

MEKANIKA TANAH

PEMADATAN TANAH

PART - 1

- **TEORI PEMADATAN**
- **PEMADATAN DI LABORATORIUM**
UJI PROCTOR
STANDARD & MODIFIED

MATERI DISAMPAIKAN OLEH :

HINAWAN T. SANTOSO, ST, MT

PENDAHULUAN



Bersifat sangat lepas/mudah tertekan

Konsistensi tidak sesuai, permeabilitas tinggi

Daya dukung kecil

Meningkatkan kerapatan tanah

Meningkatkan Kohesi /tahanan gesek

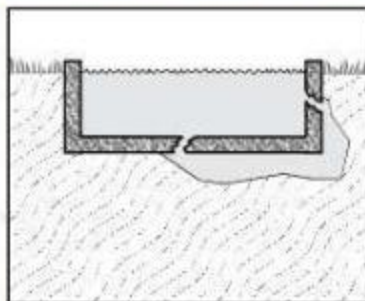
Menambah bahan kimiawi/fisis pada tanah

Menurunkan muka air tanah

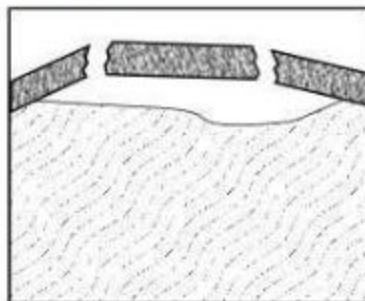
Mengganti tanah yang buruk

DAMPAK TANAH YANG TIDAK STABIL

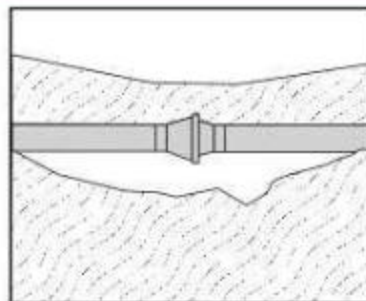
RESULTS OF POOR COMPACTION



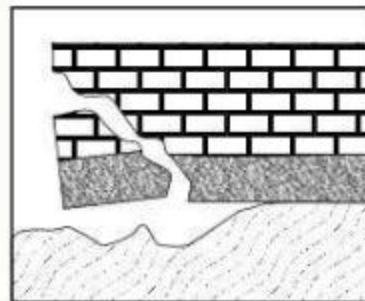
Basement & Pool
Cracks & Leaks



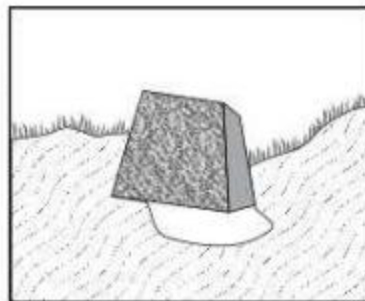
Slab Cracks



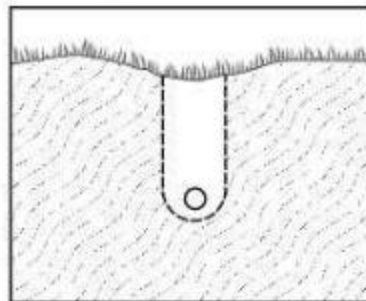
Pipe Leakage
& Breaks



Foundation Erosion



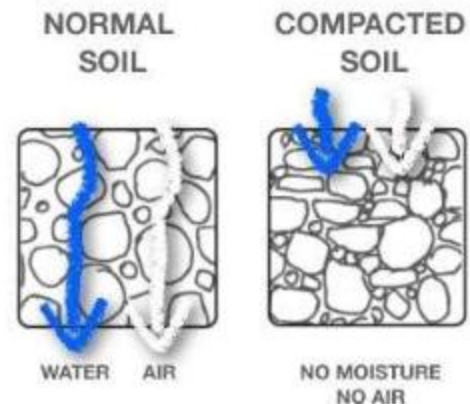
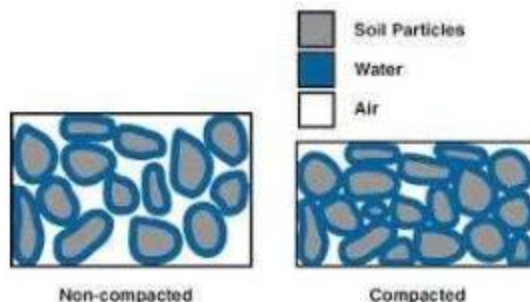
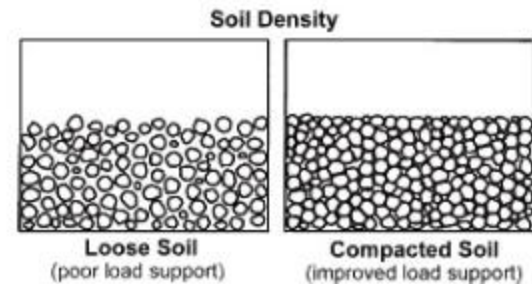
Erosion Gullies
Under Abutments



