

# HIDROGEOLOGI UMUM (GL-3081)

## MINGGU KE-5

### AKIFER DAN BERBAGAI PARAMETER HIDROLIKNYA

Oleh:

Prof.Dr.Ir. Deny Juanda Puradimaja, DEA

Asisten:

Dr. D. Erwin Irawan



## TERMINOLOGI LAPISAN AKIFER DAN BUKAN AKIFER

- Akifer (*Aquifer*) : Lapisan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang ekonomis. Contoh : Pasir, kerikil, batupasir, batu gamping rekahan.
- Akiklud (*Aquiclude*) ( $<10^{-6}$  cm/detik): Lapisan yang mampu menyimpan air, tetapi tidak dapat mengalirkan air dalam jumlah yang berarti, misalnya lempung, serpih, tuf.



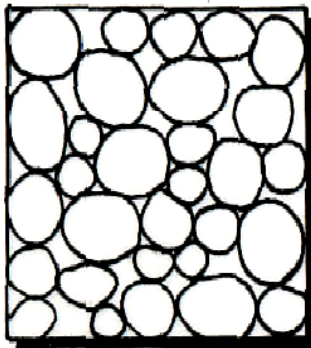
# TERMINOLOGI LAPISAN AKIFER DAN BUKAN AKIFER

- Akifug (*Aquifug*) : Lapisan batuan yang kedap air, tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air, misalkan batuan kristalin, batuan metamorf.
- Akitar (*Aquitard*) : Lapisan batuan yang dapat menyimpan air dan mengalirkan dalam jumlah yang terbatas, misalnya lempung pasiran.



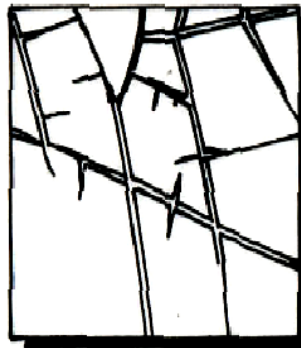
# MEDIA PENYUSUN AKIFER

## POROSITAS PRIMER

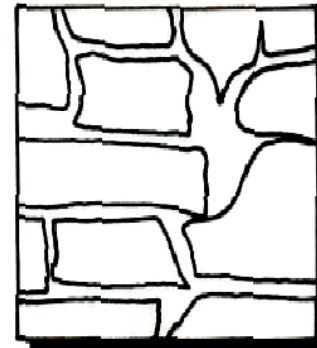


MEDIA ANTAR BUTIR

## POROSITAS SEKUNDER



MEDIA REKAHAN



MEDIA REKAHAN PELARUTAN



## JENIS-JENIS AIR (WHITE, 1957)

- Air Juvenil : Air yang berasal dari hasil proses pembekuan larutan magma dan bukan merupakan bagian dari hidrosfir.
- Air Meteorik : Air yang berasal dari siklus hidrologi.
- Air Konnat : Merupakan air fosil, yaitu air meteorik yang terperangkap oleh proses-proses geologi seperti pembentukan formasi dalam cekungan sedimentasi, penurunan muka air laut, proses pengangkatan dan proses lainnya. Jenis air ini tidak lagi mempunyai hubungan dengan siklus hidrologi



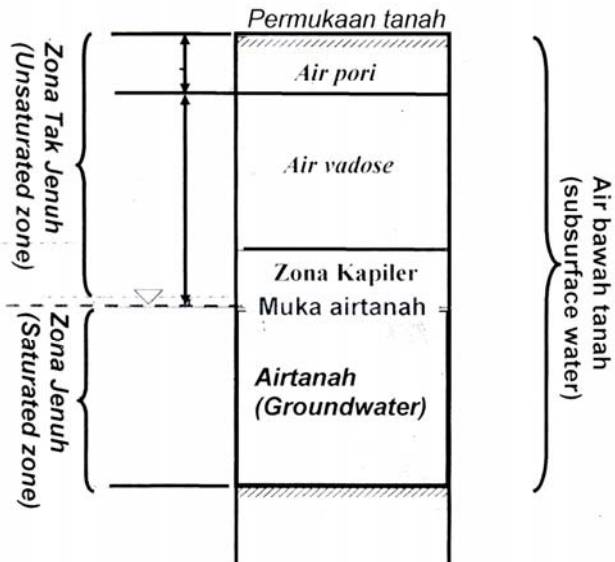
## JENIS-JENIS AIR (WHITE, 1957)

- Air Metamorfik : Salah satu bagian dari air konnat, terjadi akibat proses rekristalisasi mineral yang mengandung air selama proses pembentukan batuan metamorf.
- Air Magmatik : Air yang berasal dari hasil pembentukan larutan magma dan bercampur dengan air meteorik.



