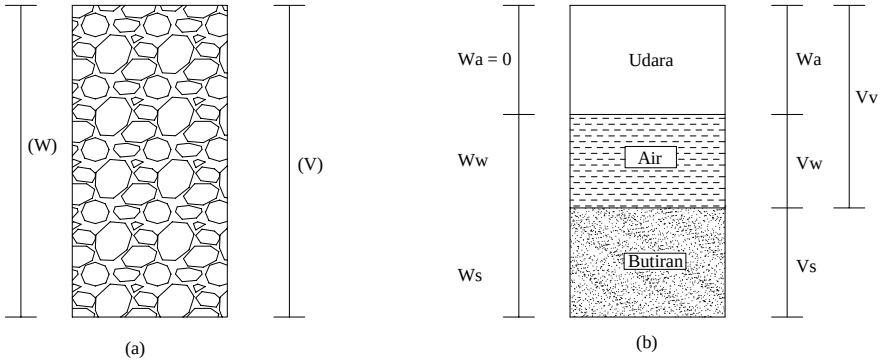
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organic, endapan-endapan beserta campuran partikel dengan beragam ukuran. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi , dari ukuran lebih besar dari 100 mm sampai ukuran lebih kecil dari 0,001 mm. segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering mungkin hanya terdapat dua bagian saja, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Tanah dalam keadaan jenuh terdiri dari butiran tanah dan air pori. Tanah dalam keadaan tidak jenuh terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran padat, pori-pori udara, dan air pori. Bagian –bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase seperti yang ditunjukan pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Diagram fase tanah

Gambar 2.1a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai Volume V dan berat total W, sedangkan gambar 2.1b memperlihatkan hubungan berat dan volumenya. Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w \quad dan$$
$$V = V_s + V_w + V_a$$
$$V_V = V_W + V_a$$

Kadar air (w), didefinisikan sebbagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} x100$$

Porositas (n), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Dalam hal ini dapat digunakan dalam bentuk persen maupun desimal.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Angka Pori (e), didefinisikan sebagai perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Biasanya dinyatakan dalam desimal.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Berat volume basah (γb), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume tanah (V).

$$\gamma b = \frac{W}{V}$$

dengan $W = W_w + W_s + W_v$ (W_v = berat udara = 0). Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya (V_a = 0), maka tanah menjadi jenuh.

Berat volume kering (γd), adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V) tanah.

$$\gamma d = \frac{W_s}{V}$$

Berat volume butiran padat (γ_s), didefinisikan sebagi perbandingan antara berat butiran padat (W_s), dengan volume butiran padat (V_s).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Berat jenis tanah (Specific gravity) tanah (G_s), didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4^o C.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

G_s tidak berdimensi. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat jenis sebesar 2,67 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesif. Sedangkan untuk tanah kohesif tak organic berkisar di antara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau tak organik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung tak berorganik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Derajat kejenuhan (s), adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v). Biasanya dinyatakan dengan persen.

$$S\,(\%) = \frac{V_w}{V_v}\,x100$$

Bila tanah dalam keadaan jenuh, maka s = 1. **Tabel 2.2** memberikan berbagai macam derajat kejenuhan tanah untuk maksud klasifikasi.

Tabel 2.2 Derajat kejenuhan dan kondisi tanah

Keadaan Tanah	Derajat kejenuhan (s)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	> 0 – 0,25
Tanah lembab	0,26 – 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
Tanah basah	0,76 – 0,99
Tanah jenuh	1

Dari persamaan-persamaan tersebut di atas dapat disajikan hubungan antara masing-masing persamaan, yaitu :

a) Hubungan antara angka pori dengan porositas.

$$e = \frac{n}{1-n}$$

$$n = \frac{e}{1=e}$$

b) Berat volume basah dapat dinyatakan dalam rumus berikut.

$$\gamma b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e}$$

c) Untuk tanah jenuh air ($s = 1$).

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

d) Untuk tanah kering sempurna.

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+w}$$

e) Bila tanah terendam air, berat volume dinyatakan sebagai γ', dengan

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

Bila $\gamma_w = 1$, maka $\gamma' = \gamma_{sat} - 1$

Nilai-nilai porositas, angka pori dan berat volume pada keadaan asli di alam dari berbagai jenis tanah, diberikan oleh Terzaghi (1947) pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Nilai *n, e, w,* γ_d dan γ_b untuk tanah keadaan asli lapangan.

Macam Tanah	*n* (%)	*e*	*w (%)*	γ_d (g/cm^3)	γ_b (g/cm^3)
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	1,43	1,89
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	1,75	2,09
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	1,59	1,09
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	1,86	2,16
Lempung lunak sedikit organis	66	1,90	70	-	1,58
Lempung lunak sangat organis	75	3,0	110	-	1,43

f) Kerapatan relatif (relative density).

Kerapatan relative (*Dr*) umumnya dipakai untuk menunjukan tingkat kerapatan tanah granuler (berbutir kasar) di lapangan. Kerapatan relative dinyatakan dalam persamaan :

$$D_r = \frac{e_{mak} - e}{e_{mak} - e_{\min}}$$

Kemungkinan angka pori terbesar atau kondisi terlonggar dari suatu tanah disebut dengan angka pori maksimum (e_{mak}). Angka pori maksimum ditentukan dengan cara menuangkan pasir kering dengan hati-hati dengan

tanpa getaran ke dalam cetakan (mold) yang telah diketahui volumenya. Dari berat pasir di dalam cetakan, e_{mak} dapat dihitung. Secara sama, angka pori minimum ($e_{\min}$) adalah kemungkinan kondisi terpadat yang dapat dicapai oleh tanah. Nilai $e_{\min}$ dapat ditentukan dengan menggetarkan pasir kering yang diketahui beratnya, kedalam cetakan yang telah diketahui volumenya, dari sini kemudian dihitung angka pori minimumnya. Pada tanah pasir dan kerikil, kerapatan relative digunakan untuk menyatakan hubungan antara angka pori nyata dengan batas-batas maksimum dan minimum dari angka porinya.

Dari rumus diatas dapat dibentuk suatu persamaan :

$$\gamma_{d(mak)} = \frac{G_s\,\gamma_w}{1+e_{\min}} \quad atau \quad e_{\min} = \frac{G_s\,\gamma_w}{\gamma_{d(mak)}} - 1$$

$$e_{(mak)} = \frac{G_s\,\gamma_w}{\gamma_{d(\min)}} - 1 \quad dan \quad e = \frac{G_s\,\gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

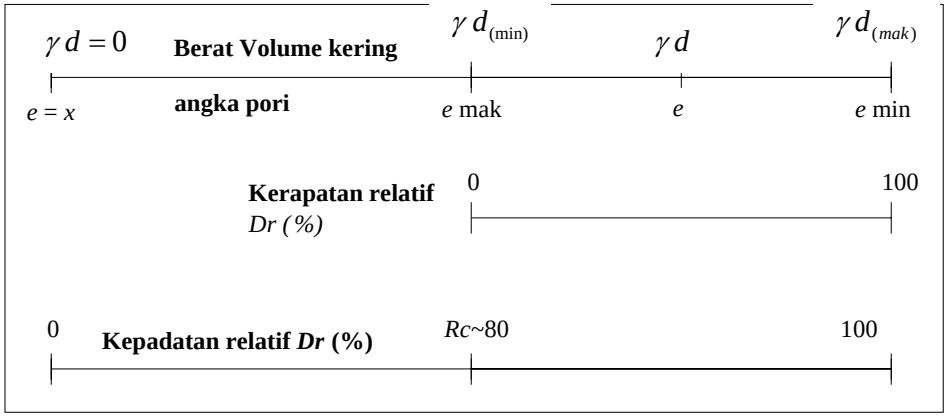
maka dapat diperoleh :

$$D_r(\%) = \left[\frac{\gamma_{d(mak)}}{\gamma_d}\right]\left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d(\min)}}{\gamma_{d(mak)} - \gamma_{d(\min)}}\right]$$

Kepadatan relative (Relative Compaction), Rc didefinisikan sebagai nilai banding berat volume kering pada kondisi yang ada dengan berat volume kering maksimumnya.