Utility Trench
Settling

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

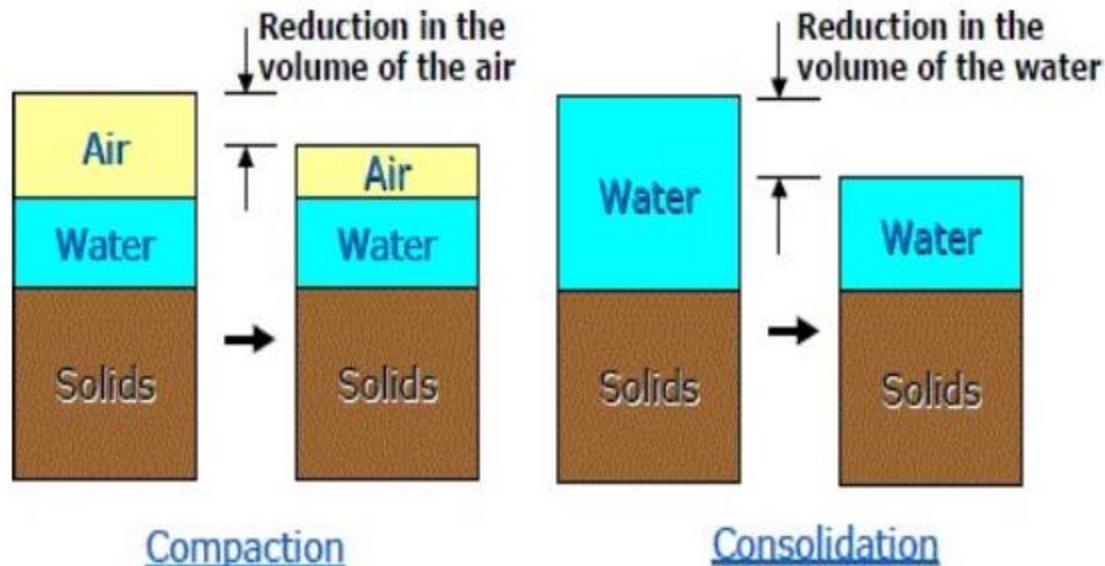
➤ PADA PERGERAKAN AIR

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.

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

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 ??????

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

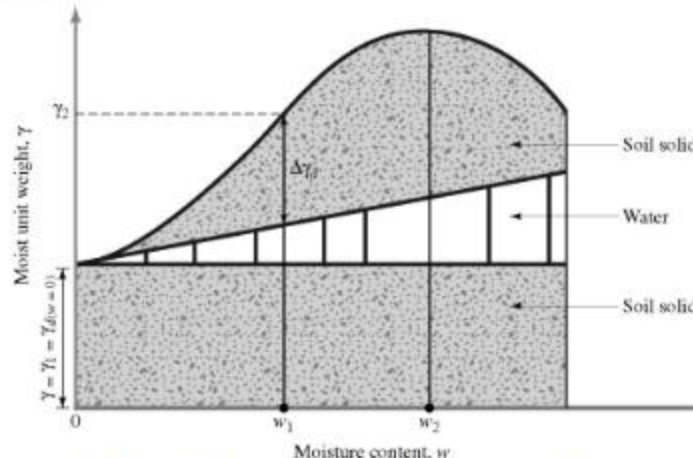
Bila berat butiran (W_s) dan volume tetap, maka γ_d tetap

