

MEKANIKA TANAH 2

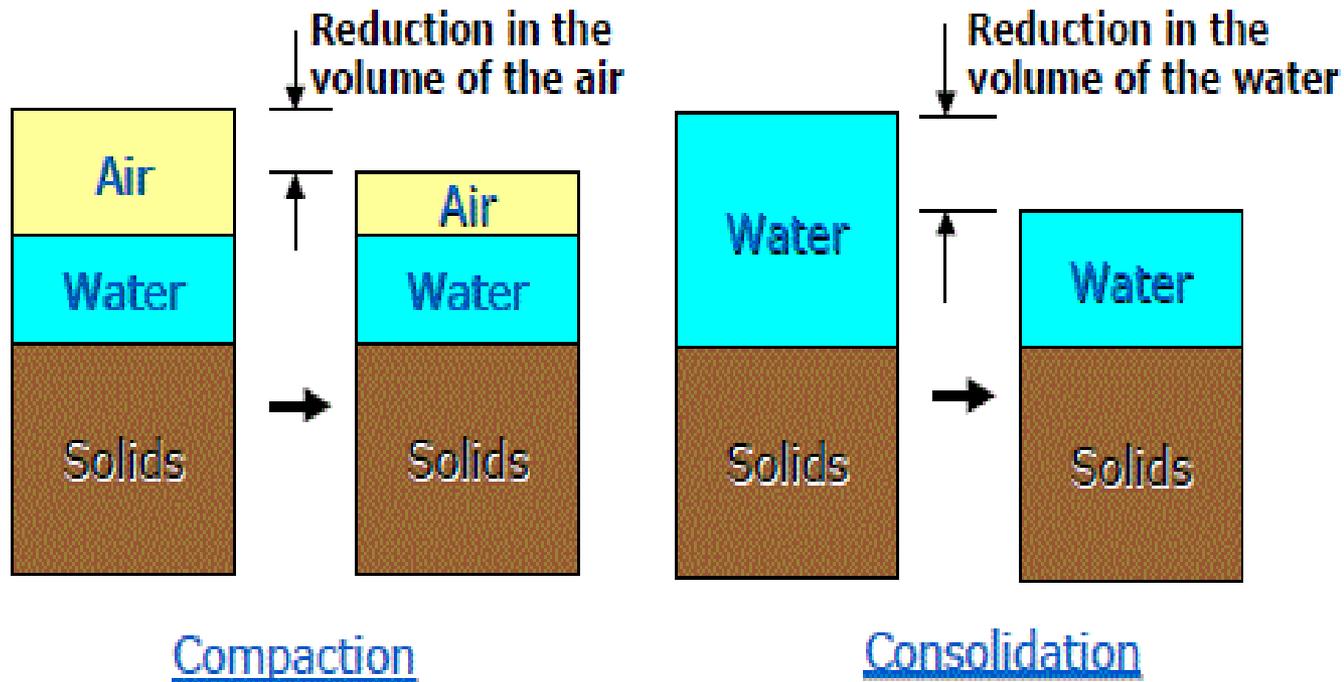
PEMADATAN TANAH



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN JAYA

Jl. Boulevard Bintaro Sektor 7, Bintaro Jaya
Tangerang Selatan 15224

KONSOLIDASI VS PEMADATAN

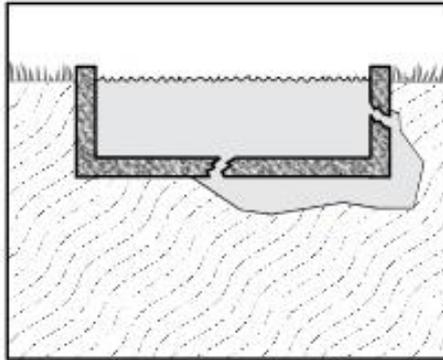


Konsolidasi : pengurangan secara perlahan-lahan volume pori $\rightarrow \gamma_d$ meningkat
Yang diakibatkan beban statis selama periode waktu tertentu

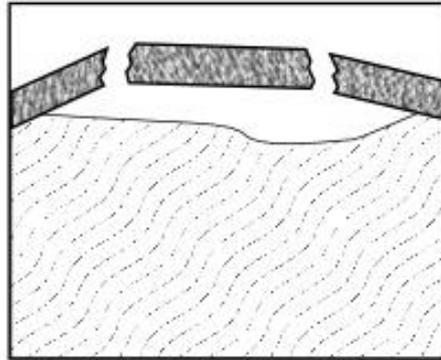
Pemadatan : proses γ_d meningkat disebabkan pemadatan partikel yang diikuti pengurangan volume udara dengan volume air tetap

