification			A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ^a A-7-6 ^b	
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10							
No. 40							
No. 200			36 min.	36 min.	36 min.		36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit			40 max.	41 min.	40 max.		41 min.
Plasticity index			10 max.	10 max.	11 min.		11 min.
Usual types of significant constituent materials				Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor						

^aFor A-7-5, $PI \leq LL - 30$

^bFor A-7-6, $PI > LL - 30$

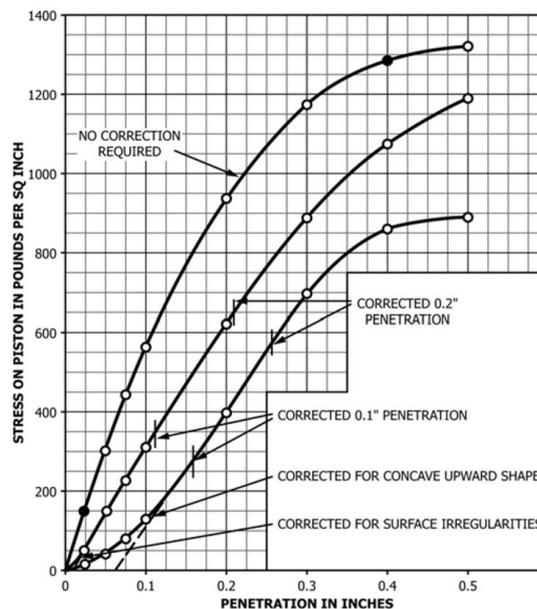
Sumber: Das, 2019

2.5. CALIFORNIA BEARING RATIO

Uji *California Bearing Ratio* (CBR) dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sekitar tahun 1930. CBR adalah sebuah pengujian yang bertujuan untuk membandingkan kekuatan pada sampel tanah dengan kepadatan tertentu dan dengan kadar air tertentu dengan standar material adalah kekuatan batu pecah bergradasi rapat nilai CBR = 100. Uji CBR digunakan sebagai standar tes untuk mengetahui kekuatan tanah dasar (*subgrade*).

Prinsip dasar dari pengujian CBR adalah membandingkan besarnya beban (gaya) yang diperlukan untuk menekan piston dengan luas penampang 3 Inch² kedalam lapisan tanah dasar sedalam 0,1 Inch (2,5mm) atau 0,2 Inch (5,08mm) dengan beban standar. Tegangan penetrasi dihitung dalam satuan psi (pound/inch) atau Mpa (Megapascal) dan dimasukkan dalam kurva penetrasi – tegangan . Besarnya beban standar untuk penetrasi 0,1 Inch adalah 1000 psi (6,9Mpa), sedangkan besarnya bban standar untuk penetrasi 0,2 Inch adalah 1500 psi (10MPa).

Dalam beberapa kasus, kurva penetrasi – tegangan berbentuk cekung keatas. Hal ini disebabkan oleh penyimpangan (*error*) atau sebab lainnya. Maka dalam hal ini, titik nol pada kurva harus dikoreksi dengan memindahkan titik nol dengan menyesuaikan pada kurva penetrasi – tegangan standar seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.6. *Correction of Load-Penetration Curves*
Sumber: ASTM D1883-16

Dengan membagi nilai pada tekanan pada piston (psi), dan membaginya dengan beban standar 1000 psi untuk 0,1 dan 1500 psi untuk 0,2 dan dikali dengan 100%. Maka nilai cbr dapat dihitung dengan rumus:

$$CBR_{0,1''} = \frac{\text{Tekanan pada piston } 0,1 \text{ (psi)}}{1000 \text{ psi}} \times 100\%$$

atau

$$CBR_{0,2''} = \frac{\text{Tekanan pada piston } 0,2'' \text{ (psi)}}{1500 \text{ psi}} \times 100\%$$

Setiap nilai beban terkoreksi harus ditentukan pada setiap benda uji penetrasi 0,1 Inch (2,5mm) dan 0,2 Inch (5,08mm). Nilai CBR dinyatakan dalam persen diperoleh dengan rumus yang telah dituliskan diatas. Pada umumnya, nilai CBR dipilih pada penetrasi 0,1, namun jika nilai pada penetrasi 0,2 lebih besar dibanding nilai penetrasi 0,1, maka pengujian CBR harus diulang. Namun jika setelah diulang hasilnya tetap sama, maka nilai yang digunakan adalah pada penetrasi 0,2.