$$R_C = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d(mak)}}$$

Perbedaan kerapatan relative dan kepadatan relative dalat dilihat pada **Gambar 2.2** sebagai Berikut :



Gambar 2.2 Perbedaan kerapatan relative dan kepadatan relatif

Hubungan antara kerapatan relative dan kepadatan relative adalah :

$$R_c = \frac{R_o}{1 - D_r\left(1 - R_o\right)}$$

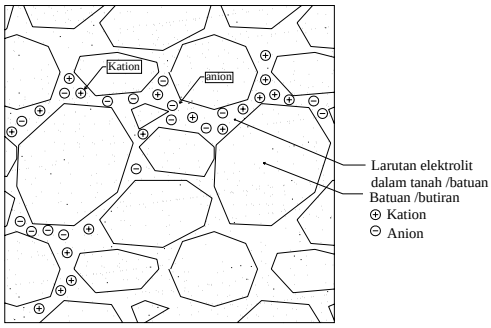
Dengan $R_o = \frac{\gamma_{d(\min)}}{\gamma_{d(mak)}}$

Lee dan Singh (1971) memberikan hubungan antara kepadatan relative dan kerapatan relative sebagai : $R_C = 80 + 0{,}2D_r$ dinyatakan dalam (%).

2.2 Tanah dan Sifat Geolistiknya

Sifat konduktivitas listrik tanah dan batuan pada permukaan bumi sangat dipengaruhi oleh jumlah air, kadar garam/salinitas air serta bagaimana cara air didistribusikan dalam tanah dan batuan tersebut. Konduktivitas listik batuan yang mengandung air sangat ditentukan terutama oleh sifat air, yakni elektrolit (Larutan garam yang terkandung dalam air yang terdiri dari anion dan kation yang bergerak bebas dalam air). Adanya medan listrik eksternal menyebabkan kation dalam larutan elektolit dipercepat menuju kutub negatif sedangkan anion menuju kutub positif

Gambar 2.3. Tentu saja, batuan berpori atau pun tanah yang terisi air, nilai resistivitas (R) listriknya berkurang dengan bertambahnya kandungan air. Begitu pula sebaliknya, nilai resistivitas listriknya akan bertambah dengan berkurangnya kandungan air.



Gambar 2.3 Kandungan garam elektrolit dalam air tanah/batuan.

2.3 Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Usaha pemadatan tanah mulanya dengan pengeringan, penambahan air, agregat (butir-butir) atau dengan bahan-bahan stabilisasi seperti semen, gamping, abu batubara, atau bahan lainnya. Pengerjaan tambahan lainya dapat dilakukan dengan menggaru, membajak atau menggunakan mesin pencampur, yang kesemuanya dapat dilakukan tergantung pada keadaan tanah yang bersangkutan.

Energi pemadatan di lapangan dapat diperoleh dari mesin gilas, alat-alat pemadat getaran dan dari benda-benda yang dijatuhkan. Di laboratorium, contoh uji untuk mendapatkan pengendalian mutu dipadatkan dengan menggunakan daya tumbukan (dinamik), alat penekan atau tekanan static yang menggunakan piston dan mesin tekanan. Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan usaha pemadatan ini adalah :

1. Berkurangnya penurunan permukaan tanah (subsidence) yaitu gerakan vertical di dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
2. Bertambahnya kekuatan tanah.
3. Berkurangnya penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

2.4 Teori Pemadatan

Spesifikasi pengendalian untuk pemadatan tanah kohesif telah dikembangkan oleh R.R Proctor ketika sedang membangun bendungan-bendungan untuk Los Angles Water District pada akhir tahun 1920-an. Metode yang orisinil dilaporkan melalui serangkaian artikel dalam Engineering New Record (Proctor, 1933). Untuk alasan ini prosedur dinamik laboratorium yang standar biasanya disebut uji “Proctor”.

Proctor mendefinisikan empat variable pemadatan tanah, yaitu :

1. Usaha pemadatan (Energi Pemadatan)
2. Jenis tanah (Gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya).
3. Kadar air.
4. Berat isi kering (Proctor Menggunakan angka pori).

Usaha pemadatan dan energi pemadatan [compaction effort and energy (CE)] adalah tolak ukur energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di lapangan, usaha pemadatan ini dihubungkan dengan junlah gilasan dari mesin gilas, jumlah jatuhan dari benda-benda yang dijatuhkan, energi dari suatu ledakan dan lah-hal yang serupa untuk volume tanah tertentu. Energi pemadatan jarang merupakan bagian dari spesifikasi untuk pekerjaan tanah karena sangat sukar diukur.

Namun, yang sering di syaratkan adalah jenis peralatan yang digunakan, jumlah gilasan, atau yang paling sering adalah hasil akhir berupa berat isi kering.

Di laboratorium, CE didapat dari tumbukan (yang biasa dilakukan), remasan (kneading), atau dengan tekanan statis. Selama pemadatan tumbukan, suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa kali pada beberapa lapisan tanah did lam suatu cetakan (mold) untuk menghasilkan suatu contoh dengan volume tertentu. Ukuran dan bentuk palu dan jumlah jatuhan, jumlah lapisan dan volume cetakan telah dispesifikasikan dalam pengujian standar oleh ASTM dan AASHTO. Spesifikasi ini dapat dilihat dalam Tabel 2-4.

Pengujian dengan remasan tanah adalah sama, hanya saja suatu alat pendorong/penekan digunakan untuk menghasilkan aksi remasan terhadap tanah. CE dari palu tumbukan dapat langsung dihitung, dan diperlihatkan untuk pengujian standar dalam Table 2-4. CE ini tidak dapat langsung dihitung apabila dilangsungkan dengan uji remasan atau pemadatan statis.

Tabel 2.4 Elemen-elemen uji Pemadatan standar

	Standar (ASTM D698)	Modifikasi (ASTM D1557)
Palu	24,5 N (5,5 lb)	44,5 (10 lb)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12 in)	457 mm (18 in)
Jumlah Lapisan	3	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25	25
Volume Cetakan tanah	0,0009422 m (1/30 ft^3) saringan (-) No.4	
Energi Pemadatan	595 kJ/m^3 (12.400)	2698 kJ/m^3 (56.250 $lb*ft/ft^3$)

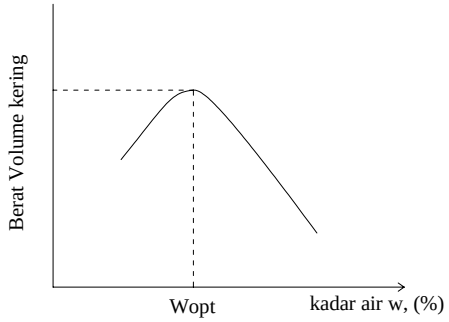
Apabila diketahui berat tanah basah di dalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah dapat langsung dihitung sebagai :

$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

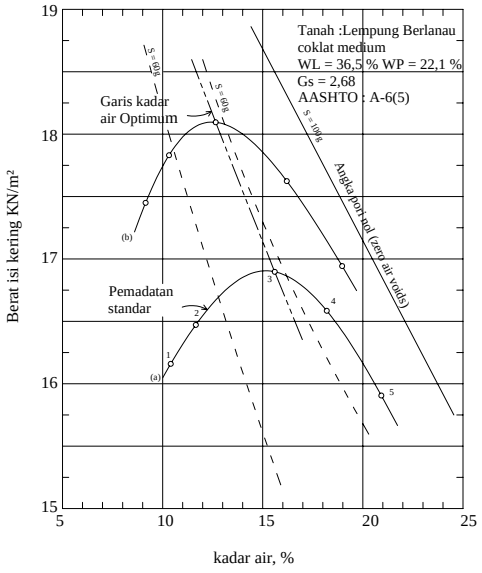
dan berat isi kering dihitung sebagai :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+W}$$

Grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya secara khusus dapat dilihat pada **Gambar 2.4**

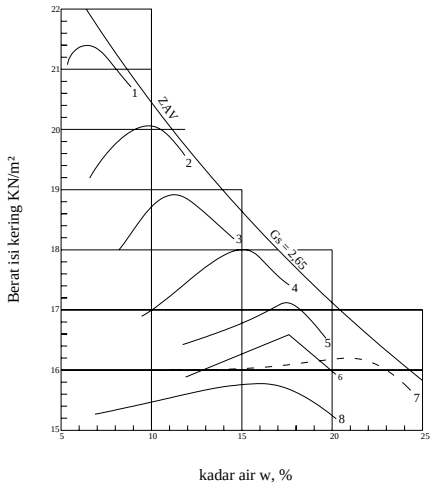


Gambar 2.4 Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering



Gambar 2.5 Berat volume kering dan kadar air untuk berbagai bentuk pemadatan pada tanah glasial berlempung

Kurva-kurva pemadatan standar untuk beberapa jenis tanah dapat dilihat pada **Gambar 2.6** pada kurva jenis tanah no.8 pasir (tanah tak kohesif) menunjukan berat isi yang rendah dan kesukaran dalam pemadatan.