DAMPAK TANAH YANG TIDAK STABIL

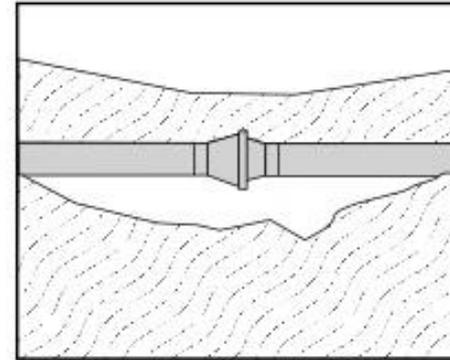
RESULTS OF POOR COMPACTION



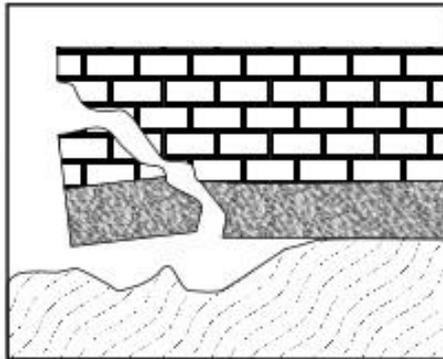
Basement & Pool
Cracks & Leaks



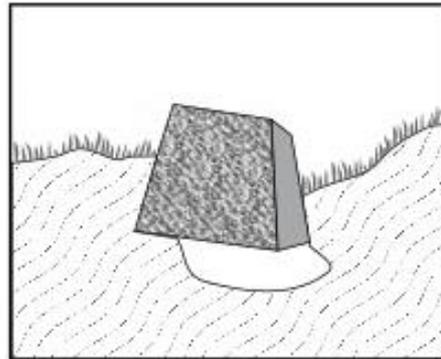
Slab Cracks



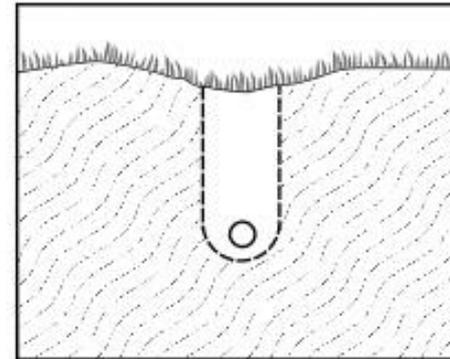
Pipe Leakage
& Breaks



Foundation Erosion



Erosion Gullies
Under Abutments

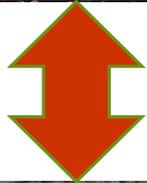


Utility Trench
Settling

PENDAHULUAN



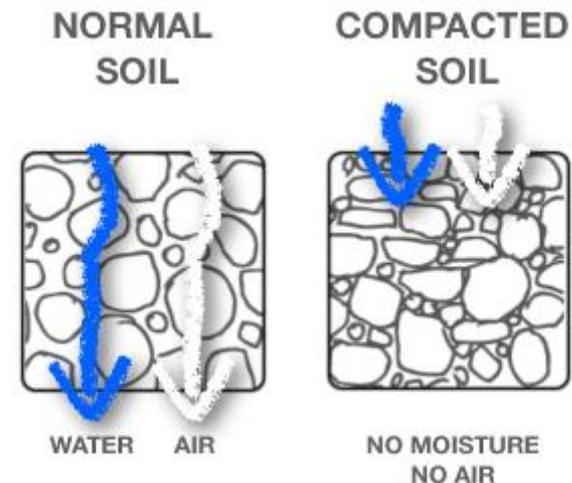
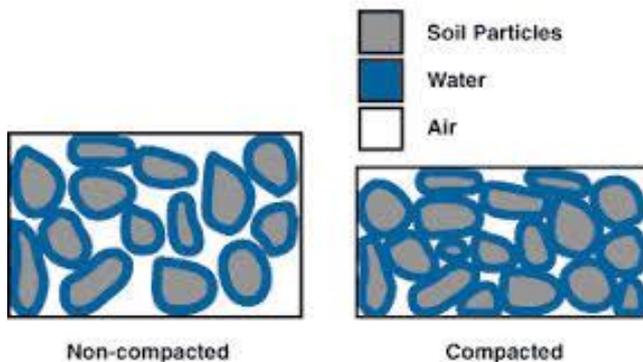
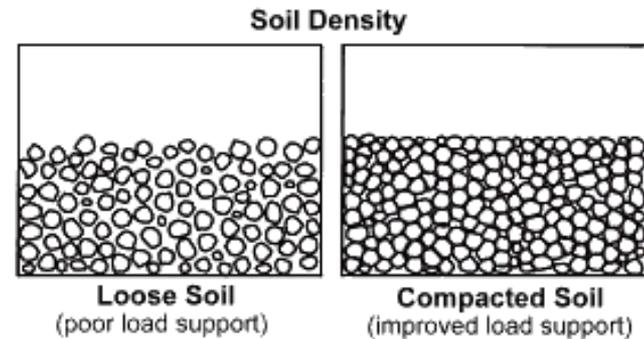
- Bersifat sangat lepas/mudah tertekan
- Konsistensi tidak sesuai, permeabilitas tinggi
- Daya dukung kecil



- Meningkatkan Kerapatan tanah
- Meningkatkan Kohesi /tahanan gesek
- Menambah bahan kimiawi/fisis pada tanah
- Menurunkan muka air tanah
- Mengganti tanah yang buruk

TUJUAN PEMADATAN

- Meningkatkan mutu tanah melalui :
 - menaikkan kuat geser tanah
 - memperbaiki daya dukung tanah
- Memperkecil penurunan (settlement)
- Memperkecil permeabilitas
- Mengontrol perubahan volume relatif



PENGARUH HASIL PEMADATAN PADA TANAH

➤ **PADA TAHANAN GESER**

Meningkatnya kepadatan tanah akibat pemadatan umumnya meningkatkan juga tahanan geser. Hal ini dapat dilihat dari pekerjaan subgrade pada konstruksi jalan dimana dibutuhkan perkerasan yang lebih tipis apabila didirikan di atas lapisan tanah subgrade yang telah dikompaksi

➤ **PADA PERGERAKAN AIR**

Ketika partikel tanah menerima pembebanan akibat pemadatan, maka jumlah rongga pada massa tanah dan ukuran ruang rongga berkurang. Perubahan ini menyebabkan berkurangnya juga kemampuan tanah untuk mengalirkan air (permeabilitas menjadi rendah)

➤ **PERUBAHAN VOLUME**

Perubahan volume (shrinkage and swelling) merupakan hal penting terutama untuk lapisan subgrade pada konstruksi jalan. Khususnya untuk tanah

PRINSIP PEMADATAN

- Pemadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d)



PEMADATAN = f {KADAR AIR (w)}

- Berat tanah kering ini tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air sepanjang volume total tanah tetap.

KENAPA ??????

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$



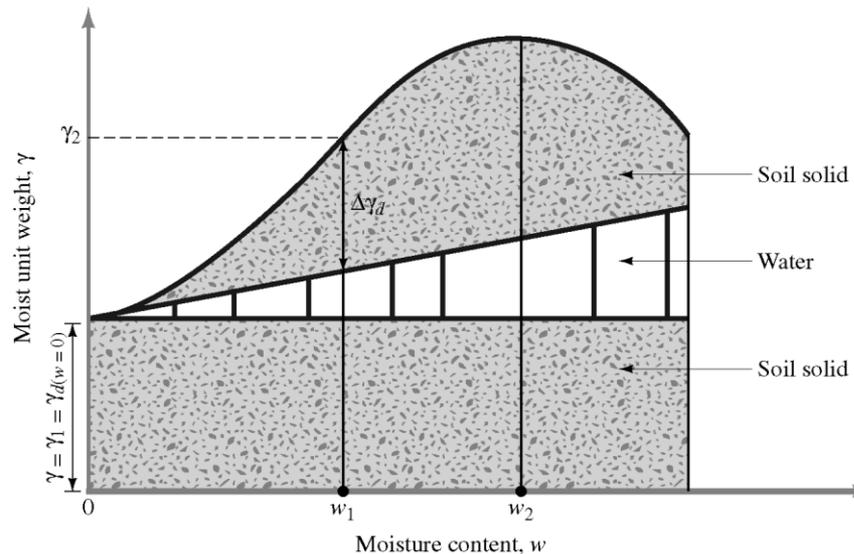
Bila berat butiran (W_s) dan volume tetap, maka γ_d tetap

- Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut pemadatan → tanah merapat satu sama lain akibat berkurangnya rongga
- Dengan kadar air (w) yang ada, maksimum derajat kepadatan yang dicapai suatu tanah adalah jika semua rongga udara (air voids) telah hilang.

PRINSIP PEMADATAN (2)

Johnson dan Sallberg, 1960 melakukan pengujian di laboratorium bahwa :

Pada awal pemadatan , berat volume kering bertambah dengan penambahan kadar air, pada saat kadar air nol ($w = 0$), berat volume tanah basah (γ_b) = berat volume kering (γ_d)



Ketika kadar air ditambahkan (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per satuan volume (γ_d) juga bertambah. Misal pada saat kadar air = w_1 , maka $\gamma_b = \gamma_2$

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

PRINSIP PEMADATAN (3)

Pada saat kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu $w = w_2$ (saat kadar air optimum) , kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini disebabkan karena air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat.

Kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) disebut **KADAR AIR OPTIMUM (w_{opt})**.