- 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 $\gamma_b = \gamma_2$

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

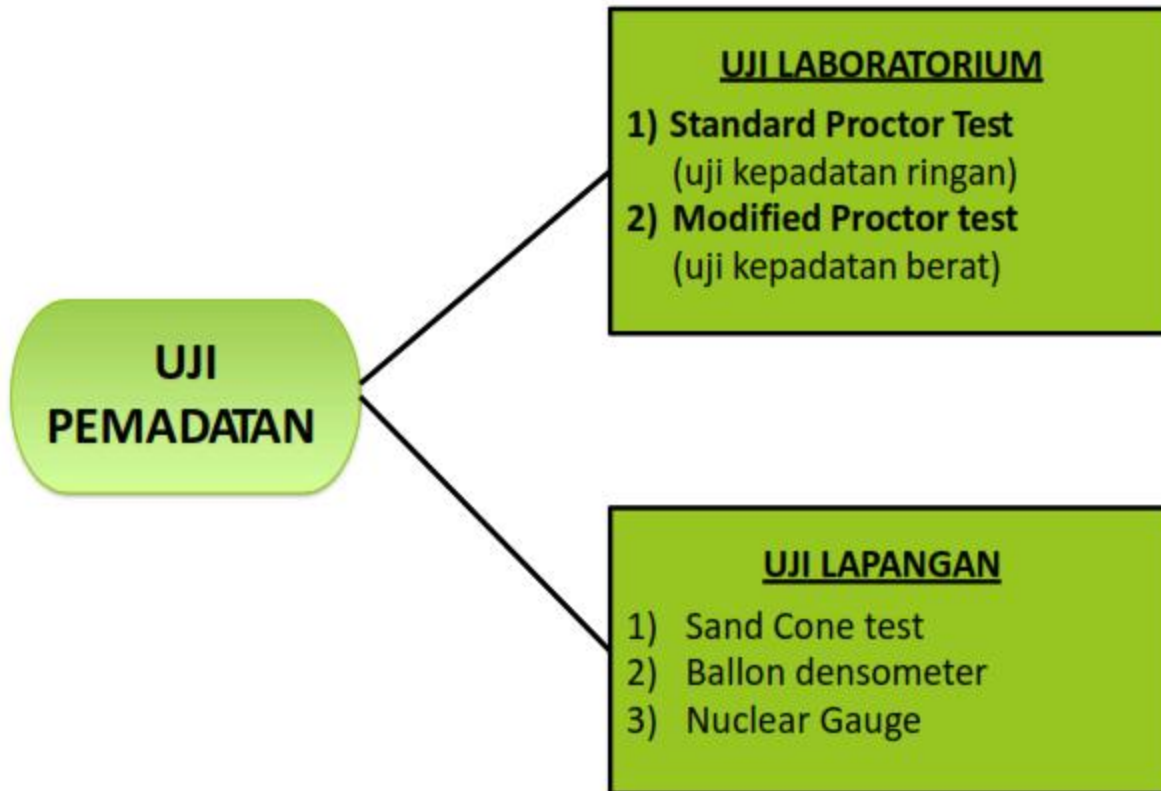
PRINSIP PEMADATAN (3)

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 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 :

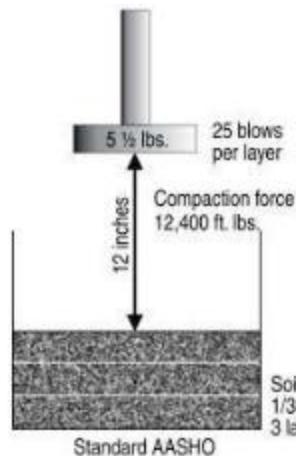
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w}$$

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

Karakteristik kepadatan tanah dinilai dari pengujian standar di laboratorium.

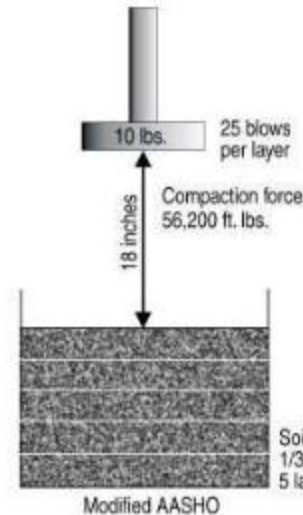
UJI LABORATORIUM(2)

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.