Gambar 2.6 Kurva Pemadatan Standar untuk beberapa jenis tanah

Kurva-kurva diatas masing masing dijelaskan dalam tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.5 Kurva Pemadatan Standar untuk beberapa jenis tanah

No. Tanah	Deskripsi	W_L	I_P
1	Pasir berlempung bergradasi baik	16	NP
2	Lempung berpasir bergradasi baik	16	NP
3	Lempung berpasir bergradasi sedang	22	4
4	Lempung berpasir berlanau, kurus	28	9
5	Lempung berlanau, kurus	36	15
6	Lanau lus	26	2
7	Lempung berat	67	40
8	Pasir bergradasi buruk		NP

Nilai puncak dari berat ini kering disebut " Kerapatan kering maksimum", walaupun beberapa teknisi menyebutnya "kerapatan proctor" kadar air pada kerapatan kering maksimum disebut kadar air optimum. Sebuah garis angka pori nol (Zero Air Voids) dapat digambarkan dan selalu berada di atas kurva pemadatan Apabila nilai Gs yang benar telah digunakan. Garis kadar air nol (ZAV) menunjukan kerapatan pada saat kejenuhan (saturation) 100% (S = 100). Berat volume kering

maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering jenuh, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma ZAV = \frac{Gs\ \gamma w}{1 + wGs}$$

Berat volume kering setelah pemadatan pada kadar air W dengan kadar udara A dapat dihitung dengan persamaan :

$$\gamma d = \frac{Gs(1 - A)\gamma w}{1 + wGs}$$

2.5 Alat Uji Resistivity Meter.

- **Resistivity Meter Type Sunwa YX-360TR**

Alat ini sering disebut Multi meter karena terdapat beberapa fungsi, diantaranya Voltmeter, Ampere meter, Ohm meter. yang digunakan pada pengujian Resistivitas tanah adalah ohm meter. karakteristik alat tersebut hamper sama dengan prinsip geolistrik pada pengujian oleh Conrad Schlumberger pada tahun 1912. pengujian geolistrik tersebut pertama kali hanya menggunakan injeksi tegangan dan 2 buah multimeter pada pengujianya. skema pengujian yang dilakukannya dapat dilihat pada **gambar 2.8.** pada skema tersebut, dapat dilihat untuk mendapatkan nilai Resistivitas tanahnya faktor Voltase (V), kuat arus (I), dan faktor geometri diperhitungkan.



Gambar 2.7 Resistivity meter (Ohm meter type ***Sunwa YX-360TR***)

Tabel 2.7 Karakteristik Resistivity Meter type **Sunwa YX-360TR**

Resistivity Meter Sunwa YX-360TR	
Type tegangan yang dihasilkan	Baterai (elemen kering)
Jenis Arus Listrik	DC
Voltase yang dihasilkan (V)	9 Volt
Nilai Setting (R) tahanan	1- 200 KΩ
Faktor Pengali	1 – 10K
Jumlah Probe Injeksi	2 probe injeksi

Nilai Resistivitas dapat dihitung :

$$R = 2.\pi.d\frac{V}{I}$$

dimana :

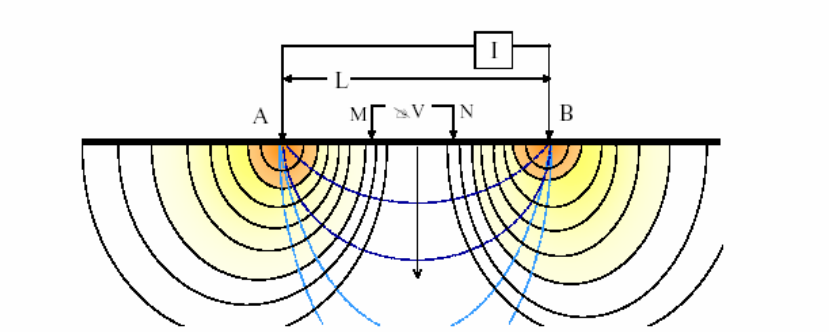
R = Resistivitas (Ω) ohm

d = Jarak antara elektroda (m) meter

V = voltase catu daya (v) Volt

I = Kuat Arus (A atau mA) Amper, miliamper

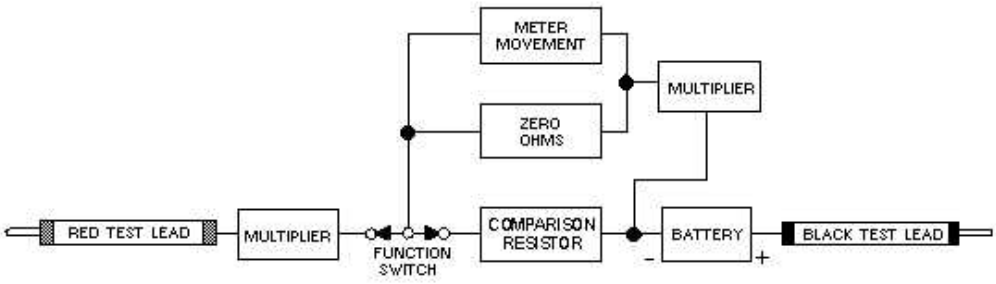
Skema umum untuk pengukuran resistivitas dapat dilihas pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.8 Skema Umum Pengukuran Resistivitas

Prinsip kerja Geolistik tersebut dipakai pada Resistivity meter sebagai pengukuran tanahan jenis tanah.

Sama hal dengan alat ukur OHM meter. prinsip kerjanya menggunakan tegangan untuk mendapatkan nilai Resistivitas, hanya saja OHM meter langsung menunjukan nilai Resistansi nya. berikut skema rangkaian Ohm meter pada **gambar 2.9** Rangkaian Skematik Ohm meter pada Type Sunwa YX-360TR.

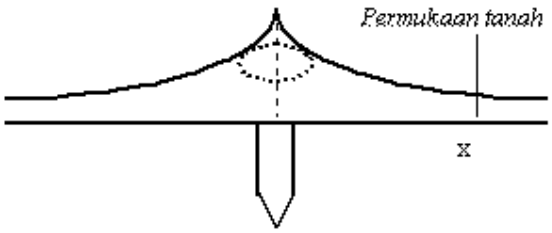


Gambar 2.9 Rangkaian Skematik Ohm meter pada Type Sunwa YX-360TR.

2.6 Bentuk-bentuk Elektroda Pentanahan dan Tahanan Jenis Tanah Serta Pengaruhnya

1. Pentanahan Rod (Elektroda Batang).

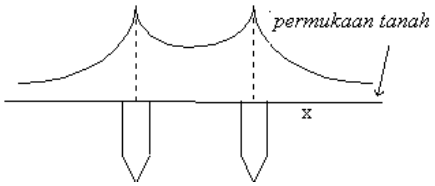
Di bawah ini diperlihatkan distribusi tegangan yang terjadi untuk satu batang elektroda dan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah, dimana arus kesalahan mengalir dari elektroda tersebut ke tanah sekitarnya.