Jadi air bertindak sebagai cairan pelembut (***softening agent***) pada tanah yang dipadatkan

UJI PEMADATAN

UJI PEMADATAN

```
graph LR; A(UJI PEMADATAN) --- B(UJI LABORATORIUM); A --- C(UJI LAPANGAN);
```

UJI LABORATORIUM

- 1) Standard Proctor Test
(uji kepadatan ringan)
- 2) Modified Proctor test
(uji kepadatan berat)

UJI LAPANGAN

- 1) Nuclear Gauge
- 2) Ballon densometer
- 3) Sand Cone test

UJI LABORATORIUM

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Dimana pada berbagai jenis tanah , terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimum.

HUBUNGAN BERAT VOLUME KERING (γ_d) DENGAN BERAT VOLUME BASAH (γ_b) DAN KADAR AIR (w) DINYATAKAN :

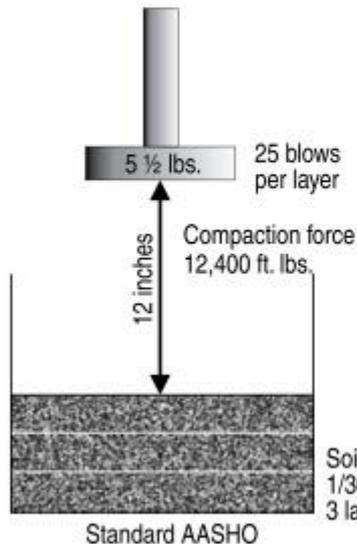
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w}$$

Berat volue kering setelah pemadatan bergantung dari jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penembuknya .

Karakteristik kepadatan tanah dinilai dari pengujian standar di laboratorium.

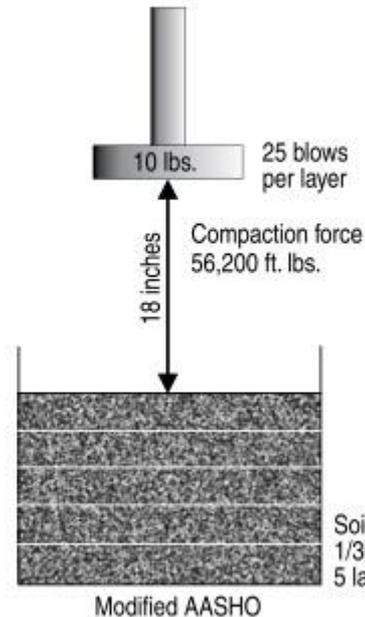
UJI LABORATORIUM(2)

PROCTOR TEST



Proctor Test

A small soil sample is taken from the jobsite. A standard weight is dropped several times on the soil. The material is weighed and then oven-dried for 12 hours in order to evaluate the water content.



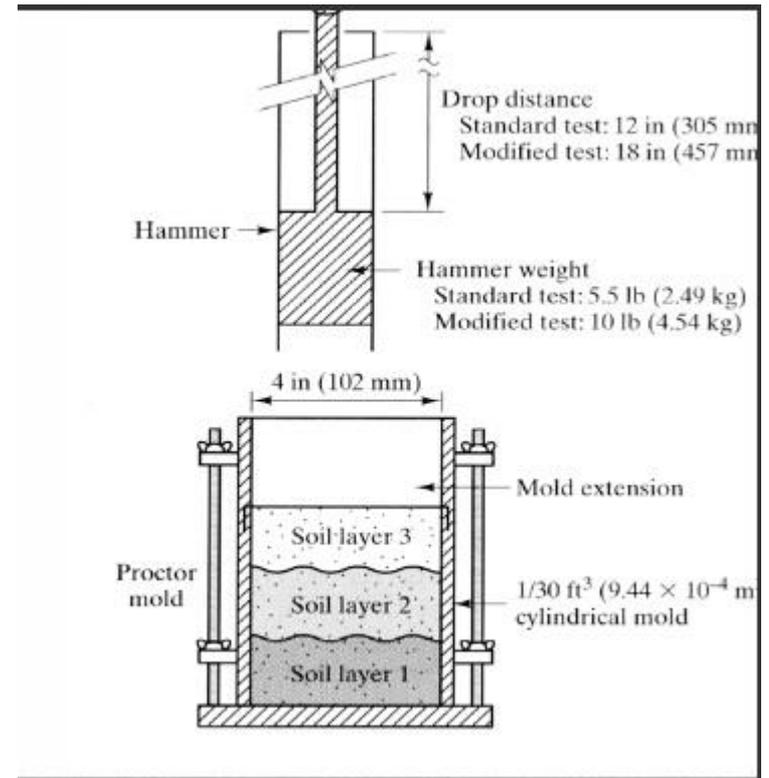
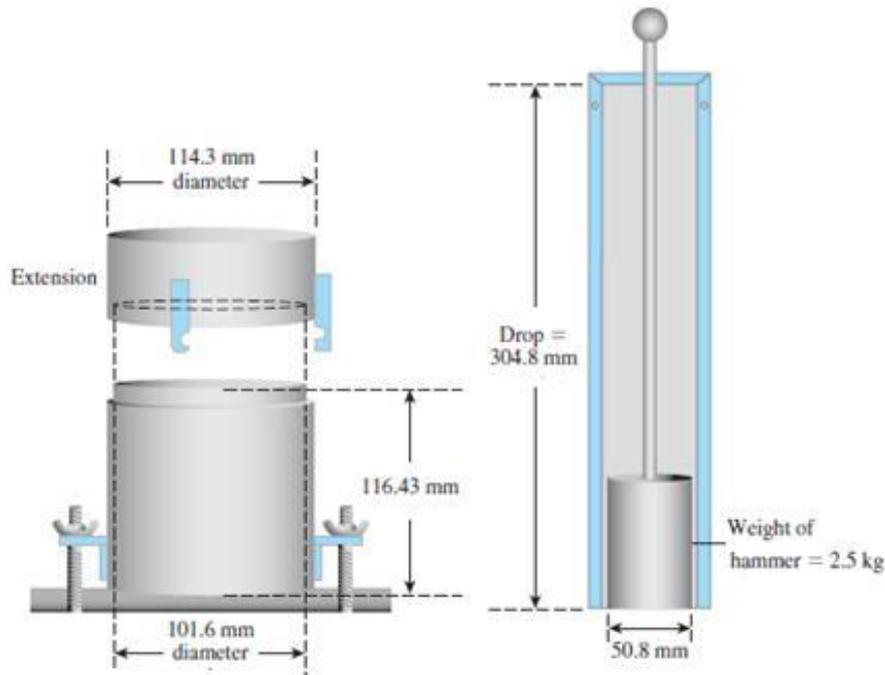
Modified Proctor Test

This is similar to the Proctor test except a hammer is used to compact material for greater impact. This test is normally preferred in testing materials for higher shearing strength.