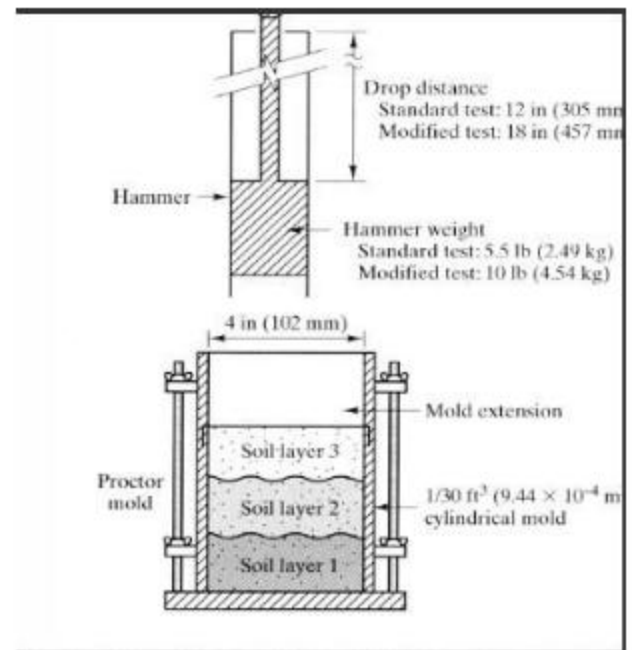
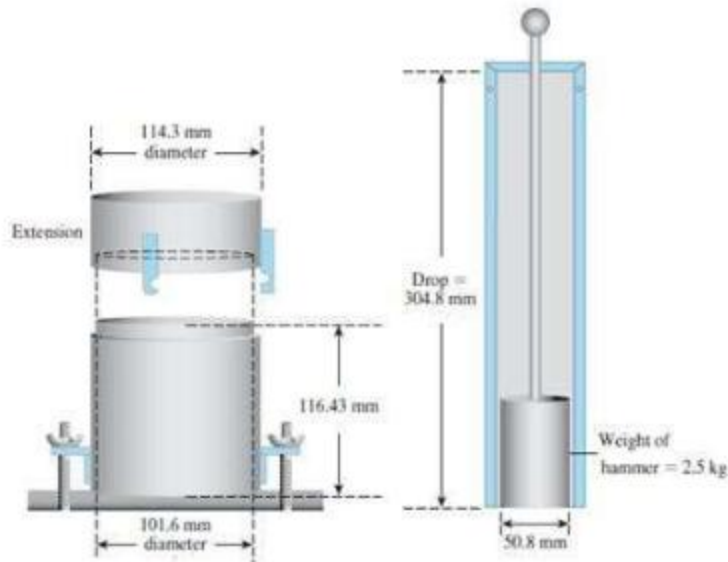
Modified Proctor Test

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 cm³

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

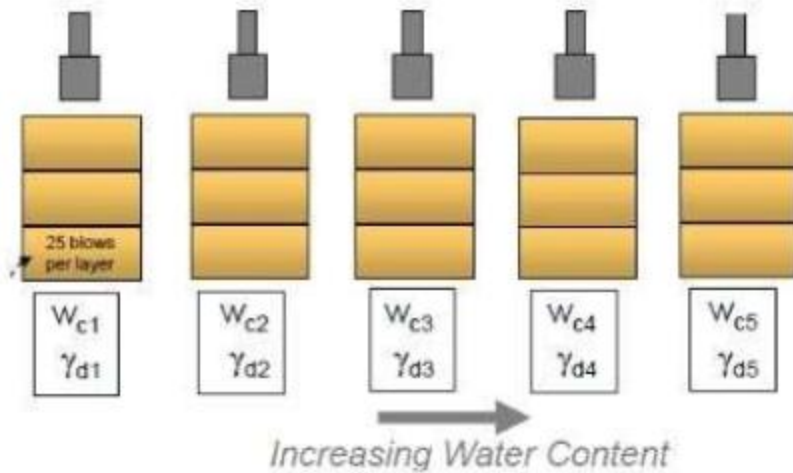
STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D698)



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 = 944 cm³)

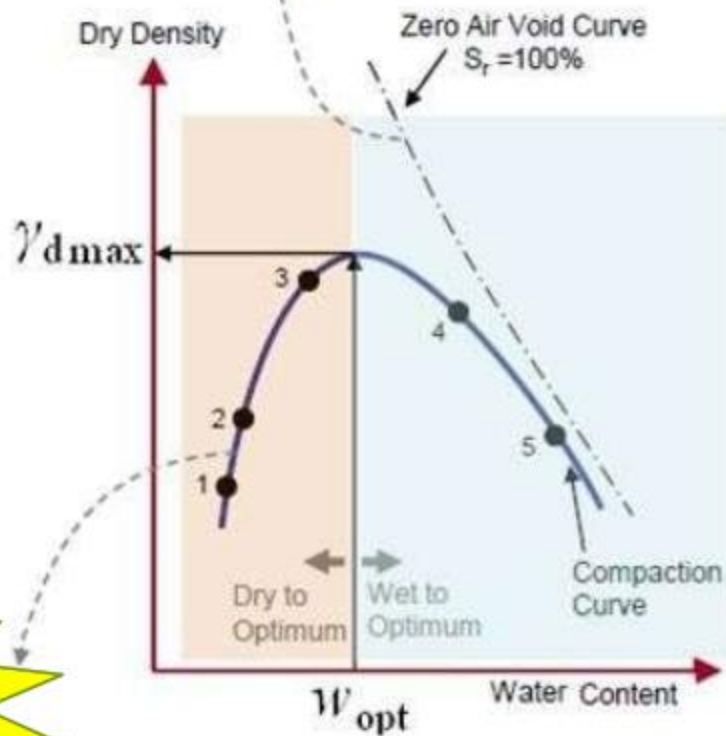
$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