Gambar 2.10 Distribusi Tegangan Sekitar Satu Batang Elektroda

dimana Ux : tegangan elektroda pentanahan atau tegangan antara elektroda dengan tanah

x : jarak dari elektroda



Gambar 2.11 Distribusi Tegangan Sekitar Dua Batang Elektroda

Dengan demikian untuk jumlah elektroda yang lebih banyak yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah maka tahanan pentanahan semakin kecil dan distribusi tegangan akan lebih merata.

2.6.1 Satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah

Dari suatu konduktor terdapat hubungan antara tahanan dan kapasitansi sebesar :

$R = \rho / 2\pi C$ (11)

dimana :

R : tahanan (Ohm)

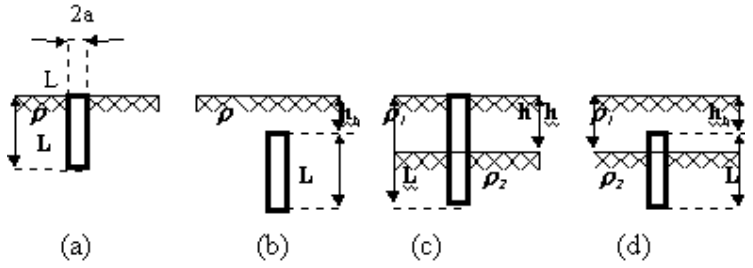
π : tahanan jenis tanah tiap lapisan (Ohm-m)

C : kapasitansi (statt Farad)

Kapasitansi ini termasuk kapasitansi dari bayangan konduktor yang ditanam ke dalam tanah. Pada **gambar 2.11** satu batang elektroda berbentuk selinder dengan panjang L yang ditanam tegak lurus permukaan tanah berdiameter 2a, dengan bayangan di atas permukaan tanah. Untuk menghitung kapasitansi elektroda pentanahan dan bayangan, digunakan metode potensial rata rata menurut G.W.O Home. Dalam persoalan pentanahan, elektroda pentanahan merupakan bahan penghantar yang membawa muatan listrik yang terdistribusi (menyebar) di sekeliling

elektroda pentanahan. Dengan cara seperti ini potensial di setiap tempat pada permukaan elektroda akan sama. Bila pada elektroda tersebut diberikan suatu muatan yang merata, maka kapasitansi dapat dihitung dengan metode potensial rata rata. Hasil yang didapatkan untuk satu batang elektroda berbentuk selinder yang ditanam seluruhnya di dalam tanah dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{L}\left(Ln\frac{4L}{a} - 1\right) \quad (12)$$



Gambar 2.12 Satu Batang Elektroda Tegak Lurus ke Dalam Tanah

Maka tahanan dari satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah menurut H.B Dwight, di dapat dengan mensubtitusikan persamaan (12) ke dalam persamaan (11) sehingga diperoleh persamaan untuk gambar (2.11.a) sbb:

$$R_{d1} = \frac{\rho}{2\pi L}\left(Ln\frac{4L}{a} - 1\right) \quad (13)$$

Untuk elektroda batang yang ditanam tegak lurus dan pada kedalaman beberapa cm di bawah permukaan tanah (gambar 2.11.b) berlaku hubungan:

$$R_{d1} = \frac{\rho}{2\pi L}\left[Ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1\right] \quad (14)$$

Untuk gambar (2.11.c) satu batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, dan menembus lapisan kedua tanah tersebut. Hal ini berlaku persamaan :

$$R_{d1} = R_a = \frac{\rho_2}{2\pi L}\left[Ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1\right] \quad (14\text{-a})$$

Untuk gambar (2.11.d) satu batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, pada kedalaman beberapa cm di bawah permukaan tanah dan menembus lapisan kedua tanah tersebut. Hal ini berlaku persamaan :

$$R_{d1} = R_b = \frac{\rho_1}{2\pi(h - h_b)}\left[Ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 + \frac{Ln2}{1 + \frac{(4Ln2)h_b}{L}}\right] + \frac{\rho_1}{h}\phi_0 \quad (14\text{-b})$$

$$\phi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi}\left(Ln\frac{1}{1-K}\right)}{\sqrt{\left(\frac{N}{F_0} - 1\right)^2 + 1}}$$

dimana :

R_{d1} : tahanan untuk satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah (Ohm)

L : panjang elektroda batang (meter)

a : jari-jari batang elektroda (cm)

ρ : tahanan jenis tanah rata-rata (Ohm-m)

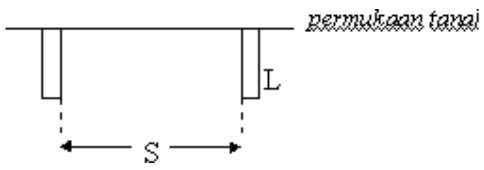
(indeks 1 atau 2 menunjukkan lapisan tanah)

h_b : kedalaman penanaman elektroda (meter)

2.6.2 Dua batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah

Susunan dari dua batang elektroda berbentuk selinder dengan panjang L yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dengan jarak antara ke dua elektroda tersebut

sebesar S terlihat pada gambar di bawah. Nilai tahanan pentanahan dan tahanan jenis tanah yang relatif tinggi, maka untuk menguranginya dengan cara menanamkan batang-batang elektroda pentanahan dalam jumlah yang cukup banyak. Untuk dua batang elektroda pentanahan yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah oleh Dwight, JL. Marshall dengan memperhatikan efek bayangan biasanya adalah dengan menghitung tegangan pada salah satu batang elektroda yang disebabkan oleh distribusi muatan yang merata di batang elektroda itu sendiri dan pada batang elektroda yang lain termasuk bayangannya. Dengan menghitung tegangan rata-rata yang disebabkan oleh muatan batang elektroda itu sendiri dan menghitung tegangan rata-rata yang disebabkan oleh muatan batang elektroda yang lain. Tegangan total rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan antara keduanya.



Gambar 2.13 Dua Batang Elektroda Ditanam Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Rumus tahanan pentanahan untuk dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah adalah [13]:

$$R_{d2} = \frac{\rho}{4\pi L}\left(Ln\frac{4L}{a} - 1\right) + \frac{\rho}{4\pi S}\left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2}{5}\frac{L^4}{S^4}\ldots\ldots\right) \quad (15)$$

untuk S > L

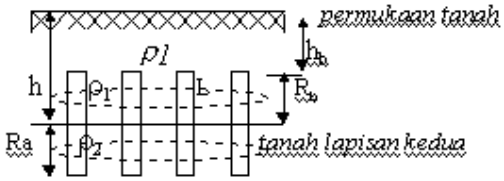
$$R_{d2} = \frac{\rho}{4\pi L}\left(Ln\frac{4L}{a} + Ln\frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \ldots\right) \quad (16)$$

untuk S < L

dimana : S : jarak antara kedua elektroda (meter)

2.6.3 Beberapa batang elektroda (Multiple-Rod) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah

Jika susunan batang - batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dalam jumlah yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan semakin kecil dan distribusi tegangan pada permukaan tanah akan lebih merata. Penanaman elektroda yang tegak lurus ke dalam tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang dengan jarak antara batang elektroda pentanahan adalah sama seperti pada dalam gambar berikut :



Gambar 2.14 Beberapa Batang Elektroda Ditaman Tegak Lurus ke Dalam Tanah

Nilai tahanan pentanahan untuk beberapa batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah di mana rod menembus lapisan tanah paling bawah/kedua, dihitung dengan mengikuti persamaan berikut:

$$R_{d2} = \frac{\rho}{4\pi L}\left(Ln\frac{4L}{a} + Ln\frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \ldots \right) \quad (16)$$

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} \quad (17)$$

dimana R_t adalah tahanan elektroda batang (rod)

$$R_a = \frac{\rho_2}{(L + h_b - h)} g_0 \frac{F_0}{N} \quad (18)$$

$$R_b = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_0 \frac{F_0}{N} + \frac{\rho_1}{h} \quad (19)$$

$$g_0 = \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4\ln 2)h_b}{L}}\right]$$

$$g_0 = \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4\ln 2)h_b}{L}}\right] \quad (20)$$

$$F_0 = \frac{L}{1 - 0.9K} \quad (21)$$

$$\rho_0 = \frac{\frac{1}{2\pi}\left(Ln\frac{1}{1-K}\right)}{\sqrt{\left(\frac{N}{F_0} - 1\right)^2 + 1}} \quad (22)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (24)$$

$$h < 0.2\sqrt{A}; h_b < h$$

$$h_0 = C_f \sqrt{\frac{A}{2\pi}}\left[\ln(1 - K)\right]\frac{K - 1}{2K} \quad (25)$$

Keterangan :

N : jumlah batang rod

C_f (shafe factor = 0.9)

R_a dan R_b (tahanan berdasarkan pososi elektroda (gambar.2.13))

2.6.4 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ dalam persamaan 8.2. Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu :

Keadaan struktur tanah antara lain ialah struktur geologinya, seperti tanah liat, tanah rawa, tanah berbatu, tanah berpasir, tanah gambut dan sebagainya.

Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti garam, logam, dan mineral-mineral lainnya. Keadaan iklim, basah atau kering. Temperatur tanah dan jenis tanah

2.6.5 Pengaruh Keadaan Struktur Tanah

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50000 *Ohm per* cm^3. kadang-kadang harga ini dinyatakan dalam *Ohm-cm*. pernyataan Ohm-cm merepresentasikan tahanan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 cm^3. Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur tahanan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah homogen pada seluruh volume tanah, dapat bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis yang berbeda. Untuk memperoleh harga sebenarnya dari tahanan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung ditempat dengan memperbanyak titik pengukuran.

2.6.6 Pengaruh Unsur Kimia

Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang lebih rendah, sering dicoba dengan mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembumian ditanam. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali.

Cara lain untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah dapat dilakukan dengan memberikan air atau membasahi tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan, maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu.

2.6.7 Pengaruh Iklim

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembumian dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembumian sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Kadangkala pembenaman elektroda pembumian memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi sehingga harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin.

Proses mengalirnya arus listrik di dalam tanah sebagian besar akibat dari proses elektrolisa, oleh karena itu air di dalam tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik dalam tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah, maka konduktivitas daripada tanah akan semakin besar sehingga tahanan tanah semakin kecil.

2.6.8 Pengaruh Temperatur Tanah

Temperatur tanah sekitar elektroda pembumian juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperatur di bawah titik beku air (*0*℃), dibawah harga ini penurunan temperatur yang sedikit saja akan menyebabkan kanaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat.

Gejala di atas dapat dijelaskan sebagai berikut ; pada temperatur di bawah titik beku air (*0*℃) , air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi rendah sekali. Bila temperatur anah naik, air akan berubah menjadi fase cair, molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau tahanan jenis tanah turun. Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$$

dimana :

ρ_t = tahanan jenis tanah pada t°C.

ρ_o = tahanan jenis tanah pada 0°C

α_o = koefisien temperatur tahanan per °C pada 0°

t = temperatur yang timbul (°C)

2.7 Terminologi dan Sifat-Sifat Geoteknik.

2.7.1 Terminologi Geoteknik

Disiplin geologi teknik atau geologi rekayasa telah diusahakan untuk mengisi atau menjembatani perbedaan (Gap) secara filosofis antara geologi dan teknik sipil, tetapi terutama pada hubungan untuk mengevaluasi fenomena geologi, misalnya : pergerakan lereng, gempa bumi dan sebagainya. Tetapi tidak dihubungkan atau tidak mengarah pada kebutuhan desain dan pekerjaan rekayasa konstruksi, misalnya seperti : struktur pondasi dan struktur penahan. Sedangkan geoteknik atau rekayasa geoteknik, dianggap kreasi suatu merger diantara geologi dan teknik sipil, yaitu suatu penuntun pemahaman dalam elemen-elemen rekayasa geoteknik dari aspek investigasi dan pendefinisian lingkungan geologi untuk tujuan kriteria yang akan ditetapkan untuk keperluan desain pekerjaan rekayasa apakah pada tanah atau batuan (Roy E.Hunt 1984).

Definisi Geoteknik menurut beberapa sumber, antara lain :

Menurut buku :"Engineering geologi – Rock in Engineering Construction" Berikut :

Ahli geologi teknik (Engineering Geologist) dibebani dengan tugas menginterpretasi data geologi dan menentukan suatu model yang berhubungan dengan pengertian yang dijelaskan dengan morfologi dan klasifikasi geologi teknik dari setiap unit batuan...untuk mengevaluasi kekuatan dan kemampuan deformasi batuan dan implikasi yang dihasilkanuntuk suatu proyek adalah tugas seorang geoteknik (Geoteknical engineer) dengan spesialisasi mekanika tanah dan mekanika batuan. Seorang ahli geoteknik atau ahli material, menentukan kecukupan tanah dan batuan untuk zona yang berbeda pada urugan batuan atau sebagai komponen- komponen campuran beton dan aspal.....ahli geologi teknik menyajikan data geologi dan

interpretasi untuk digunakan oleh ahli tehnik sipil. (Richard E. Goodman, John Wiley & Sons, Inc.,Canada,1993)

Menurut :"Guidelines for Geotecnical Report City of Santa Monica Building and Safety", March 2002. Geoteknik didefinisikan sebagai :

*Penerapan metode-metode ilmiah dan prinsip-prinsip rekayasa pada material-maretial kerak bumi sehubungan dengan penyelesaian masalah-masalah rekayasa. (*Bates, R.L.,jackson, J.A, "Dictionary of Geological Term", 3rd*)* edition, American Geological Institute, 1984).

2.7.2 Sifat-Sifat Geoteknik

Sifat sifat geoteknik meliputi semua sifat material-material geologi, terutama tanah dan batuan, diperoleh dipengujian di tempat maupun laboratorium. Sifat-sifat geoteknik dapat dikelompokan dalam beberapa kelompok sebagai berikut :

1. **Sifat-sifat Tanah**

   Sifat-sifat dasar (basic properties) mencangkup karakterisrik dasar dari material yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkorelasikan dengan sifat lainya. Penggunaan untuk perhitungan teknik.

2. **Sifat-sifat Fisik**

   Sifat-sifat fisik (index Properties), dapat diartikan karakteristik fisik tertentu yang pada dasarnya digunakan untuk mengklasifikasi, tetapi juga untuk korelasi dengan sifat-sifat mekanis atau sifat-sifat keteknikan (engineering Properties).

3. Sifat-sifat Hidrologis

Sifat-sifat hidrologis (hydraulic Properties), dinyatakan dalamterminologi permeabilitas, merupakan sifat-sifat mekanis. Sifat hidrolis meliputi pengaliran arus menembus media geologi.

4. Sifat-sifat Keteknikan

Sifat-sifat mekanis (Mecanical properties) yang meliputi karakteristik kuat runtuh dan, perubahan bentuk (deformation), disebut juga sifat-sifat keteknikan (enginerring properties), dan dikelompokan seperti statis atau dinamis.

5. Korelasi

Korelasi antar kelompok dapat dilakukan jika diperlukan, yaitu :

1. Mengukur sifat-sifat hidraulis dan mekanis yang mendasari semua analisis teknis seringkali mahal atau sulit untuk diperoleh, khususnya ketelitian yang dapat dipercaya.
2. Korelasi yang didasarkan pada sifat-sifat fisik dengan data-data yang diperoleh dari penyelidikan yang teliti atau sifat-sifat mekanis yang dievaluasi dari penganalisisan kembali kegagalan yang pernah terjadi, akan memberikan data untuk studi awal dan juga pemeriksaan terhadap keakuratan data yang diperoleh selama investigasi.

Sifat-sifat dasar dan sifat-sifat fisik, pada umumnya dalam praktek digabungkan menjadi SIFAT-SIFAT FISIK (*index properties*), demikian pula sifat-sifat hidrolis biasanyanya digabungkan menjadi SIFAT-SIFAT TEKNIK.