Gambar 2.7. CBR Digital

2.6. DYNAMIC CONE PENETROMETER

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) atau penetrometer konus dinamis adalah alat yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah di tempat (*in situ*). Nilai daya dukung tanah tersebut dapat diperoleh dengan pengolahan data hasil test DCP yang dilakukan dengan cara mengukur berapa dalam (mm) ujung konus masuk kedalam tanah dasar tersebut setelah mendapat tumbukan palu geser pada landasan batang utamanya. korelasi antara dalamnya ujung konus masuk kedalam tanah dasar

dengan banyaknya tumbukan memberikan gambaran kekuatan tanah dasar yang diuji, semakin dalam masuknya konus pada tanah dasar pada tiap tumbukan maka menunjukkan semakin lunak tanah dasar tersebut.

Pada alat DCP, salah satu bagian dari alat ini adalah konus kerucut, konus berdiameter 20mm dengan jenis sudut 30^0 dan 60^0 yang dipasang pada ujung alat, konus inilah yang akan masuk ke dalam tanah saat penumbukan. Pada konus ini, jenis konus dengan sudut yang berbeda digunakan pada kasus yang berbeda pula. Penggunaan konus dengan sudut 30^0 dilakukan pada jenis tanah batuan atau granular, sedangkan untuk tanah berbutir halus digunakan konus dengan sudut 60^0 . Penggunaan sudut konus ini menentukan rumus atau grafik hubungan nilai DCP dan CBR yang harus digunakan untuk menentukan nilai CBR. Namun pada penelitian ini, konus yang digunakan adalah konus dengan sudut 60^0 .

Data-data yang dihasilkan dari uji DCP diolah dan menjadi data-data CBR Lapangan pada titik yang ditinjau. Pada umumnya, uji ini digunakan pada proyek perkerasan jalan. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui kekuatan perkerasan lapisan tanah dasar. DCP dapat memberikan informasi yang cukup untuk memperkirakan kekuatan perkerasan sehingga dapat dijadikan acuan dalam desain perkerasan jalan.

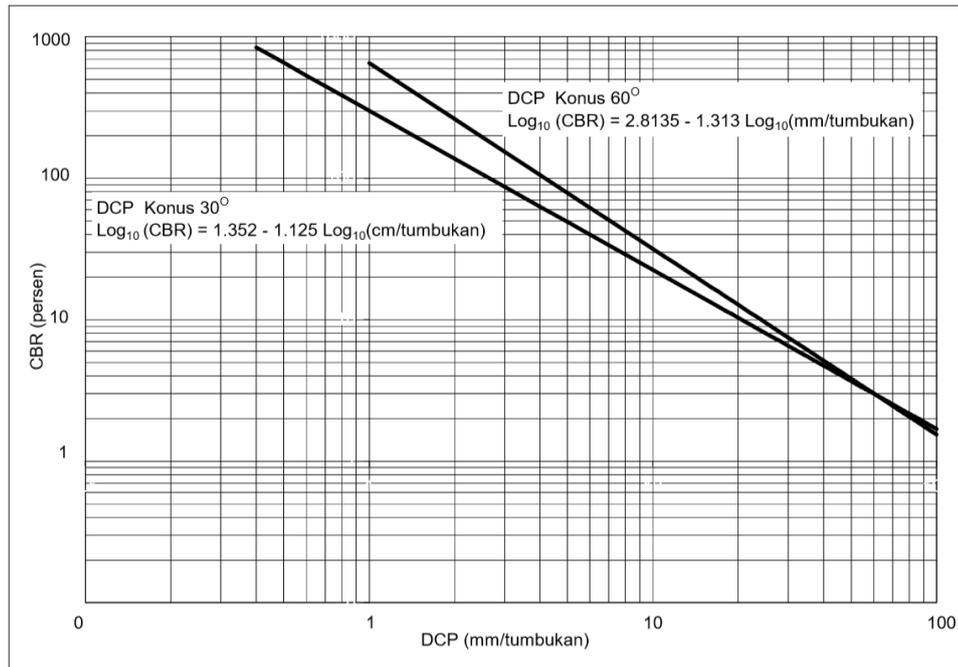
Pelaksanaan uji DCP pada pengujian ini berpatokan pada standar SNI dan ASTM. Dalam pelaksanaannya dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