- Tanah dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg
- Tinggi jatuh 30,5 cm
- Terdiri dari 3 lapisan @ditumbuk 25 kali

- Tanah dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 4,54 kg
- Tinggi jatuh 45,72 cm
- Terdiri dari 5 lapisan @ditumbuk 25 kali

STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D689)



Volume of mold: 944 cm

- Weight of hammer: 2.5 kg
- Height of drop: 304.8 mm
- Number of layers: 3
- Number of blows / layer: 25

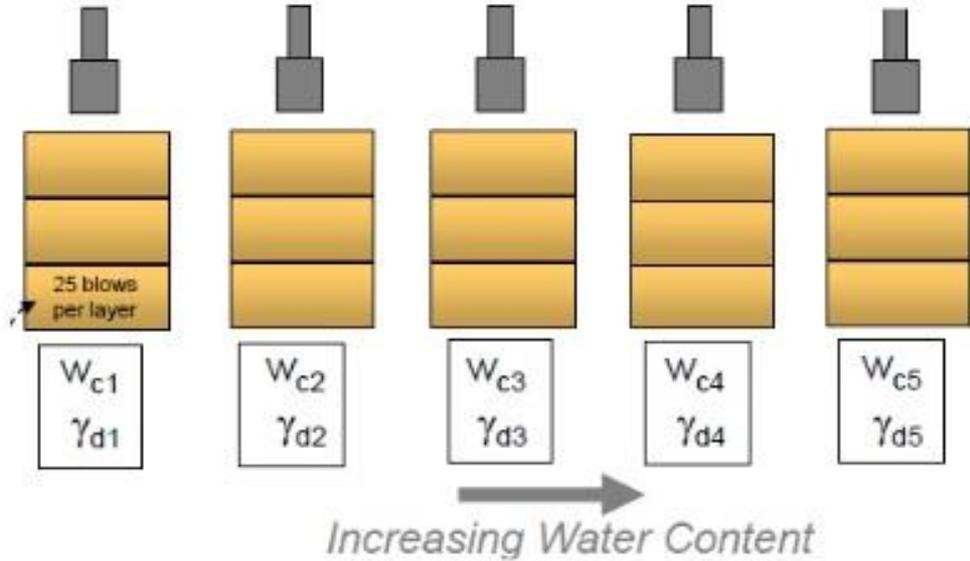
STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D698)



Typical Proctor Test Equipment

STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D689)

Test Procedure:



STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D689)

ANALISIS UJI STANDARD PROCTOR

- Sampel tanah ditimbang untuk menghitung masing-masing kadar air dari kelima sampel tanah (volume = volume mold = 950 cm³)

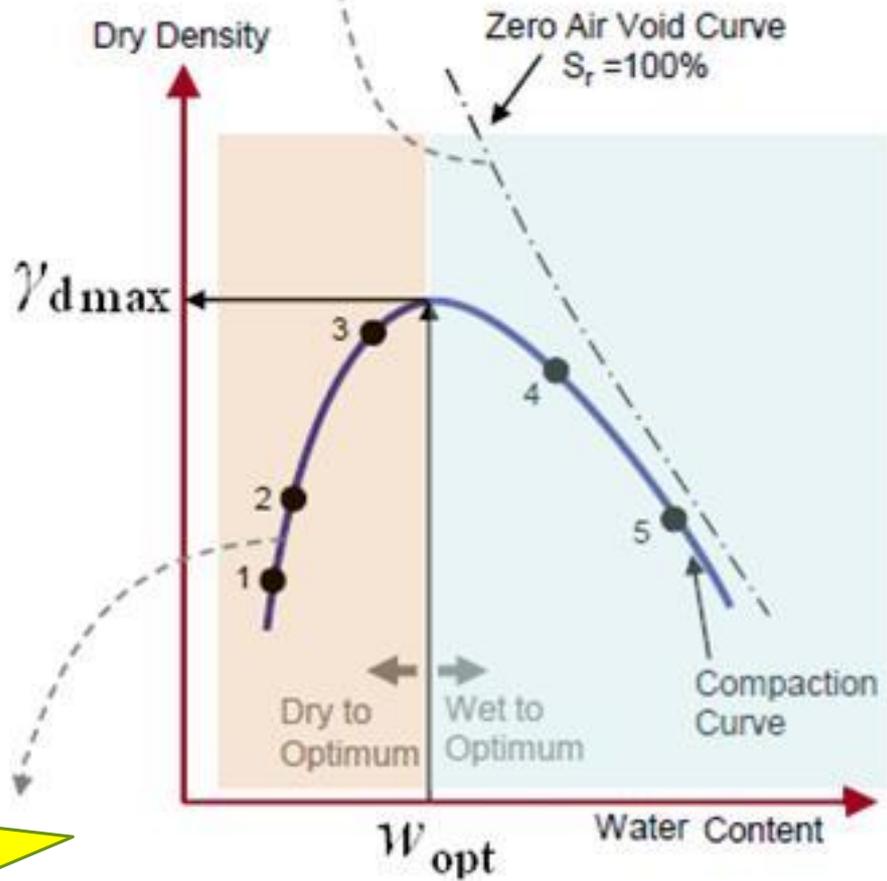
$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

- Ambil sedikit tanah sebanyak 20 – 30 gr, untuk mengetahui kadar airnya (w), lalu hitung γ_d

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

- Lakukan untuk setiap sampel tanah (5 kali percobaan)
- Plotkan nilai γ_d (sumbu –y) dan kadar air (w) sb.x dari setiap sampel tanah
- Tentukan kadar air maksimumnya (w_{opt})

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + wG_s}$$



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

STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D689)

- Pada grafik yang sama , gambarkan juga berat volume kering saat tanah menjadi jenuh air (γ_{zav}) :

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + wG_s}$$

Karena saat tanah jenuh ($S=1$) dan $e = w G_s$, maka :

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

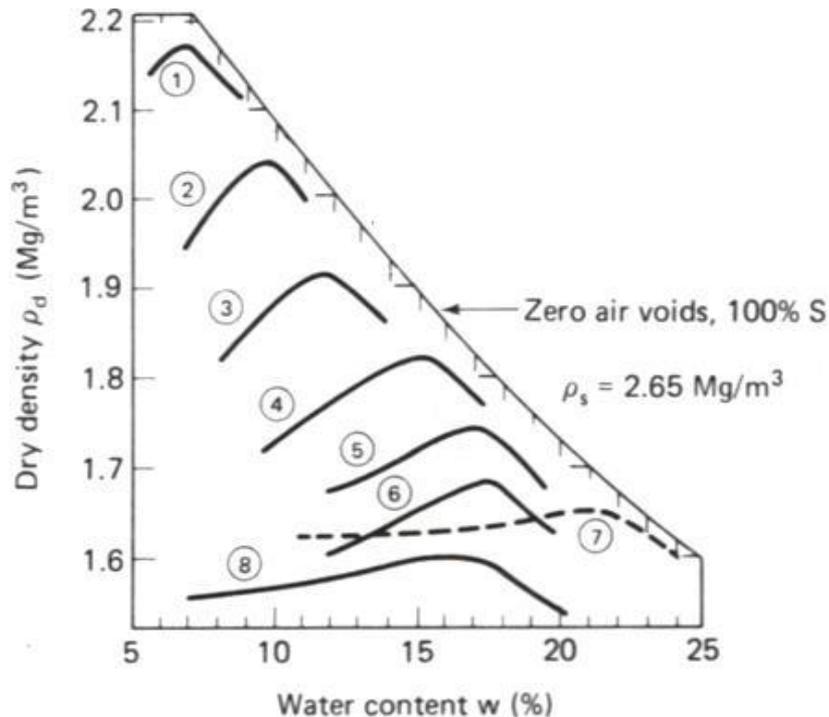
Berat volume kering setelah pemadatan pada kadar air w dengan kadar udara (*air content*), A ($A= V_a/V =$ volume udara/volume total) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s (1 - A \gamma_w)}{1 + w.G_s}$$