# TERMINOLOGI AIR TANAH DAN AIR BAWAH TANAH

## TERMINOLOGI AIR BAWAH TANAH DAN AIR TANAH



Todd, (1980)

7

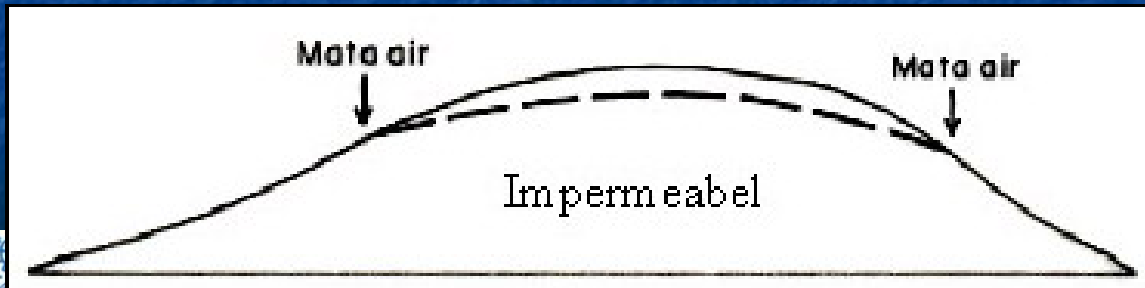
## JENIS-JENIS MATAAIR (Todd, 1980)

1. Mataair Depresi (*Depression Spring*) : Mataair yang disebabkan karena permukaan tanah memotong muka airtanah (*water table*)



## JENIS-JENIS MATAAIR (Todd, 1980)

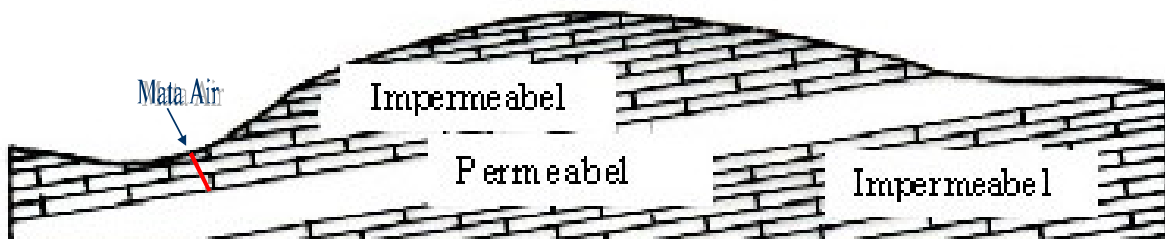
2. Mataair Kontak (*Contact Spring*) : Mata air akibat kontak antara lapisan akifer dengan lapisan impermeabel pada bagian bawahnya.



9

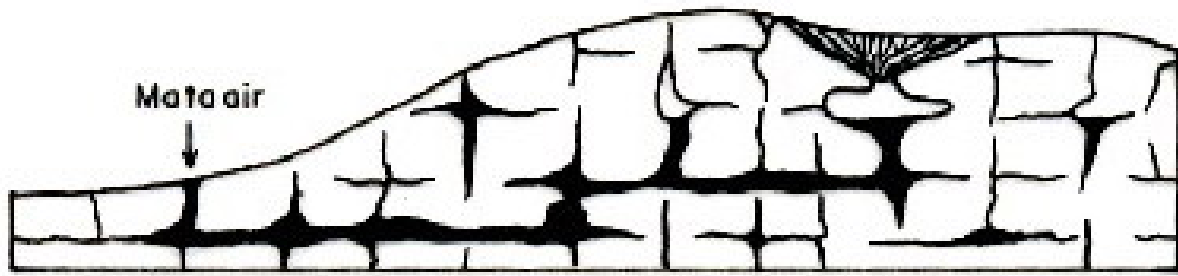
## JENIS-JENIS MATAAIR (Todd, 1980)

3. Mataair Rekahan (*Fracture Spring*) : Mataair yang dihasilkan oleh akifer tertekan yang terpotong oleh struktur impermeabel.



# JENIS-JENIS MATAAIR (Todd, 1980)

4. Mataair Pelarutan (*Solution Tubular Spring*) : Mataair yang terjadi akibat pelarutan batuan oleh air tanah.



## Distribusi Vertikal Airtanah

- Pembagian Air Bawah Tanah :
  1. **Zona Aerasi** (Interstices, diisi oleh air dan udara).

Air vadose (Vadose dari vadosus = dangkal)

    - a. Zona airtanah
    - b. Zona intermedier vadose
    - c. Zona kapiler



# Distribusi Vertikal Airtanah

- **Pembagian Air Bawah Tanah :**
  2. **Zona Saturasi** : Dari lapisan zona jenuh bagian atas sampai ke lapisan dasar batuan yang impermeabel
    - a. Jika Lapisan Impermeabel bagian atas tidak ada, maka muka airtanah atau permukaan freatik terbentuk pada lapisan zona jenuh.
    - b. Zona Saturasi dapat berada di atas muka airtanah, karena adanya kapilaritas.
    - c. Air pada Zona Saturasi disebut Airtanah (*Groundwater or Phreatic Water*)



# ZONA AERASI

- **Zona Airtanah :**
  1. Ada pada saat air hujan jatuh ke permukaan tanah atau dari aliran irigasi.
  2. Zona ini mulai dari permukaan tanah sampai pada zona akar =  $f$  (tipe tanah, vegetasi).
  3. Airtanah berperan memberikan kelembaban akar.