2.7.3 Sifat Dasar Tanah

Subgrade atau lapisan tanah dasar merupakan lapisan tanah yang paling atas, dimana diletakan lapisan dengan material yang lebih baik. Sifat tanah dasar ini

mempengaruhi ketahanan lapisan diatasnya. Banyak metode yang dipergunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar dari cara yang sederhana sampai cara yang rumit seperti CBR (*California Bearing Ratio*), Mr (*Resilient Modulus*), DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), Modulus Reaksi Tanah. Di Indonesia daya dukung tanah dasar salah satunya dapat ditentukan dengan mempergunakan pemeriksaan CBR.

2.7.4 Jenis CBR

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas :

1. CBR Lapangan
2. CBR Lapangan rendaman
3. CBR rencana titik

1. CBR Lapangan.

Disebut juga CBR inplace atau field CBR. Gunanya untuk :

a. Mendapatkan nilai CBR asli dilapangan, sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim Penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.

b. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan untuk tujuan ini tidak umum digunakan, lebih sering menggunakan pemeriksaan yang lain seperti sand cone dll.

Pemeriksaan dilakukan dengan meletakan piston pada kedalamam dimana nilai CBR hendak ditentukan, lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dimpahkan memalui gandar truk.

2. CBR Lapangan rendaman (Undisturb soaked CBR)

Gunanya untuk mendapatkan besar nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan (swell) yang maksimum. Pemeriksaan dilakukan pada kondisi tanah dasar tidak dalam keadaan jenuh air.

Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi, terletak di daerah yang mungkin sering terendam air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam mold yang ditekan masuk ke dalam tanah mencapai kedalaman tanah yang diinginkan.mold berisi contoh tanah dikeluarkan direndam selama 4 hari sambil diukur pengembanganya (swell). Setelah pengembangan tak lagi terjadi baru dilaksanakan pemeriksaan CBR.

3. CBR Rencana Titik

Disebut juga CBR Laboratorium atau CBR Desain. Tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan Maksimum.dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut dipadatkan. Berarti nilai CBRnya adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuat mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan. CBR ini disebut CBR rencana titik dan karena disiapkan di laboratorium, disebut juga CBR Laboratorium.

CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 macam yaitu :

a. CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*).
b. CBR laboratorium tanpa Rendaman (*Unsoaked Design CBR*)

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam penyiapan contoh tanah adalah :

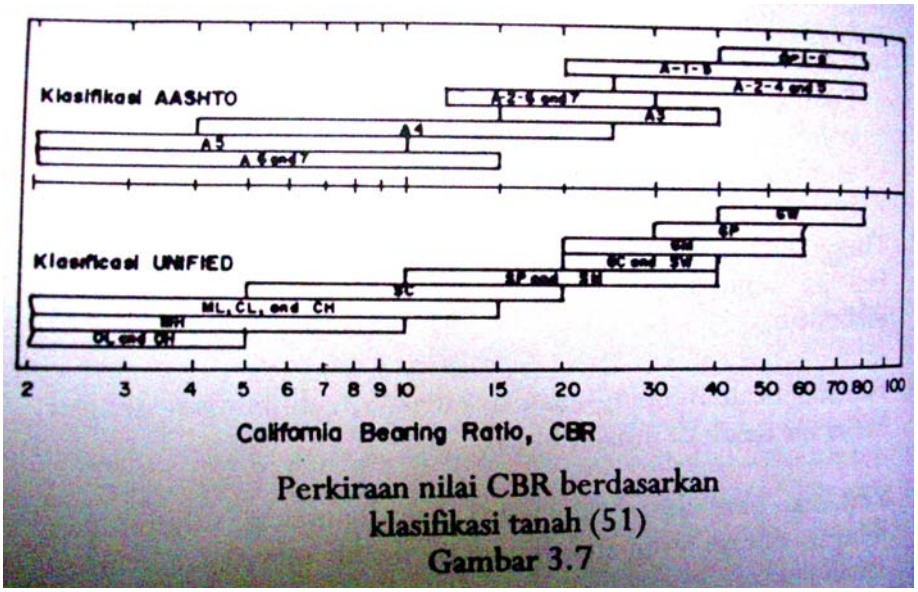
1. jenis tanah dasar itu sendiri, apakah tanah berbutir halus dengan plastisitas rendah tanah berbutir halus dengan plastisitas tinggi atau tanah berbutir kasar. Hal ini sehubungan dengan sifat tanah tersebut dalam menahan air dan efeknya terhadap pengembangan.
2. elevasi rencana dari tanah dasar itu sendiri, apakah pada tanah galian, tanah timbunan atau sesuai dengan muka tanah asli. Contoh diambil dari bagian tanah yang direncanakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) berarti contoh tanah berasal dari :
    a. permukaan tanah tersebut jika tanah dasar tanah asli.
    b. Material yang nantinya akan digunakan sebagi bahan timbunan jika tanah dasar di atas tanah timbunan.
    c. Berasal dari lubang bor atau test pit yang mencapai elevasi yang direncanakan jika tanah dasar adalah tanah galian. Pada galian yang cukup dalam di mana contoh tanah diperoleh dengan pemboran, besarnya CBR ditentukan secara empiris.
3. tinggi muka air tanah jika ditinjau dari elevasi tanah dasar. Hali ini sehubungan dengan jenis pemeriksaan yang akan dilakukan.
4. fasilitas drainase yang disediakan, sehubungan dengan kadar air tanah di musim hujan.
5. peralatan pemadatan yang nantinya akan digunakan, sehubungan dengan energi yang digunakan untuk penyiapan contoh tanah dasar.

6. curah hujan pada lokasi, mempengaruhi tinggi muka air tanah dan fasilitas darainase, berarti mempengaruhi jenis pemeriksaan yang dilakukan.

Dari uraian diatas terlihat bahwa faktor-faktor tersebut diatas berkaitan dengan kadar air yang mungkin akan terjadi dan besarnya energi yang akan diberikan pada saat pemadatan penyiapan lahan dasar. Pemeriksaan CBR mengikuti AASHTO T193 atau modifikasi-modifikasi yang ada.

2.7.5 Menaksir harga CBR secara Empiris

Pada tanah dasar rencana yang merupakan tanah dasar galian yang cukup dalam, pengambilan contoh tanah sebanyak yang dibutuhkan untuk pemeriksaan CBR sukar didapat. Contoh tanah biasanya diperoleh dengan menggunakan alat Bor. Untuk itu penentuan besarnya nilai CBR rencana dapat dilakukan dengan analisa butir dan palstisitas tanah. Tetapi data CBR ini hanya data perkiraan yang selalu harus diamari pada tahap pelaksanaan. Perkiraan nilai CBR dapat dilihat pada gambar berikut :



Perkiraan nilai CBR berdasarkan klasifikasi tanah (51)
Gambar 3.7

Gambar 2.15 Perkiraan Nilai CBR Berdasarkan Klasifikasi tanah.

2.8 Menentukan nilai CBR lapangan menggunakan data DCP (Dynamic Cone Penetrometer)

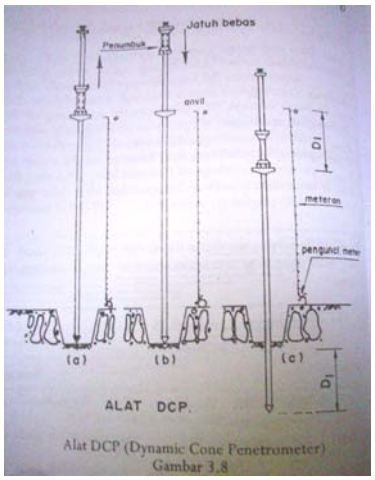
Pendugaan dinamis atau dikenal dengan DCP (*dynamic Cone Penetrometer*) Dikembangkan oleh TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*), Crowthorne Berkshire, Inggris.