Faktor yang mempengaruhi pemadatan

PENGARUH JENIS TANAH DAN GRADASI

- Jenis tanah sangat berpengaruh terhadap γ_{dmaks} dan $w_{optimum}$
- Tanah berbutir halus membutuhkan air lebih sedikit untuk mencapai $w_{optimum}$
- Tanah berbutir kasar membutuhkan air lebih banyak untuk mencapai $w_{optimum}$



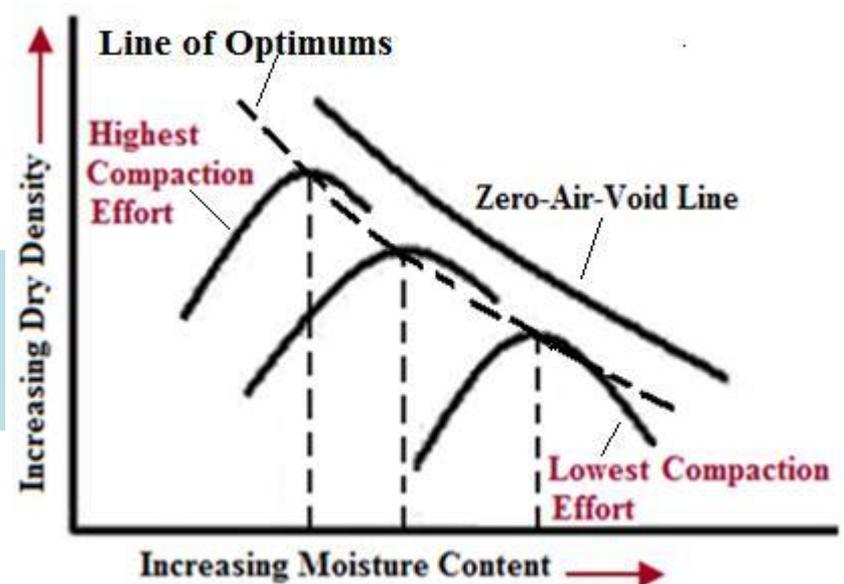
No.	Description
1	Well-graded loamy sand
2	Well-graded sandy loam
3	Med-graded sandy loam
4	Lean sandy silty clay
5	Lean silty clay
6	Loessial silt
7	Heavy clay
8	Poorly graded sand

PENGARUH USAHA PEMADATAN

- Energi kompaksi per unit volume yang digunakan pada standard Proctor adalah :

$$E = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{Number} \\ \text{of blows} \\ \text{per layer} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Number} \\ \text{of} \\ \text{layers} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Weight} \\ \text{of} \\ \text{hammer} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Height of} \\ \text{drop of} \\ \text{hammer} \end{array} \right)}{\text{Volume of mold}}$$

$$E = \frac{(25)(3) \left(\frac{2,5 \times 9.81}{1000} \text{ kN} \right) (0.305 \text{ m})}{944 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 594 \text{ kN.m / m}^3$$



- Ketika penambahan energi meningkat, maka $\gamma_{d_{maks}}$ juga meningkat dan kadar air optimum menurun

More compaction effort makes the optimum density close to $\rho(z.a.v)$.

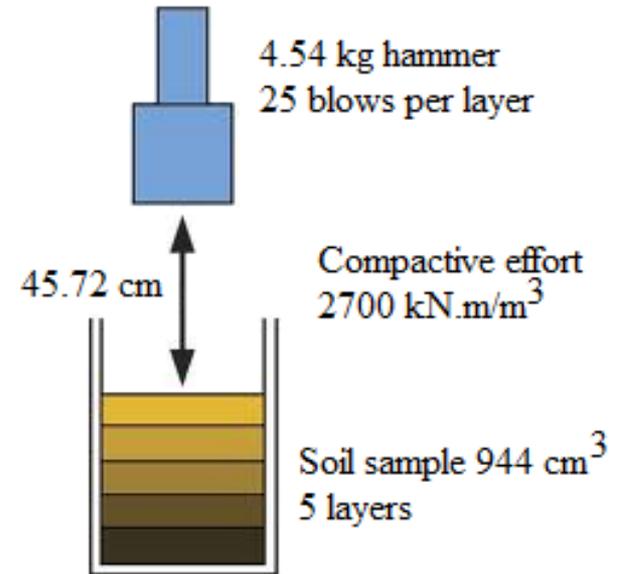
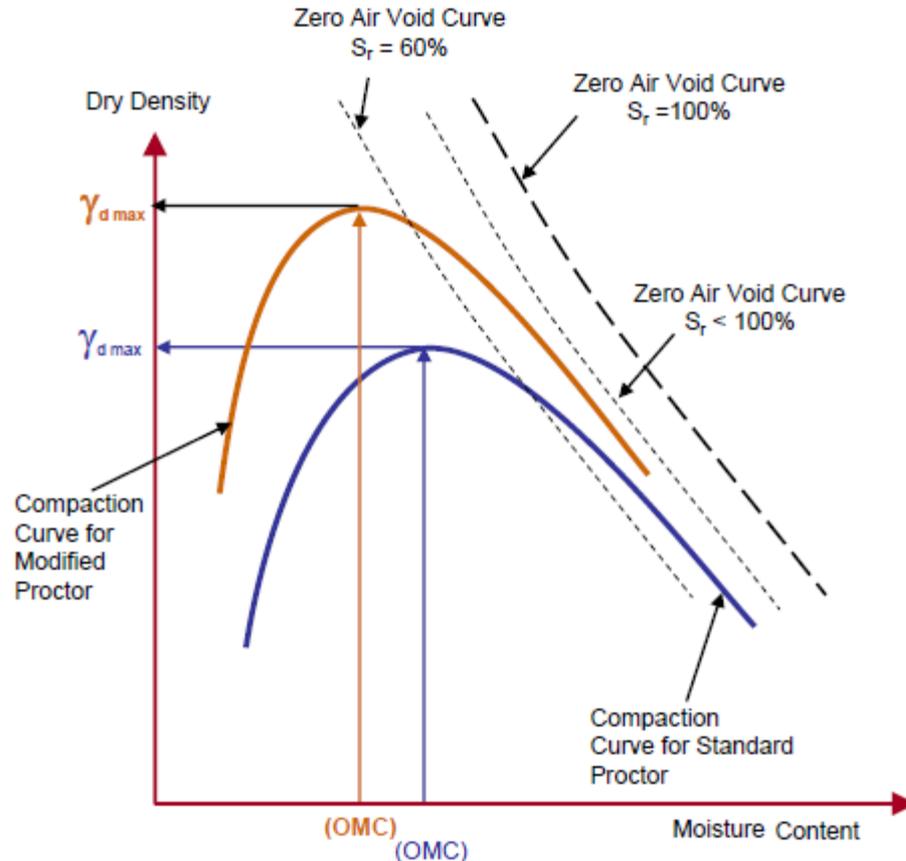
MODIFIED PROCTOR TEST (ASTM D-1557/ASSHTO T-180)