- 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 (sumbu-x) dari setiap sampel tanah
- Tentukan kadar air maksimumnya (w_{opt})

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



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

STANDARD PROCTOR TEST (ASTM D689)

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

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

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

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

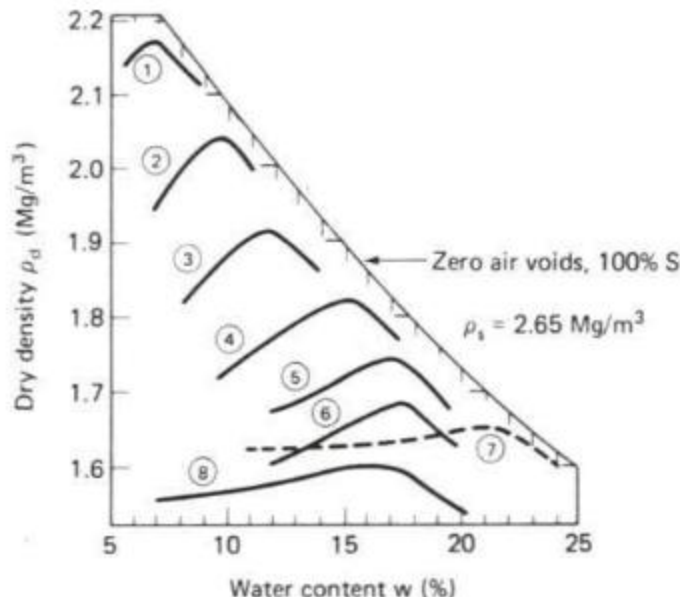
Berat volume kering setelah pemadatan pada kadar air (w) dengan kadar udara (*air content*), A ($A = V_a/V = \text{volume udara/volume total}$) dapat dihitung dengan persamaan :

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

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 $w_{optimum}$



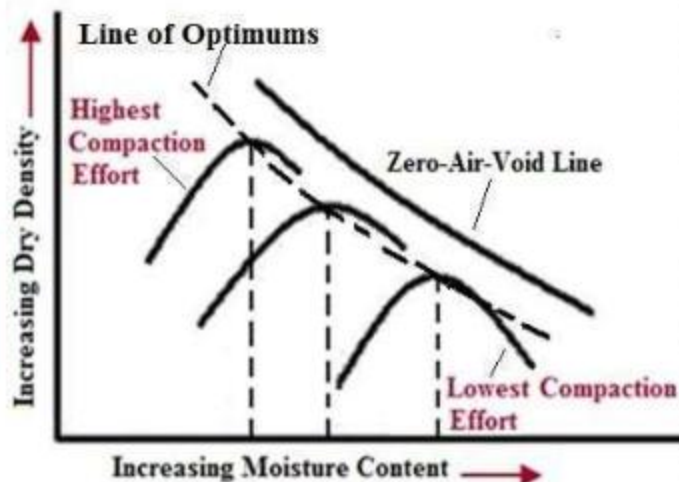
No.	Description
1	Well-graded loamy sand
2	Well-graded sandy loam
3	Med-graded sandy loam
4	Lean sandy silty clay
5	Lean silty clay
6	Loessial silt
7	Heavy clay
8	Poorly graded sand

PENGARUH USAHA PEMADATAN

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

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

$$E = \frac{(25)(3)\left(\frac{2,5 \times 9,81}{1000} \text{ kN}\right)(0,305 \text{ m})}{944 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 594 \text{ kN.m / m}^3$$