- a. Menyambungkan seluruh bagian alat dan pastikan sambungan batang atas dengan landasan serta batang bawah dan konus tersambung dengan kokoh
- b. Posisikan alat tegak lurus pada tanah datar yang akan diuji dan tahan agar alat tidak miring
- c. Catat bacaan awal dengan mistar pengukur kedalaman bernilai nol
- d. Angkat palu geser hingga maksimal dan menyentuh batas *handle*, dan lepaskan hingga jatuh membentur landasan lalu catat jumlah tumbukan dan kedalaman dengan ketentuan berikut:
 - Untuk lapisan fondasi bawah atau tanah dasar yang lunak, maka cukup dengan mencatat setiap 1 atau 2 kali tumbukan.

- Untuk lapisan fondasi yang terbuat dari bahan yang cukup keras atau tanah keras, maka pembacaan dilakukan pada 5 hingga 10 kali tumbukan.
- e. Hentikan pengujian apabila kecepatan penetrasi kurang dari 1mm / 3 tumbukan. Lalu lakukan penggalian pada titik tersebut hingga pada bagian yang dapat diuji kembali.
- f. Pengujian per titik minimal dilakukan dua kali dengan jarak 20cm dari titik uji ke titik uji lainnya.

Setelah dilakukan pengujian, maka data yang didapat dapat diolah menjadi data CBR dengan langkah berikut:

- a. Hitung akumulasi jumlah tumbukan dan akumulasi penetrasi setelah dikurangi pembacaan awal pada mistar pengukur kedalaman.
- b. Masukkan hasil pengujian pada kurva hubungan kumulatif tumbukan dan penetrasi yang terdiri dari sumbu vertikal menunjukkan kedalaman penetrasi dan sumbu horizontal yang menunjukkan jumlah tumbukkan
- c. Tarik garis pada titik-titik koordinat tertentu yang menunjukkan lapisan yang relatif seragam.
- d. Hitung kedalaman lapisan yang mewakili titik-titik tersebut, yaitu selisih antara perpotongan garis-garis (yang dibuat oleh bagian c) dalam satuan mm.
- e. Hitung kecepatan rata-rata penetrasi (DCP, mm / tumbukkan atau cm / tumbukkan) untuk lapisan yang relatif seragam.
- f. Nilai DCP diperoleh dari selisih penetrasi dibagi dengan selisih tumbukkan.
- g. Gunakan gambar 2.6 atau hitung formula hubungan nilai DCP dengan CBR dengan cara menarik nilai kecepatan penetrasi pada sumbu horizontal ke atas sehingga memotong garis tebal untuk sudut konus 60^0 atau garis putus-putus untuk sudut konus 30^0 .
- h. Tarik garis dari titik potong tersebut ke arah kiri sehingga nilai CBR dapat diketahui.



Gambar 2.8. Grafik Hubungan Nilai DCP dengan CBR
 Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010



Gambar 2.9. Dynamic Cone Penetrometer

2.7. Sand Cone

Sand cone atau uji kerucut pasir adalah pengujian yang bertujuan untuk mengukur derajat kepadatan lapangan yang diambil dari suatu lapisan tanah dengan cara menggali dan mengisi kembali dengan pasir tertentu yang sudah diketahui berat isinya. Yang dimaksud dengan derajat kepadatan lapangan adalah perbandingan berat isi kering tanah di lapangan dengan berat isi kering tanah di laboratorium yang dinyatakan dalam satuan persen.