Tinggi jatuh = 45.72cm

Berat tumbukan= 4.54 Kg

Jumlah lapisan= 5 layers

Energi pemadatan $E_2 = 2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$



Karena peningkatan usaha pemadatan maka hasil uji ini akan meningkatkan γ_d dan menurunkan kadar air optimum

KARAKTERISTIK BERBAGAI TANAH UNTUK PEMADATAN

SIEVE TEST

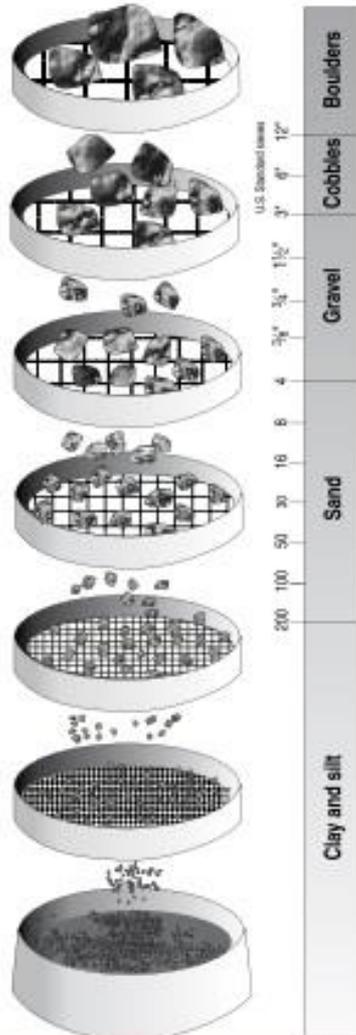


Figure 3

Tanah kohesif : tanah yang memiliki partikel terkecil

Memiliki ikatan kuat akibat tarikan molekul, bersifat plastis ketika basah dan dapat diremas namun dapat mengeras saat kering. Kadar air yang tepat sangat kritikal untuk pemadatan pada tanah jenis ini.

Granular : berukuran fine to medium

Sand and gravel mencapai kerapatan maksimum saat kondisi kering total dan keadaan jenuh. Kurva pengujian relatif flat.

KARAKTERISTIK BERBAGAI TANAH UNTUK PEMADATAN

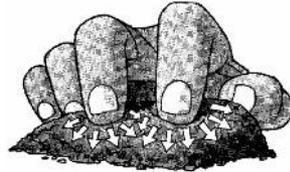
Figure 4

GUIDE TO SOIL TYPES				
What to look for	Appearance/feel	Water movement	When moist...	When dry...
Granular soils , fine sands and silts.	Coarse grains can be seen. Feels gritty when rubbed between fingers.	When water and soil are shaken in palm of hand, they mix. When shaking is stopped, they separate.	Very little or no plasticity.	Little or no cohesive strength when dry. Soil sample will crumble easily.
Cohesive soils , mixes and clays.	Grains cannot be seen by naked eye. Feels smooth and greasy when rubbed between fingers.	When water and soil are shaken in palm of hand, they will not mix.	Plastic and sticky. Can be rolled.	Has high strength when dry. Crumbles with difficulty. Slow saturation in water.

PEMADATAN DI LAPANGAN

Usaha pemadatan dapat dibedakan menjadi :

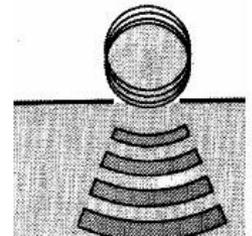
Ø Kneading (manipulation)



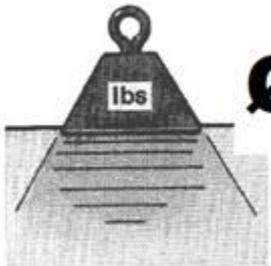
Ø Impact (sharp blow)



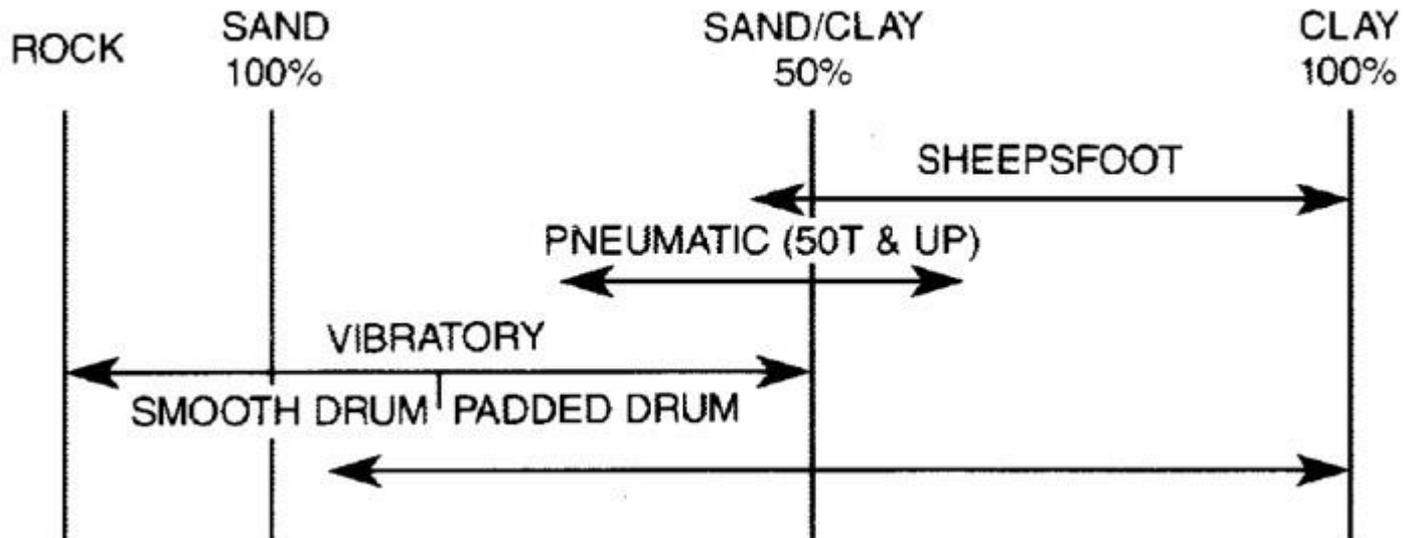
Ø Vibration (shaking)



Ø Static weight (pressure)



PEMADATAN DI LAPANGAN



TANAH KOHESIF : menggunakan mesin pemadat dengan gaya tumbukan kuat (*high impact*)

TANAH GRANULAR : membutuhkan mesin pemadat yang memiliki getaran untuk mengguncang partikel sehingga padat.