# ZONA AERASI

4. Thin film moisture dikenal sebagai air higroskopik.
5. Sangat berperan adanya air kapiler.
6. Pengurangan air melalui mekanisme gravitasi



# ZONA AERASI

- Zona Kapiler : Posisi dari muka airtanah (bagian atas) sampai batas munculnya air kapiler :

$$hc = \frac{2\tau}{r\gamma} \cos\lambda$$

$\tau$  = tekanan permukaan

$\gamma$  = berat spesifik air

$r$  = jari-jari tabung

$\lambda$  = kontak miniskus dengan dinding tabung



# ZONA SATURASI

Pada zona ini airtanah mengisi seluruh interstices :

- Porositas yang dimiliki efektif untuk menyimpan air.
- Spesifik Retensi :

$$S_r = \frac{\text{Volume air yang dapat diserap (retain) sejumlah } W_r}{\text{Kekuatan gravitasi atau volume}}$$



# ZONA SATURASI

- Spesifik Lapangan ( $S_y$ )

$$S_y = \frac{W_y}{V} = \frac{\text{Volume air (setelah jenuh) dapat didrainase selama gravitasi}}{\text{Volume}}$$

$$\alpha = W_r + W_y \longrightarrow \text{semua pori berhubungan}$$



# ZONA SATURASI

- $S_r$  dan  $S_y$  dapat mempunyai satuan (%) karena  $W_r$  dan  $W_y$  adalah total volume material yang penuh.
- Nilai Spesifik Lapangan ditentukan berdasarkan :
  - a. Ukuran Butir
  - b. Bentuk
  - c. Distribusi Pori
  - c. Kompaksi Lapisan
  - d. Waktu Drainase
- Secara umum  $S_y$  mempunyai kemampuan untuk meloloskan air.



Course note for ITB student. Permission for other uses to Prof. Deny Juanda Puradimaja

19

# PARAMETER HIDROLIK BATUAN

1. POROSITAS
2. PERMEABILITAS
3. TRANSMISSIVITAS (T)
4. STORATIVITAS (S)



Course note for ITB student. Permission for other uses to Prof. Deny Juanda Puradimaja

20

# POROSITAS

- Perbandingan antara volume ruang antar butir terhadap volume total batuan.
- Porositas tergantung pada kebundaran, sorting dan kompaksi. Batuan dengan butir yang semakin membesar dan sorting yang baik menyebabkan porositas yang besar, sedang kompaksi akan memperkecil porositas.



# PERMEABILITAS

- Kemampuan material batuan untuk mengalirkan fluida (air).
- Batuan dengan porositas yang besar, mampu menyimpan air, tapi belum tentu mampu mengalirkan air (permeabel), contohnya batu lempung. Tapi sebaliknya batuan yang permeabel tentu mempunyai porositas.
- Permeabilitas tergantung pada sifat cairan pori (viskositas), rasio ruang antar butir, bentuk dan susunan pori batuan atau struktur tanah.



# PERMEABILITAS

Parameter Permeabilitas ada dua :

- Konduktivitas Hidrolik (K), satuan cm/s atau m/s. Nilai K tidak konstan, tergantung pada media dan fluida (viskositas dan densitas fluida yang tergantung pada tekanan dan temperatur)
- Permeabilitas Intrinsik (k), satuannya cm<sup>2</sup> atau m<sup>2</sup>. Nilai k hanya tergantung pada sifat fisik batuan/tanah.



# PERMEABILITAS

- Hubungan antara Konduktivitas Hidrolik (K) dengan Permeabilitas Intrinsik (k) adalah :

$$K = \frac{k \cdot \gamma \omega}{\mu}$$

Dimana :

K = Konduktivitas Hidrolik (L/t)

k = Permeabilitas Intrinsik (L<sup>2</sup>)

$\gamma \omega$  = Berat unit cairan (m/L<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viskositas (m/L<sup>2</sup>)



# TRANSMISSIVITAS (T)

- Nilai permeabilitas tiap satu meter akifer, menggambarkan kemampuan akifer untuk membawa air secara kuantitatif.

$$T=K.d$$

dimana :

T = Transmissivitas

K = Konduktivitas Hidrolik

d = Tebal akifer



# STORATIVITAS (S)

- Spesifik Lapangan ( $S_y$ ) untuk *unconfined aquifer* atau volume air yang dapat dikeluarkan dari akifer tertekan.
- Dengan kata lain, Storativitas merupakan volume air yang dapat dikeluarkan dari akifer per unit kemiringan permukaan potensial muka airtanah per satu satuan luas akifer.



# STORATIVITAS (S)

- Akifer Tertekan,  $S : 0,001 - 0,00001$   
Akifer Bebas,  $S : 0,3 - 0,01$
- Rendahnya nilai  $S$  untuk akifer tertekan menggambarkan bahwa akifer tersebut mempunyai kemiringan permukaan potensial airtanah yang cukup terjal sekalipun akibat sedikit saja menurunnya muka airtanah.