Metode pengujian *sand cone* ini cocok digunakan pada jenis tanah yang tidak mengandung batuan ataupun material kasar yang diameternya lebih dari 38mm, jenis tanah organik, tanah jenuh, ataupun tanah yang plastisitasnya tinggi yang rusak pada saat pengujian dan tanah yang memiliki pori / rongga yang besar. Pada saat pengujian, lokasi titik uji juga tidak boleh tergenang, rawan bergetar dan pengujian kepadatan dilakukan paling sedikit dua kali pada tiap titik dengan jarak 50cm dan hasil nilai kepadatan ini dihitung dari rata-rata dengan dua angka dibelakang koma.

Pada titik uji, lapisan tanah / lapisan dasar pondasi yang akan diuji terlebih dahulu dipersiapkan dengan membuat lubang dengan diameter yang serupa dengan diameter corong dan plat dudukan corong dengan kedalaman lubang mencaai 10cm – 15cm.

Setelah titik uji dipersiapkan, maka langkah selanjutnya adalah mencatat data awal dari menentukan hal-hal yang disebutkan berikut:

a. Menentukan volume botol pasir

Untuk menghitung volume botol pasir, digunakan air yang telah diketahui massa jenisnya (1 gr/cm^3). Untuk memudahkan penelitian, berat isi air dianggap sama dengan massa jenis air dengan mengabaikan faktor percepatan gravitasi yang berbeda antar lokasi.

Rumus yang digunakan untuk menentukan volume botol pasir adalah:

$$V_1 = W_2 - W_1$$

Dengan:

V_1 = Volume botol pasir (cm^3)

W_2 = Berat botol + corong (gram)

W_1 = Berat botol + corong + air (gram)

b. Menentukan berat isi pasir

Untuk mengisi pasir kedalam botol, haruslah dilakukan dengan hati-hati dengan cara menutup kran, lalu isi corong dengan pasir sampai penuh. Lalu buka kran dan biarkan pasir mengalir hingga memenuhi botol, lalu tutup kran dan bersihkan sisa pasir diatas kran.

Rumus yang digunakan untuk menentukan berat isi pasir adalah:

$$\gamma_s = \frac{W_3 - W_1}{V_1}$$

Dengan:

γ_s = Berat isi pasir (gr/cm³)

V_1 = Volume botol pasir (cm³)

W_3 = Berat botol + corong + pasir (gram)

W_1 = Berat botol + corong (gram)

c. Menentukan berat pasir dalam corong

Untuk menentukan berat pasir dalam corong, maka isi pasir secukupnya pada botol, tutup kran dan bersihkan sisa pasir kemudian timbang botol + corong + pasir, kemudian balikkan corong dan botol pada alas yang rata dan buka kran hingga pasir memenuhi corong, lalu tutup kran kembali dan timbang berat botol + corong + sisa pasir

Rumus yang digunakan untuk menentukan berat pasir dalam corong adalah:

$$W_c = W_4 - W_5$$

Dengan:

W_c = Berat pasir dalam corong (gram)

W_4 = Berat botol + corong + pasir secukupnya (gram)

W_5 = Berat botol + corong + sisa pasir (gram)

d. Pengambilan tanah / lapis dasar pondasi yang diuji

Pelaksanaan pengambilan tanah dilakukan dengan meratakan permukaan tanah yang akan diuji, tempelkan plat dudukan corong pasir dengan ukuran 30,48 cm x 30,48 cm dengan lubang ditengahnya berdiameter 16,51 cm pada tanah datar dan kokohkan plat dudukan corong pasir dengan memberi pasak pada sisi-sisinya. Lalu gali tanah tepat pada lubang plat sedalam 10cm – 15cm dan bersihkan hingga tidak ada partikel lain yang tersisa didalam lubangnya lalu masukkan tanah hasil galian kedalam wadah tertutup.