Umumya alat ini digunakan pada perencanaan jalan raya dan Konstrksi berupa timbunan (embankment) dengan maksud dan tujuan sebagai berikut :

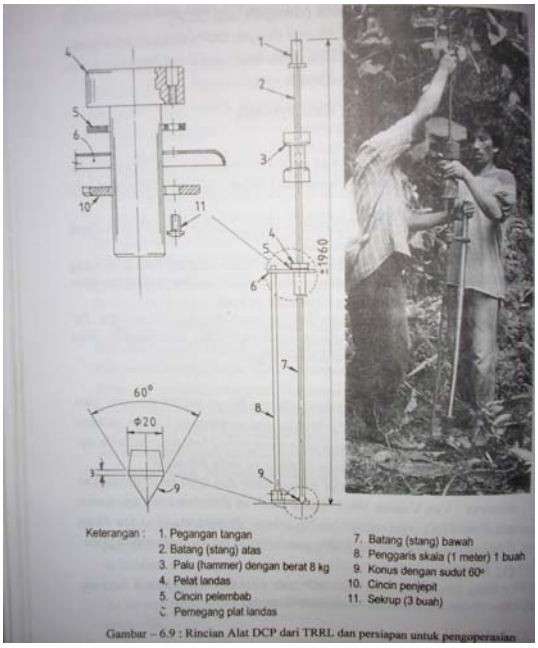
1. Untuk mengetahui ketebalan lapisan dangkal dari tanah lunak atau kedalaman sampai batuan.
2. untuk pengukuran (dengan cepat) sifat-sifat struktur jalan yang sudah ada, dengan konstruksi lapisan perkerasan jalan raya yang materialnya lepas (tak terikat).
3. untuk menentukan daya dukung tanah dangkal secara cepat. Pada perencanaan perkerasan jalan, baik jalan raya maupun jalan inspeksi (pada tanggul saluran irigasi).

Batasan

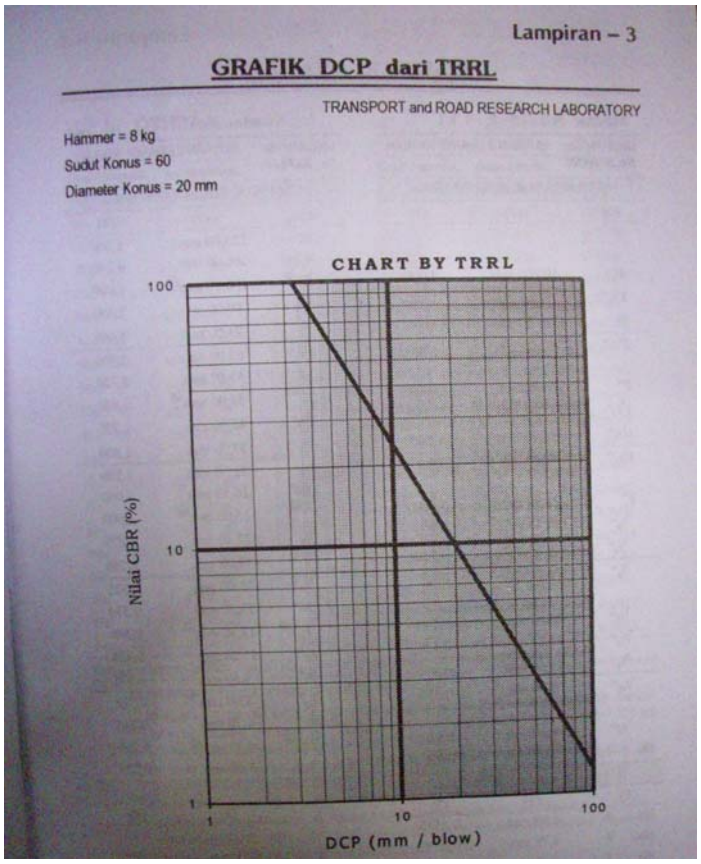
Alat ini dapat mengukur sedalam 80-90 cm secara menerus, dibawah tanah dasar dengan alat seperti pada **Gambar 2.16a** dan **Gambar 2.16b** dan dibawah ini dengan pemberat seberat 20 lb (9.07 kg). Korelasi antara pengukuran dengan DCP dan CBR telah ditetapkan dengan **Gambar grafik 2.15** dibawah ini. Nilai kesetaraan dari nilai DCP dan CBR dapat korelasikan sesuai dengan standar dari TRRL yang menunjukan hubungan jumlah pukulan (DCP) dari nilai CBR



Gambar 2.16a Skema alat DCP



Gambar 2.16b alat DCP



Gambar 2.17 Grafik Korelasi Nilai DCP dan CBR

Dari grafik korelasi nilai DCP berdasarkan jumlah pukulan maka diperoleh nilai CBR sebagai berikut :

Tabel 2.8 Korelasi DCP terhadap nilai CBR

mm/ blows	CBR (%)	mm/ blows	CBR (%)
<4	70	10	23
5	55	11	21
6	43	12	20
7	36	13	19
8	29	14	16
9	28	15	15

mm/ blows	CBR (%)	mm/ blows	CBR (%)
16	13	26	6
18	12	33	5
19	10	38	4
20	9	45	3
23	8	50-70	2
25	7	80-100	1

2.9 Pengujian Sifat-Sifat Fisik (*Index Properties*) Yang Berhubungan Dengan Pengujian.

1. Kadar Air (*w*)

Pengujian ini digunakan untuk menentukan tanah air tanah yaitu perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah dinyatakan dalam persen.

2. Berat Jenis Tanah (*Gs*)

Untuk mendapatkan nilai berat jenis suatu tanah. (Gs)

3. Berat isi tanah (γ)

Pengujian ini digunakan untuk mendapatkan berat isi tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya dalam gram/cm^3.

4. Batas ATTERBERG

Pengujian ini dimaksud untuk mengetahui Index Plastisitas dari suatu tanah yang diuji. Index Plastisitas (PI) adalah selisih dari batas cair dan batas Plastis. Plastisitas digambarkan sebagai kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak dan remuk.

$$PI = LL - PL$$

a. Batas cair (LL)

Pengujian ini dimaksud untuk mengetahui batas cair tanah yang diuji. Batas cair adalah kadar air dimana tanah berada dalam batas keadaan plastis dan cair.

b. Batas plastis

Pengujian ini dimaksud untuk mengetahui batas plastis suatu contoh tanah, yaitu nilai kadar air terendah dari suatu contoh tanah dimana tanah tersebut masih dalam keadaan plastis

Batasan Mengenai Indeks Plastis, sifat, dan Macam tanah dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 2.9 Nilai Index Plastisitas dan Macan Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Nonplastis	Pasir	NonKohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

2.10 Pengujian Sifat-Sifat Mekanis (*engineering Properties*) yang berhubungan dengan pengujian

1. Pengujian Kepadatan Berat (MODIFIED) Pengujian ini dimaksud untuk mengetahui hubungan antara kadar air dengan kepadatan tanah sehingga bisa diketahui kepadatan maksimum dan kadar air optimum.
2. Uji CBR Laboratorium (UNSOAKED)

   Pengujian ini dimaksud untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah dalam keadaan padat maksimum tanpa rendaman.
3. Uji DCP (Dynamic Cone Penetrometer) / Pengujian Lapangan

   Pengujian daya dukung tanah secara langsung dilapangan.

2.11 Karakterisasi Tanah

2.11.1 Komponen tanah

Berdasarkan ukuran partikel (gradasi butiran)nya, tanah dapat didefinisikan dari komponennya sendiri misalnya seperti : bongkah, kerakal, kerikil, pasir lanau dan lempung, seperti pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Material Geoteknik

KOMPONEN TANAH			STANDAR AYAKAKAN UKURAN(mm)			
			Lolos dari	Tertahan pada	maksimum	Minimum
BONGKAH		Boulder	-	-	-	-
KERAKAL		Cobble	-	3 inci	-	75
KERIKIL		Gravel	3 inci	No.4	75	4,750
	Kasar	*Coarse*	3 inci	¾ inci	75	19
	Halus	*Fine*	¾ inci	No.4	19	4,750
PASIR		Sand	No.4	No.200	4,750	0,075
	Kasar	*Coarse*	No.4	No.10	4,750	2,000
	Sedang	Medium	No.10	No.40	2,000	0,425
	Halus	*Fine*	No.40	No.200	0,425	0,075
BERBUTIR HALUS		Fines	No.200	-	0,075	-
	Lanau	*Silt*	-	-	0,075	0,05
	lempung	*clay*	-	-	0,005*)	-

Dari table 2.3 Geotechnical Material in Construction, Marian P.Rollings and Raymond S.Rolling, Jr.,McGraw-Hill Companies,Inc.USA, 1996.