## Hukum Darcy

- Sebuah silinder dengan luas penampang  $A$  diisi dengan pasir. Posisi silinder dimiringkan dengan sudut  $\theta$ . Pada bagian ujung silinder masing-masing diberi katup. Bagian atas silinder diberi lubang dan disambung dengan tabung silinder berdiameter lebih

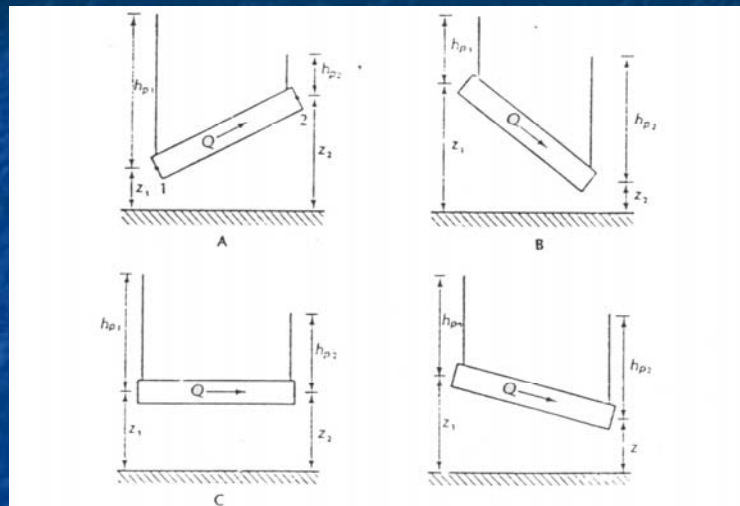
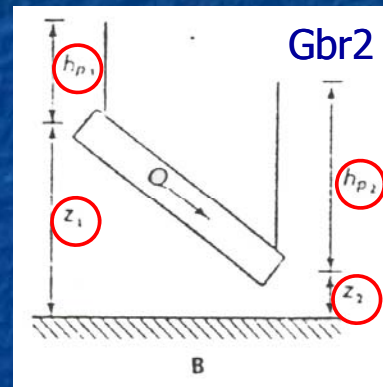
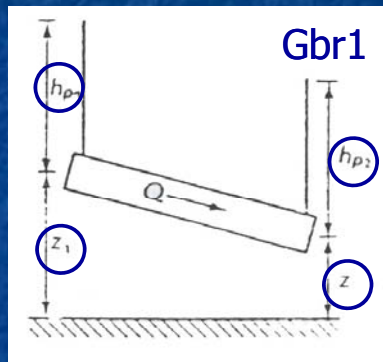


FIGURE 5.5 Apparatus to demonstrate how changing the slope of a pipe packed with sand will change the components of elevation,  $z$ , and pressure,  $h_p$ , heads. The direction of flow,  $Q$ , is indicated by the arrow.



# Air mengalir dari atas ke bawah (elevasi)



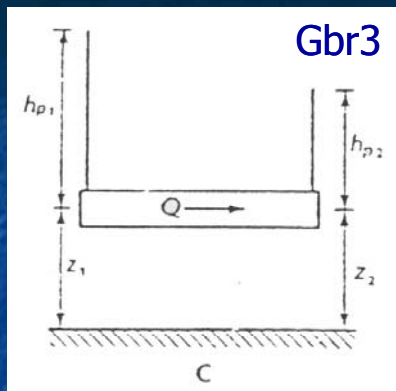
Tinggi tekan ( $h$ ) =  $z + h_p$   
 $z$  = elevasi topografi dari muka laut  
 $h_p$  = elevasi tekanan  
 Air mengalir dari  $h_{\text{tinggi}}$  ke  $h_{\text{rendah}}$

**Bandungkan gbr1 & gbr 2:**

1. Samakah arah alirannya?
2. Apa yang berbeda?
3. Pada akifer jenis apa hal diatas dapat terjadi (tertekan/tak tertekan?)

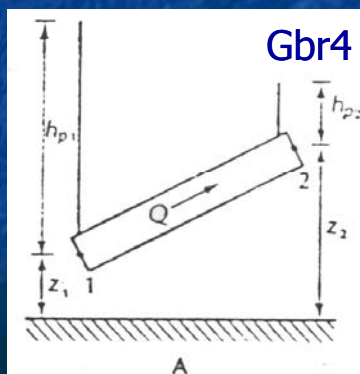


Course note for ITB student. Permission for other use



**Analisislah gbr3:**  
 Pada sistem akifer apakah hal ini umumnya dapat terjadi ? (pilih)

1. Gunungapi
2. Aluvial
3. Sedimen terlipat



**Analisislah gbr4:**

1. Apakah hal ini dapat terjadi?
2. Pada akifer jenis apa hal diatas dapat terjadi (tertekan/tak tertekan?)



Course note for ITB student. Permission for other uses to Prof. Deny Juanda Puradimaja

# Hukum Darcy

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$Q = K \cdot \frac{dh}{dl} \cdot A$$

Q=debit air ( $L^3 \cdot T^{-1}$ )

K=konduktivitas hidrolik ( $L \cdot T^{-1}$ )

dh/dl=gradien hidrolik (vertikal banding lateral)

A=luas penampang akifer ( $L^2$ )

Asumsi:

1. Akifer media pori
2. Aliran laminar berkecepatan rendah
3. Bukan akifer bocoran

Analisislah rumus Darcy:

1. Sebutkan komponen rumus yang berkaitan dengan geologi?
2. Sebutkan komponen topografi?



## Faktor yang mengontrol aliran airtanah

### 1. Topografi:

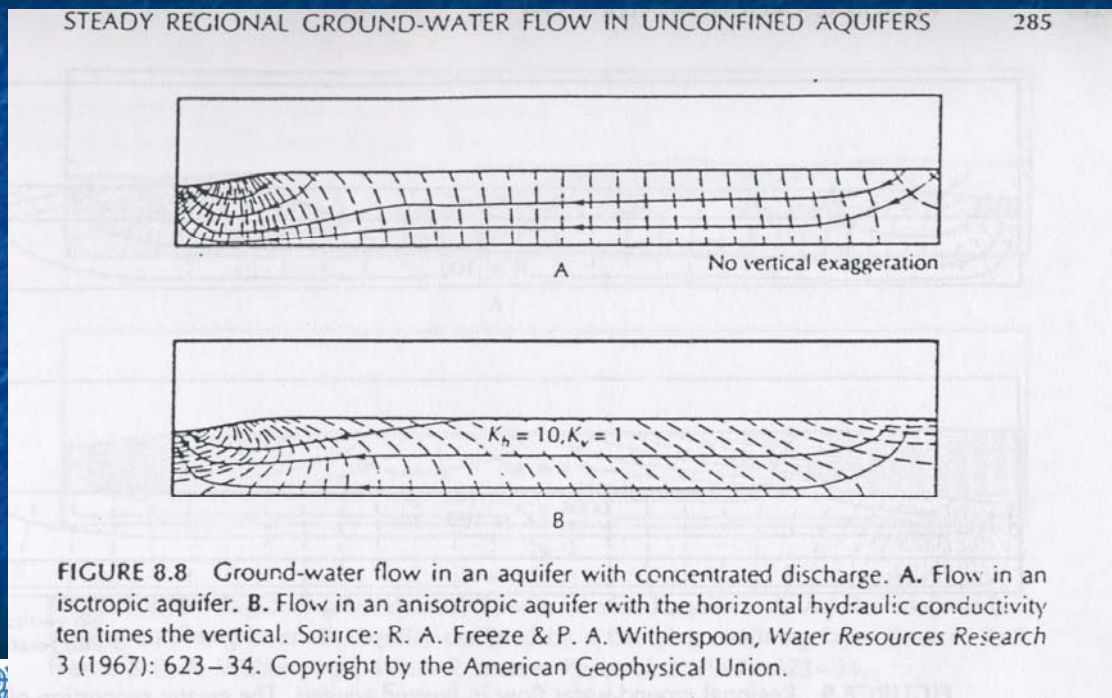
- Airtanah akan mengalir ke arah elevasi yang lebih rendah.
- Airtanah bebas (airtanah tak tertekan).

### 2. Geologi:

- Airtanah akan mengalir mengikuti lapisan batuan dengan nilai permeabilitas dan konduktivitas hidrolik yang besar.



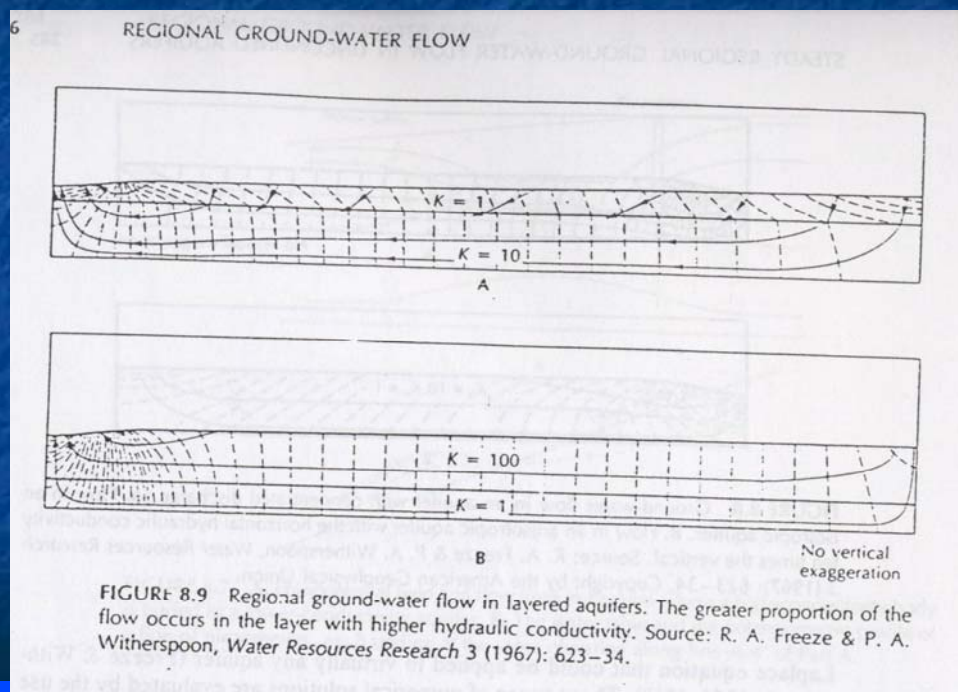
## (A) Kendali faktor topografi (B) Kendali faktor geologi



Course note for ITB student. Permission for other uses to Prof. Deny Juanda Puradimaja