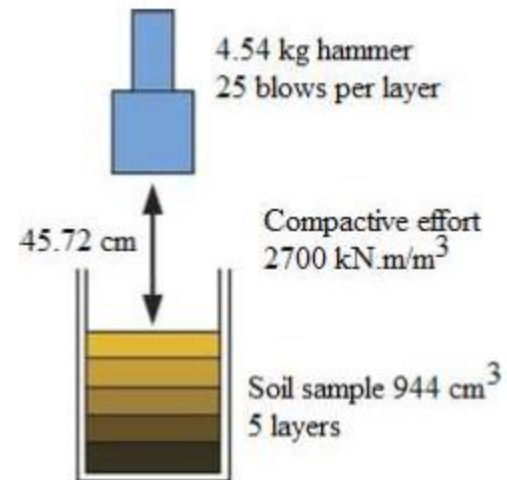
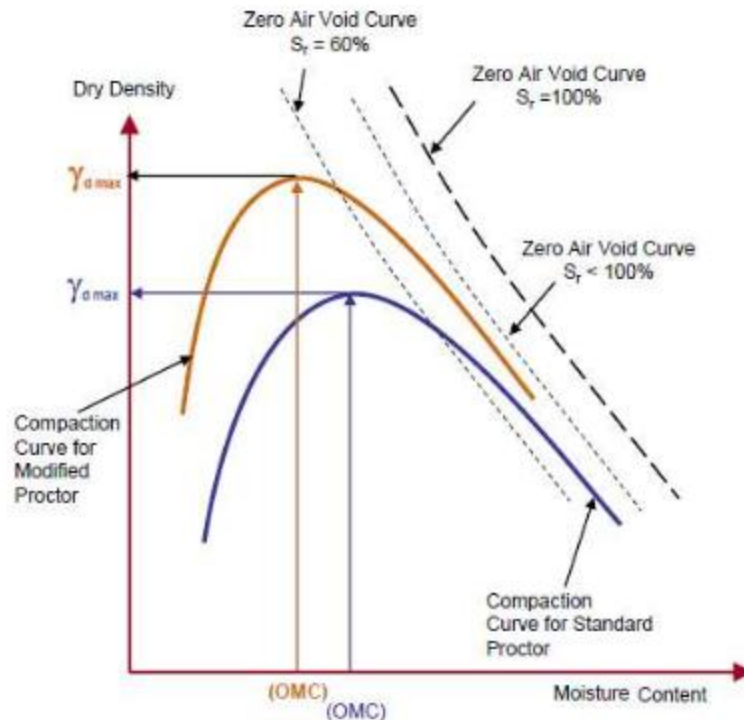


- Ketika penambahan energi meningkat, maka $\gamma_{d \text{ maks}}$ juga meningkat dan kadar air optimum menurun

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

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

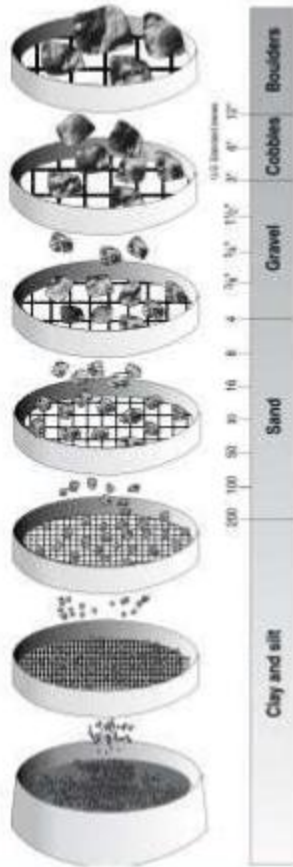


Figure 3

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/datar.

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.

MEKANIKA TANAH

PEMADATAN TANAH DI LAPANGAN



**MATERI DISAMPAIKAN OLEH :
HINAWAN T. SANTOSO, ST, MT**

PART - 2

- **METODE & ALAT PEMADAT**
- **UJI KEPADATAN**
SANDCONE TEST,
BALLOON METHOD,
NUCLEAR DENSITY

PEMADATAN TANAH DI LAPANGAN

→ **Definisi :**

Proses menaikkan berat volume kering tanah dengan cara mendesak tanah dengan energi mekanis agar partikel solid pada tanah lebih rapat dan menjadi kompak, serta mengurangi partikel udara yang mengisi rongga pada massa tanah tersebut.

→ Kepadatan tanah yang tinggi bukanlah tujuan utama pemadatan. Kepadatan tanah dianggap tepat hanya jika menghasilkan suatu **perbaikan perilaku tanah** sehubungan dengan **engineering performance** yang diharapkan.

TINGKAT KEPADATAN DI LAPANGAN

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kepadatan di lapangan adalah :

- Jenis tanah,
- Kadar air,
- Energi pemadatan, dipengaruhi berat alat pemadat dan frekuensi pemadatan, dan
- Cara / Metode pemadatan :
 - Tebal tiap lapisan tanah yang dipadatkan,
 - Luasan muka tanah dimana tekanan alat pemadat tersebut bekerja.