Smooth wheel roller

- Alat pemadat terdiri dari roda baja dengantekanan kontak sampai dengan 400 kPa
- cocok untuk semua jenis tanah.
- Luas cakupan pemadatan selebar luas roda yang kontak dengan tanah yang dipadatkan



Rubber Tire Roller

- Terdiri dari 3 – 6 roda ban dengan tekanan 700 kPa
- cocok untuk segala jenis tanah.
- Luas cakupan pemadatan 80% dari luas roda yang kontak dengan tanah yang dipadatkan



Sheepsfoot Roller

- Terdiri dari sejumlah kaki baja berukuran 150 mm – 250 mm dengan luas penampang 30 – 80 Cm melekat pada drum
- Luas cakupan pemadatan 8 – 12% luas drum dengan tekanan kontak 1400 – 7000 kPa.
- Dapat diisi air, cocok untuk tanah kohesif seperti lempung
- Dioperasikan dapat ditarik oleh penggerak atau dengan mesin sendiri



Tamping Foot Roller

- Mirip seperti sheepsfoot roller dengan luas cakupan pemadatan lebih tinggi yaitu 40 % dan tekanan kontak 1400 – 8400 kPa.
- Baik untuk tanah kohesif dan menghasilkan aksi static weight, kneading, impact dan vibrasi.
- Cocok untuk tanah berbutir halus



Grid Roller

- Alat pemadat dengan roda dari drum baja yang dilapisi anyaman batangan baja.
- Luas cakupan pemadatan 50%.
- Cocok digunakan untuk material granular seperti pasir, gravel atau tanah berbatu



Baby Roller

- Alat pemadat smooth wheel roller yang berukuran kecil
- Kemampuan 10 – 30 kPa.
- Aksi yang dihasilkan static weight dan efek vibrasi



Vibrating plate

- Alat pemadat berupa pelat, dikenal umum dengan nama stamper.
- Digunakan pada area yang sempit dan area yang mempunyai resiko tinggi jika digunakan alat pemadat besar seperti smooth wheel roller dsb.



Pneumatic tire roller

- Dapat menggulus 80% dari total area yang tertutup oleh roda
- Tekanan ban dapat mencapai 700 kPa
- Dapat digunakan untuk tanah granular dan kohesif pada timbunan jalan



Vibratory roller

Cocok untuk tanah material berbutir



PEMERIKSAAN PEMADATAN DI LAPANGAN

Pemeriksaan kepadatan tanah di lapangan = menentukan berat volume keringnya kemudian membandingkan dengan berat volume kering maksimum tanah tersebut.

Pengukuran dengan 2 langkah yaitu :

1. Mencari berat volume tanah basah
2. Mencari berat volume tanah kering dari kadar airnya.

SAND CONE TEST (uji kerucut pasir) **ASTM D-1556**

V.1 Menentukan berat pasir dalam corong.

1. Botol diisi pasir Bangka sampai penuh, kran ditutup dan sisa pasir dibersihkan kemudian ditimbang (W_1).
2. Tempatkan diatas bidang yang rata dengan corong menghadap ke bawah.



Keran dibuka hingga pasir turun dan mengisi corong, setelah penuh kran ditutup.

4. Botol beserta sisa pasir ditimbang (W_2), maka berat pasir dalam corong adalah $W_1 - W_2$.

V.2 Menentukan berat isi kering pasir.

1. Setelah langkah A no 4, tempatkan botol di atas silinder yang telah diketahui volumenya (corong menghadap ke bawah).
2. Keran dibuka hingga pasir turun mengisi silinder dan corong, setelah itu keran ditutup
3. Botol beserta sisa pasir ditimbang (W_3)
4. Berat pasir dalam silinder dihitung
5. $W_{\text{pasir silinder}} = W_3 - (W_1 - W_2)$, dimana $W_1 - W_2 = W_{\text{ps cr}} =$ Berat pasir dalam corong.
6. Maka berat isi kering pasir :

$$g_{d,ps} = \frac{W_3 - W_{ps.cr}}{V_{silinder}}$$

Langkah A dan B dilakukan minimal 2 kali

SAND CONE TEST (uji kerucut pasir) **ASTM D-1556**

PEMERIKSAAN DI LAPANGAN

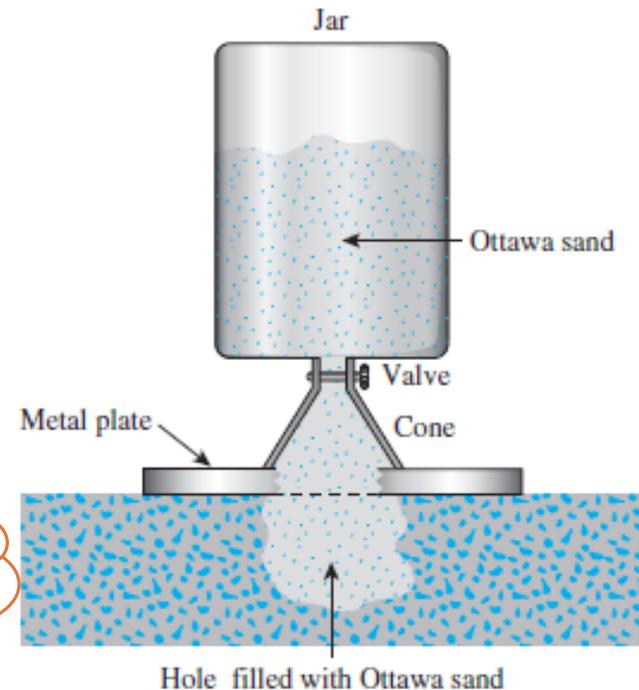
- 1) Berat tabung, kerucut logam dan pasir dalam botol mula-mula (W_1)
- 2) Gali lubang pada permukaan tanah timbunan yang telah dipadatkan
- 3) Timbang berat tanah yang digali (W_2) dan periksa kadar airnya
- 4) Maka berat kering dari tanah dapat ditentukan (W_3)

$$W_3 = \frac{W_2}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

- 5) Buka keran botol dan biarkan pasir mengisi seluruh lubang tanah.
- 6) Timbang berat tabung, kerucut dan sisa pasir dalam botol (W_4)

$$W_5 = W_1 - W_4$$

W_5 = berat pasir yg mengisi lubang



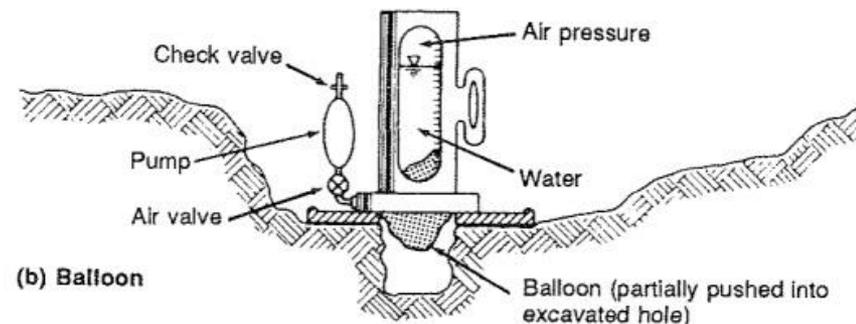
SAND CONE TEST (uji kerucut pasir) **ASTM D-1556**