33

## Kendali faktor geologi

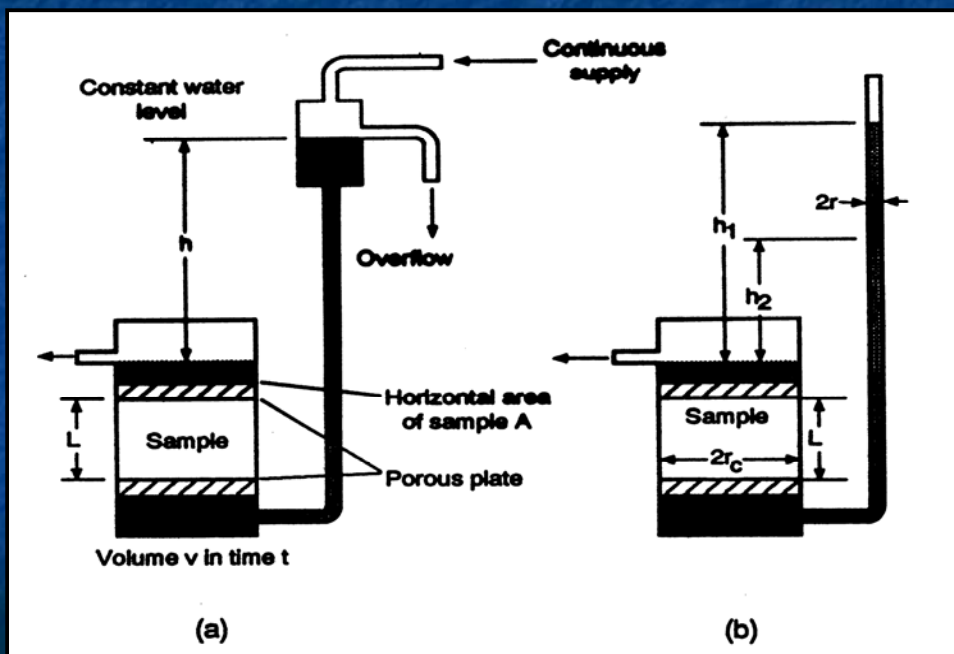


34

# Single dan double ring Infiltrrometer



# Permeameters



Constant Head

Falling Head



# Constant Head Method

- Wet the column from the bottom up.
  - Can be a problem depending on sample size.
- Add water until it's at the desired height.
  - Hydraulic gradient = 1 (Figure 10.1a)
  - Macropore collapse? Need a different gradient. (Figure 10.1b)

- Capture the outflow, when it's rate becomes constant  $K_s$  is obtained.

$$\frac{L + y - x}{L} = \frac{H}{L}$$



# Constant Head Apparatus

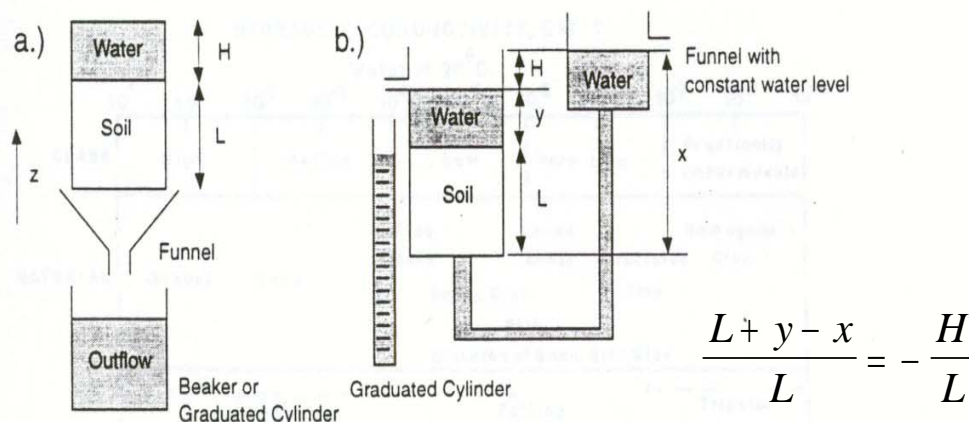


Fig. 10.1. Schematic of constant-head method to measure saturated hydraulic conductivity. (a) Potential gradient larger than 1, (b) potential gradient larger or smaller than 1.



$$\frac{L + y - x}{L} = -\frac{H}{L}$$

- L is length through the soil
- y is the height of ponded water
- x is the height of water required to lower the gradient so that y can be maintained.
- Note: if the gradient is 1 then  $K_s = q$  as per Darcy's Law.