PEMADATAN DI LAPANGAN

Usaha pemadatan dapat dibedakan menjadi :

Ø Kneading (manipulation)



Ø Impact (sharp blow)



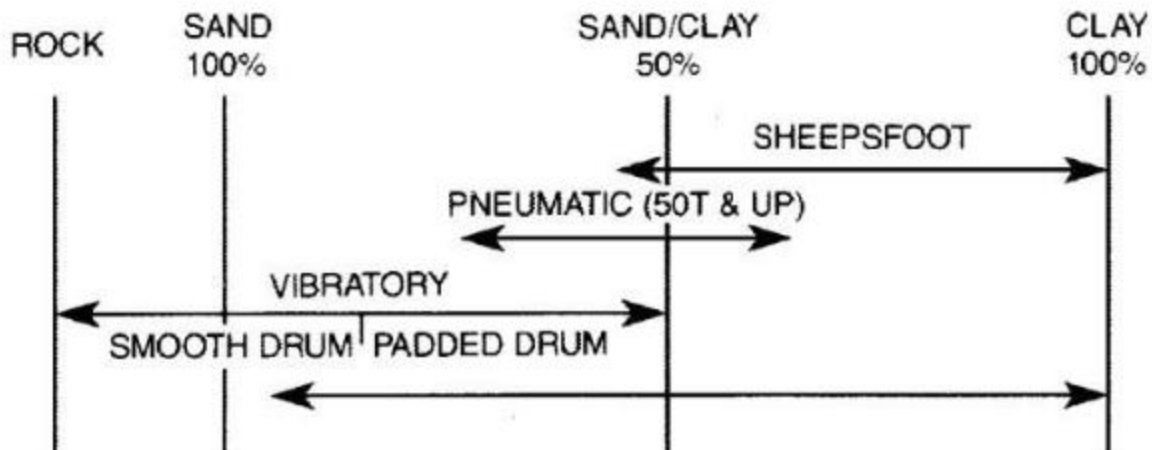
Ø Vibration (shaking)



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 dengan tekanan kontak sampai dengan 400 kPa (40 t/m²).
- Luas cakupan pemadatan 100% lebar roda yang kontak dengan tanah yang dipadatkan.
- Permukaan halus cocok untuk meratakan permukaan tanah dasar (subgrade) dan untuk pekerjaan penggilasan akhir pada timbunan tanah pasir atau lempung.



VIBRATORY ROLLER

- Mirip dengan Smooth Wheel Roller, tetapi dilengkapi dengan Penggetar (*Vibrator*)
- Getaran dihasilkan dari berputarnya suatu beban yang tidak sentries
- Cocok untuk tanah material berbutir (pasir, kerikil, dsb)



PNEUMATIC TIRE ROLLER

- Dapat menggilas 80% dari total area yang tertutup oleh roda
- Tekanan ban dapat mencapai 700 kPa (70 t/m^2).
- Pemadatan dicapai dari kombinasi antara tekanan dan pemadatan dengan meremas-remas (*kneading*).
- Dapat digunakan untuk tanah granular dan kohesif pada timbunan jalan



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 (140-700 t/m²).
- Dapat diisi air, cocok untuk tanah kohesif, seperti lempung.
- Dioperasikan dapat ditarik oleh penggerak atau dengan mesin sendiri.



TAMPING FOOT ROLLER

- Mirip seperti sheepfoot 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
- Digunakan pada area yang sempit dan area yang mempunyai resiko tinggi jika digunakan alat pemadat besar, seperti : smooth wheel roller, dsb



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.



PEMERIKSAAN PEMADATAN DI LAPANGAN

- ☐ Spesifikasi pemadatan lapangan mensyaratkan **kepadatan lapangan** harus mencapai **95%**.
- ☐ Maksudnya, hasil kepadatan di lapangan harus mencapai **95%** dibandingkan dengan **berat volume kering maksimum** di **laboratorium** yang ditentukan melalui **Uji Proctor Standar** atau **Proctor Modifikasi**.
- ☐ Pemeriksaan kepadatan tanah di lapangan = menentukan **berat volume keringnya** kemudian membandingkan dengan **berat volume kering maksimum laboratorium** 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**

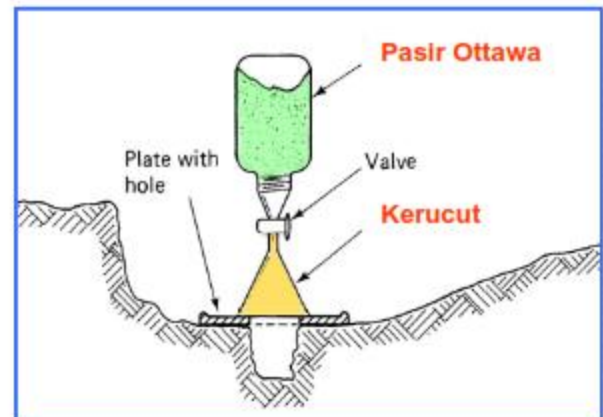
TAHAP PERSIAPAN

- 1) Berat volume kering pasir (*%d pasir*).
- 2) Berat pasir yang akan mengisi kerucut (W_c).