*) Seringkali lebih disukai diambil 0,002 daripada 0,005 yang digunakan pada ASTM D422-63 (1990).

Kelompok Tanah

Dengan didasarkan pada gradasi butiran, karakteristik fifik dan komposisi, tanah dapat dikelompokan dalam kelompok utama dan kelompok umum sebagi berikut :

1. KELOMPOK UTAMA
    1. **Bongkah dan kerakal**, yang merupakan bagian tersendiri.
    2. **Tanah Berbutir**, yang mencangkup : Kerikil, pasir dan lanau yang merupakan marerial non kohesif.
    3. **Tanah Lempung**, yang merupakan tanah kohesif.
    4. **Tanah Organik**, yang disusun dari atau meliputi zat organik (Lempung, lanau dan gambut)
2. KELOMPOK UMUM
    1. **Tanah Berbutir Kasar**, yang meliputi *kerikil* dan *pasir*..
    2. **Tanah Berbutir Halus**, Yang meliputi *lanau* dan *lempung.*

3. **Tanah Kohesif**, lempung yang bercampur dengan tanah berbutir atau lempung murni.

2.11.2 Sifat-Sifat Tanah

Sifat-sifat tanah merupakan karakterisrik untuk digunakan sebagai dasar kalsifikasi atau identifikasi sehubungan dengan analisis dan perhitungan teknik. Sifat-sifat tanah sama halnya dengan sifat-sifat batuan, dan padat dikelompokan dalam dua kelompok utama, yaitu sifat-sifat fisik dan sifat-sifat mekanis.

- **Tanah Berbutir (Non Kohesif)**

Karakteristik tanah Non Kohesif

Bongkah dan karakal tidak termasuk dalam kelompok ini, tetapi merupakan kelompok tersendiri (terpisah). Jadi yang termasuk kelompok tanah berbutir, yaitu : kerikil, pasir dan lanau.

a. Ukuran partikel

bentuk partikel besar dan berukuran sama (seragam), bervariasi dari bulat, agak bulat sampai persegi. Bentuk-bentuk yang dihasilkan dari abrasi dan pelarutan, adalah sehubungan dengan jarak transportasi (*sediment transport*). Perikalu terjadinya massa disebabkan oleh jarak pori diantara butiran masing-masing yang bersentuhan.

b.sifat-sifat partikel, non kohesif dan non plastis.

Mineral-mineral butiran

a. Jenis butiran

Mineral tanah berbutir yang lebih dominan adalah kwarsa yang pada dasarnya stabil, lemah, dan tidak dapat berubah bentuk. Pada suatu saat, pasir dan lanau meliputi granit, magnetit dan hornblende.

Pada cuaca dimana akan terjadi pelapukan mekanis (disintegrasi) dan terjadi sedikit pelapukan kimiawi (dekomposisi), mungkin akan ditemui mika, feldspar atau gipsum, tergamtung pada batuan asal.

Fragment kerang biasanya dijumpai pada beberapa deposit pantai pada area khususnya dimana dijumpai sedikit batuan yang banyak mengandung kwarsa, dan umumnya dilepas pantai daerah katulistiwa, dijumpai pasir kalkarim atau pasir karbonat.Mineral-mineral lebih lunak (encer) misalya seperti kerang mika dan gypsum mempunyai kekuatan rendah, dan pengaruh pasir kalkarim pada beton padat merusak.

b. Lanau

Walaupun terdiri dari partikel besar-besar, lanau seringkali dikelompokan dengan lempung sebagai tanah berbutir halus dan juga ukuran partikel didefinisikan lebih kecil dari 0,074 mm. Lanau non plastis terdiri dari butiran kwarsa lebih kurang seragam dan suatu saat ditunjukan sebagai “tepung batu” lanau plastis mengandung sejumlah partikel berbentuk kepingan.

Lanau digolongan sebagai anorganik, berkisar dari non plastis sampai plastis, atau organik mengandung sejumlah zat organik berharga. Jika dibasahi, lanau bertekstur halus seperti lempung.

Sifat-sifat Lanau

1. **Pemuaian (dilantancy),** Volume pada lanau akan berubah bersamaan perubahan bentuknya, sedangkan lempung menahan Volumenya bersamaan perubahan bentuknya (plastisitas). Butiranya halus, tetapi dibandingkan lempung, jarak pori pada lanau relatif besar, menghasilkan sensitifitas tinggi untuk merubah tekanan pori, terutama dari peningkatan akibat getaran. Disebabkan oleh penampilan fisik dan

cenderung untuk bergetar akibat perlengkapan pada saat pelaksanaan, lanau serngkali ditunjukan sebagai “bersifat khusus”.

2. Stabilitas, apabila dalam keadaan jenuh dan tak terbatas, lanau mempunyai kecendrungan menjadi “quick” dan mengalir sebagai suatu cairan kental.
3. Kohesi Semu, dihasilkan dari gaya kapiler memberikan suatu lekatan sesaat diantara partikel-partikel yang dapat merusak oleh kejenuhan atau kekeringan.

- **Tanah Lembung Kohesif**

1. Karakteristik Tanah Lempung

Lempung disusun oleh partikel-partikel mineral berukuran koloidal memanjang, pada umumnya diambil sama berukuran kurang dari 2μ. Perilaku dikontrolnya oleh gaya yang berasal dari pemukaan sebaliknya daripada gaya yang berasal dari massa.

a. Struktur massa lempung

Bentuk partikel-partkel lempung secara umum terdiri dari dua bentuk struktur : menggumpal (flocculated) atau teurai (dispersed).

1. **Struktur Menggumpal**, terdiri dari suatu partikel yang mengapung perlahan ke arah permukaan yang dihasilkan dari pembebanan listrik pada permukaannya selama pengendapan.

   Dalam air asin, penggumpalan jelas lebih banyak dari pada dalam air tawar beserta partikel-partikel lempung membeku

akan menjadi gumpalan dan mengendap dengan cepat ke dasar tanpa susunan berlapis-lapis.

Dalam air tawar, partikel-partikel mengendap dengan perlahan membentuk lapisan-lapisan berlapis-lapis dan tersusun rapi dengan perlapisan bergradasi.

2. **Struktur terurai,** terdari dari suatu partikel berhadap-hadapan atau penyusunan sejajar yang terjadi selama konsolidasi (Pemadatan).

b. Sifat-sifat lempung

1. Kohesi, dihasilkan dari suatu ikatan yang dibangun karena persentuhan permukaan partikel-partikel lempung, disebabkan oleh daya tarik elektrokimia. Makin padat partikelnya, makin besar ikatannya dan makin kuat kohesinya. Hal ini disebabkan oleh du faktor :
    a. Permukaan partikel-partikel dengan kekuatan khusus (luas permukaan per unit berat).
    b. Beban listrik pada struktur silikat basa disebabkan oleh subtitusi ion pada struktur kristal.
2. Adhesi, Menunjukan daya tarik material lempung untuk melekat ke material asing (tidak sejenis) yaitu kelengketan (stickiness).
3. Plastisitas, material yang mengalami suatu perubahan bentuknya tanpa mengalami perubahan volume, dengan kelengasan (kadar air) yang konstan.

4. Konsistensi, dengan mengurangi kadar air, lempung akan menembus batas cair menjadi kondisi plastis, kemudian keadaan semi padat, sampai aknirnya suatu keadaan keras seperti batubata. Kadar air pada peralihan diantara variasi keadaan ini ditentukan oleh Atterberg limits (batas-batas Atterberg) yang bervariasi sesuai dengan jenis lempung dan kebersihanya. Tanah lempung biasanya diidentifikasi oleh hubungan antara indeks plastisitas dan batas cairnya.
5. Aktivitas, menunjukan suatu gaya tarik untuk menghasilkan kelengseran pada perubahan volume yang besar dengan menambah kadar air (swelling) atau mengurangi kadar airnya (shrinking), yang berhubungan dengan struktur kristal dan kimiawi.