## Falling Head Method

- Wet the column from the bottom up.
- Fill a burette to above the height of the soil column and allow it to drain.
- Drain until the rate of head loss is constant.
- (Figure 11.1)

$$K_s = \left[ \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \right] \log \left( \frac{H_2}{H_1} \right)$$



# Falling Head Apparatus

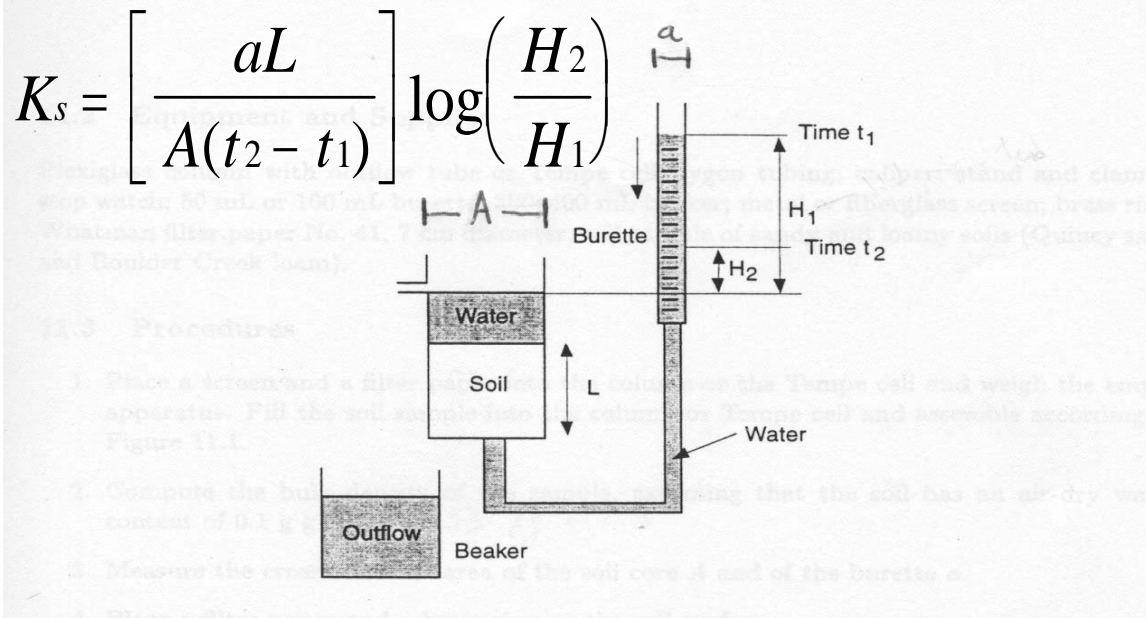
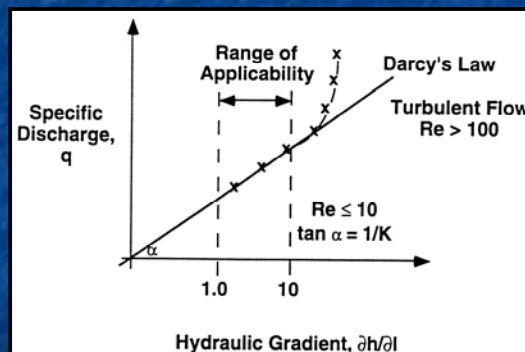


Fig. 11.1. Schematic of falling-head method to measure saturated hydraulic conductivity.



## Limitations of the Darcian Approach

1. For Reynold's Number,  $Re, > 10$  or where the flow is turbulent, as in the immediate vicinity of pumped wells.



2. Where water flows through extremely fine-grained materials (colloidal clay)



# TERIMA KASIH



**EXAMPLE PROBLEM** A constant-head permeameter has a sample of medium-grained sand 15 cm in length and 25 cm<sup>2</sup> in cross-sectional area. With a head of 5.0 cm, a total of 100 ml of water is collected in 12 min. Find the hydraulic conductivity.

$$K = \frac{VL}{Ath}$$
$$K = \frac{100 \text{ cm}^3 \times 15 \text{ cm}}{25 \text{ cm}^2 \times 12 \text{ min} \times 60 \text{ s/min} \times 5 \text{ cm}}$$
$$= 1.7 \times 10^{-2} \text{ cm/s or } 14 \text{ m/day}$$

**EXAMPLE PROBLEM** A falling-head permeameter containing a silty, fine sand has a falling-head tube diameter of 2.0 cm, a sample diameter of 10 cm, and a flow length of 15 cm. The initial head is 5.0 cm. It falls to 0.50 cm over a period of 528 min. Find the hydraulic conductivity.

$$K = \frac{d_r^2 L}{d_c^2 t} \ln \left( \frac{h_0}{h} \right)$$
$$= \frac{2.0^2 \text{ cm}^2}{10^2 \text{ cm}^2} \times \frac{15 \text{ cm}}{528 \text{ min} \times 60 \text{ s/min}} \times \ln \frac{5.0 \text{ cm}}{0.50 \text{ cm}}$$
$$= 4.4 \times 10^{-5} \text{ cm/s or } 3.8 \times 10^{-2} \text{ m/day}$$