e. Pengukuran dengan pasir uji

Pelaksanaan pengukuran dengan pasir uji dimulai dengan mengisi pasir pada botol pasir secukupnya, lalu timbang botol + pasir + corong lalu tempatkan alat pada plat dudukan corong dengan posisi corong dibawah, lalu buka kran dan biarkan pasir mengalir hingga berhenti mengalir, lalu tutup kran dan timbang kembali botol + corong + pasir sisa.

f. Perhitungan volume lubang

Volume lubang dapat dihitung dengan rumus:

Dengan:
$$V_e = \frac{W_{10}}{\gamma_s}$$

V_e = Volume lubang (cm^3)

W_{10} = Berat pasir dalam lubang (gram)

γ_s = Berat isi pasir (gr/cm^3)

Dengan berat pasir dalam lubang dihitung dengan rumus:

Dengan:
$$W_{10} = W_6 - W_7 - W_c$$

W_c = Berat pasir dalam corong (gram)

W_6 = Berat botol + corong + pasir secukupnya (gram)

W_7 = Berat botol + corong + sisa pasir (gram)

g. Perhitungan berat isi kering tanah (kepadatan lapangan) / lapis dasar pondasi

Berat isi kering tanah dapat dihitung dengan rumus:

Dengan:
$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{100 + w_c} \times 100\%$$

γ_d = Berat isi kering tanah (gr/cm^3)

γ_w = Berat isi tanah (gr/cm^3)

w_c = kadar air tanah (%)

Dengan berat isi pasir:

Dengan:
$$\gamma_w = \frac{W_8 - W_9}{V_e}$$

γ_w = Berat isi tanah (gr/cm^3)

V_e = Volume lubang (cm^3)

W_8 = Berat wadah + tanah (gram)

W_9 = Berat wadah (gram)



Gambar 2.10. Sand Cone

2.8. Korelasi Nilai CBR-DCP

Korelasi antara nilai CBR – DCP telah banyak dilakukan penelitiannya baik di Indonesia, maupun beberapa negara di dunia. Berikut merupakan tabel kumpulan beberapa rumus persamaan hasil penelitian terdahulu tentang korelasi nilai CBR– DCP :

Tabel 2.5 Persamaan korelasi nilai CBR - DCP

Correlation Equation	Material Tested	Reference
$\text{Log(CBR)} = 2.56 - 1.16 \text{ Log(DCP)}$	Granular and Cohesive	Livneh (1987)
$\text{Log(CBR)} = 2.55 - 1.14 \text{ Log(DCP)}$	Granular and Cohesive	Harison (1987)
$\text{Log(CBR)} = 2.45 - 1.12 \text{ Log(DCP)}$	Granular and Cohesive	Livneh et al. (1992)
$\text{Log(CBR)} = 2.46 - 1.12 \text{ Log(DCP)}$	Various Soil Type	Webster et al. (1992)
$\text{Log(CBR)} = 2.62 - 1.27 \text{ Log(DCP)}$	Unknown	Kleyn (1975)
$\text{Log(CBR)} = 2.44 - 1.07 \text{ Log(DCP)}$	Aggregate base course	Ese et al. (1995)
$\text{Log(CBR)} = 2.60 - 1.07 \text{ Log(DCP)}$	Aggregate base course and cohesive	NCDOT (Pavement, 1998)
$\text{Log(CBR)} = 2.53 - 1.14 \text{ Log(DCP)}$	Piedmont Residual Soil	Coonse (1999)

Sumber: Potential Application of Dynamic and Static Cone Penetrometer in MTOD Pavement Design and Construction

Data diatas didapat dari nilai jumlah rata-rata penetrasi DCP per pukulan, semakin kecil nilai penetrasi DCP per pukulan, maka semakin besar nilai CBRnya. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, hubungan DCP dan CBR dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\text{Log(CBR)} = a - b \text{ Log(DCP)}$$

Dimana :

a = Nilai konstanta

b = Nilai konstanta

DCP = nilai penetrasi (*mm/blow*)