$$V_{lubang} = \frac{W_5 - W_c}{\gamma_{d(pasir)}}$$

Dimana : W_c = berat pasir yang mengisi kerucut saja

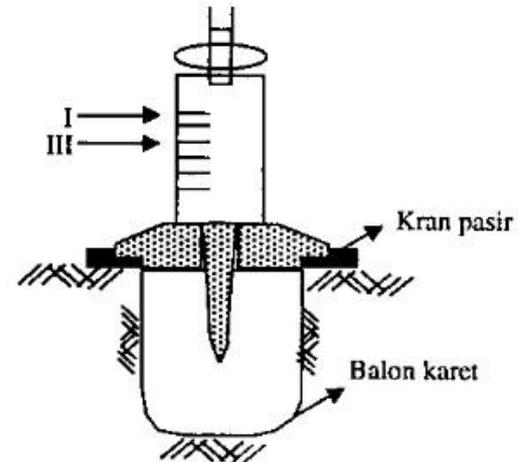
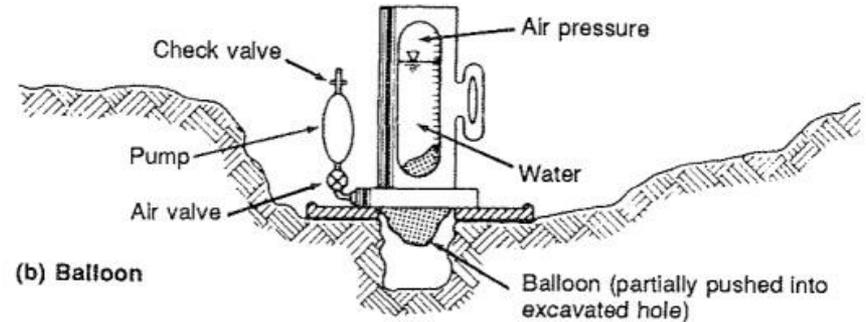
$$\gamma_d = \frac{W_3}{V_{lubang}}$$

BALLOON METHOD (metode balon karet) **ASTM D2167-08**



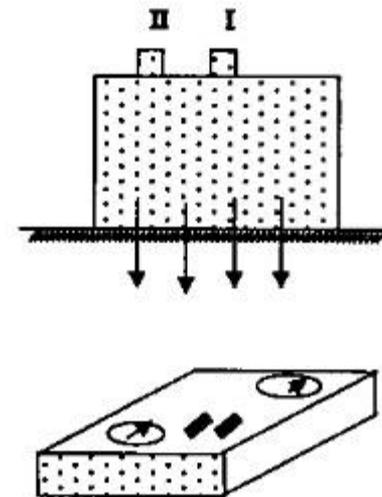
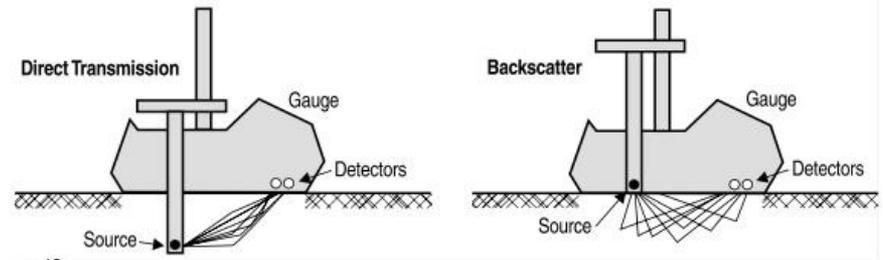
BALLOON METHOD (metode balon karet) **ASTM D2167-08**

1. Muka tanah yang mau diuji diratakan dan dibersihkan.
2. Kemudian pelat dasar diletakkan pada lubang galian
3. Tanah galian dikumpulkan dan jangan sampai tercecer.
4. Tanah galian ditimbang dan diperiksa kadar airnya
5. Lalu pompa karet air didorong ke bawah mengisi balon.
6. Balon mengembang mengisi seluruh lubang galian dengan volume $V = \text{selisih bacaan muka air I dan II}$

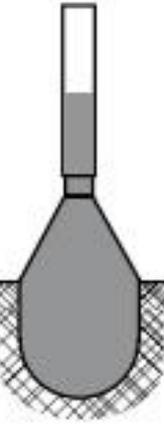
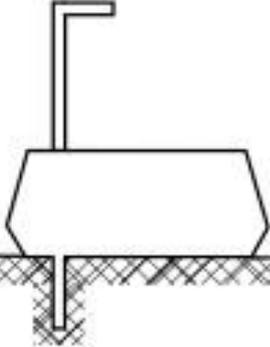


NUCLEAR DENSITY TESTER **ASTM D2922-05**

Sinar γ menembus ke dalam tanah, jumlah sinar γ diukur tergantung berat volume tanah basah. Knop 1 menghitung γ_b sedangkan knop 2 tergantung kadar airnya



FIELD DENSITY TESTING METHODS

	Sand Cone	Balloon Densometer	Shelby Tube	Nuclear Gauge
				
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> • Large sample • Accurate 	<ul style="list-style-type: none"> • Large sample • Direct reading obtained • Open graded material 	<ul style="list-style-type: none"> • Fast • Deep sample • Under pipe haunches 	<ul style="list-style-type: none"> • Fast • Easy to redo • More tests (statistical reliability)
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> • Many steps • Large area required • Slow • Halt equipment • Tempting to accept flukes 	<ul style="list-style-type: none"> • Slow • Balloon breakage • Awkward 	<ul style="list-style-type: none"> • Small sample • No gravel • Sample not always retained 	<ul style="list-style-type: none"> • No sample • Radiation • Moisture suspect • Encourages amateurs
Errors	<ul style="list-style-type: none"> • Void under plate • Sand bulking • Sand compacted • Soil pumping 	<ul style="list-style-type: none"> • Surface not level • Soil pumping • Void under plate 	<ul style="list-style-type: none"> • Overdrive • Rocks in path • Plastic soil 	<ul style="list-style-type: none"> • Miscalibrated • Rocks in path • Surface prep required • Backscatter
Cost	• Low	• Moderate	• Low	• High

Nilai kepadatan lapangan dapat ditentukan dengan kepadatan relatif (k_r), dengan rumus :

$$R = \frac{\gamma_{d(\text{lapangan})}}{\gamma_{d(\text{maksimum di lab})}} \times 100\%$$

Sedangkan untuk tanah berbutir , kadang dinyatakan dalam kerapatan relatif (D_r)

$$R = \left[\frac{\gamma_{d(\text{lapangan})} - \gamma_{d(\text{min})}}{\gamma_{d(\text{maksimum})} - \gamma_{d(\text{min})}} \right] \left[\frac{\gamma_{d(\text{maks})}}{\gamma_{d(\text{lap})}} \right]$$