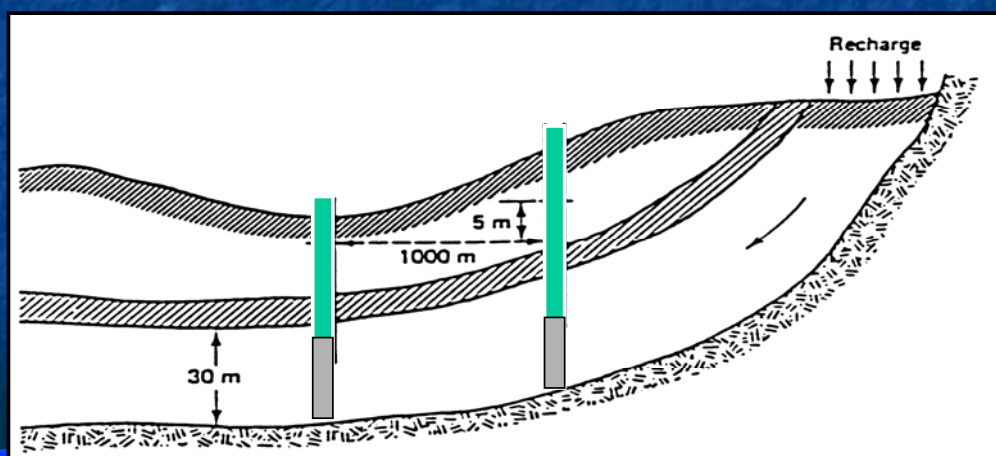
# Example of Darcy's Law

- A confined aquifer has a source of recharge.
- $K$  for the aquifer is 50 m/day, and  $n$  is 0.2.
- The piezometric head in two wells 1000 m apart is 55 m and 50 m respectively, from a common datum.
- The average thickness of the aquifer is 30 m, and the average width of aquifer is 5 km.



## Compute:

- a) the rate of flow through the aquifer
- (b) the average time of travel from the head of the aquifer to a point 4 km downstream
- *\*assume no dispersion or diffusion*



# The solution

- Cross-Sectional area =  $30(5)(1000) = 15 \times 10^4 \text{ m}^2$
- Hydraulic gradient =  $(55-50)/1000 = 5 \times 10^{-3}$
- Rate of Flow for  $K = 50 \text{ m/day}$   $Q = (50 \text{ m/day}) (75 \times 10^4 \text{ m}^2) = 37,500 \text{ m}^3/\text{day}$
- Darcy Velocity:  $V = Q/A = (37,500 \text{ m}^3/\text{day}) / (15 \times 10^4 \text{ m}^2) = \underline{0.25 \text{ m/day}}$



- Seepage Velocity:  $V_s = V/n = (0.25) / (0.2) = 1.25 \text{ m/day}$  (about 4.1 ft/day)
- Time to travel 4 km downstream:  $T = 4(1000\text{m}) / (1.25\text{m/day}) = 3200 \text{ days or } 8.77 \text{ years}$
- *This example shows that water moves very slowly underground.*

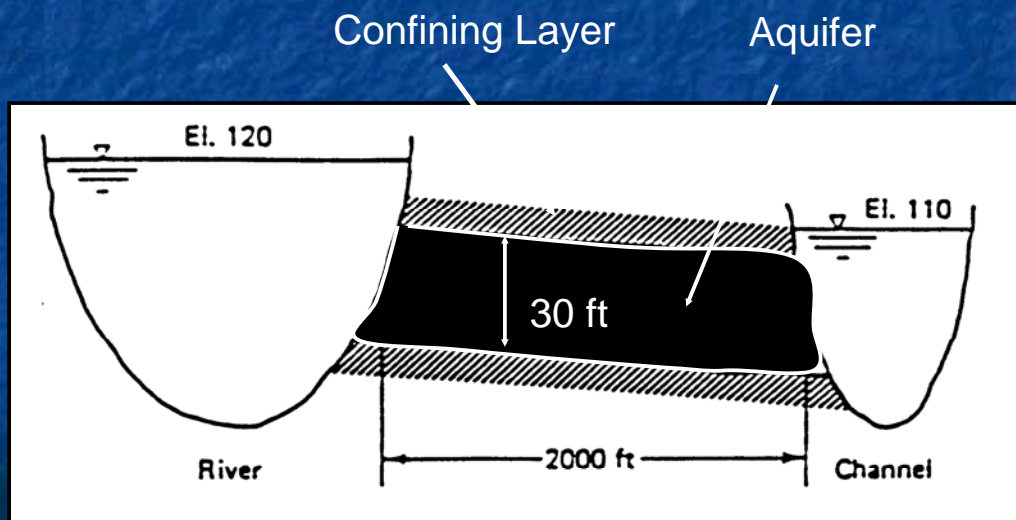


## Darcy's Law: *Example 2*

- A channel runs almost parallel to a river, and they are 2000 ft apart.
- The water level in the river is at an elevation of 120 ft and 110ft in the channel.
- A pervious formation averaging 30 ft thick and with  $K$  of 0.25 ft/hr joins them.
- Determine the rate of seepage or flow from the river to the channel.



## Confined Aquifer



## Example 2

- Consider a 1-ft length of river (and channel).  $Q$   
 $= KA [(h_1 - h_2) / L]$
- Where:  
 $A = (30 \times 1) = 30$   
 $K = (0.25 \text{ ft/hr}) (24 \text{ hr/day}) = 6$   
 $\text{ft}^2$   
 $\text{ft/day}$
- Therefore,  
 $(120 - 110) / 2000$   $Q = [6 (30)$   
 $\text{length} =$   $\underline{0.9 \text{ ft}^2/\text{day}}$   $= 0.9 \text{ ft}^3/\text{day}/\text{ft}$