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)

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



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

- 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

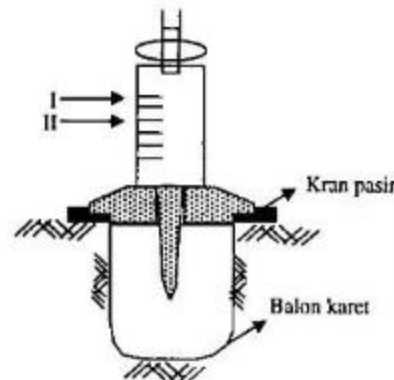
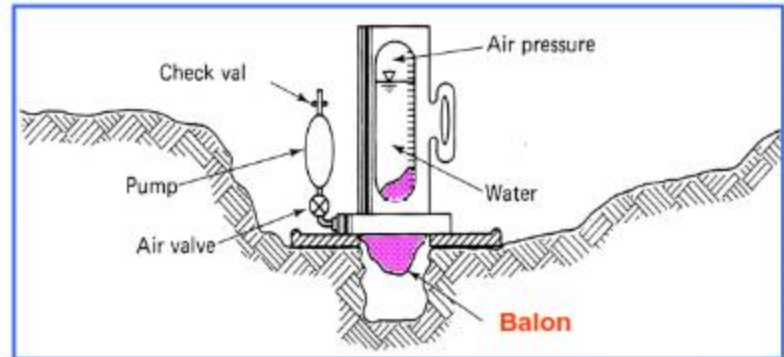
$$V_{lubang} = \frac{W_5 - W_c}{\gamma_{d(pasir)}}$$

dimana : W_c = berat pasir yang mengisi kerucut saja

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

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

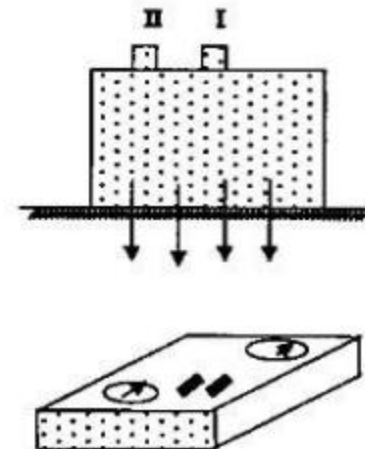
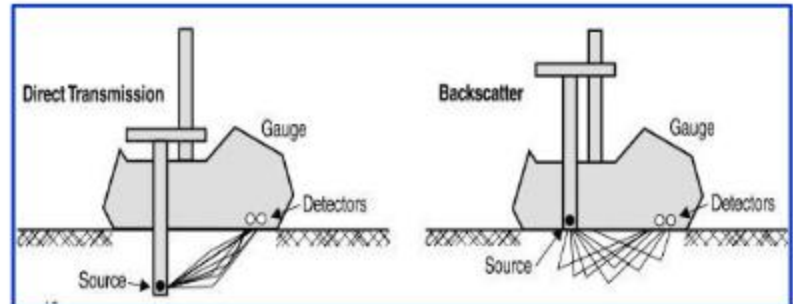
1. Muka tanah yang mau diuji diratakan dan dibersihkan.
2. Kemudian pelat dasar diletakkan pada lubang galian.
3. Tanah galian dikumpulkan dan jangan sampai tercecer.
4. Tanah galian ditimbang dan diperiksa kadar airnya.
5. Lalu pompa karet air didorong ke bawah mengisi balon.
6. Balon mengembang mengisi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




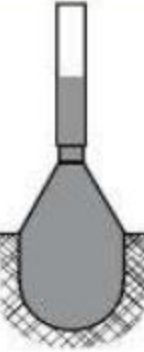
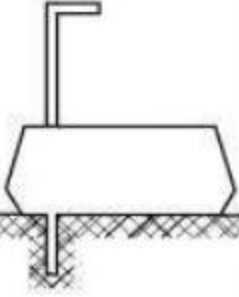
NUCLEAR DENSITY TEST **ASTM D2922 -05**

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	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 • 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"> • 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"> • Miscalibrated • Rocks in path • Surface prep required • Backscatter
Cost	<ul style="list-style-type: none"> • Low 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderate 	<ul style="list-style-type: none"> • High

NILAI KEPADATAN LAPANGAN

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

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

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

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

thank you!

masdosen



STAY SMART, STAY SAFE & STAY HEALTH