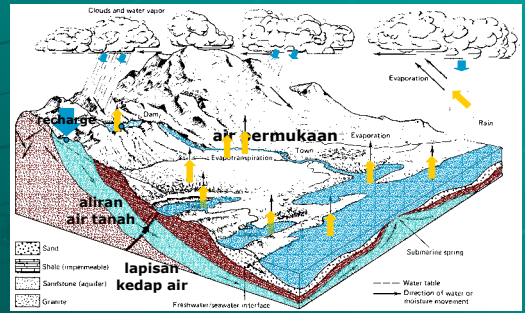


# Water Resources System

Ir. Djoko Luknanto, M.Sc., Ph.D.

Laboratorium Hidraulika  
Jurusan Teknik Sipil FT UGM

# Siklus Hidrologi



28/02/2003

Luknanto@tsipil.ugm.ac.id

2

# Penggunaan Air

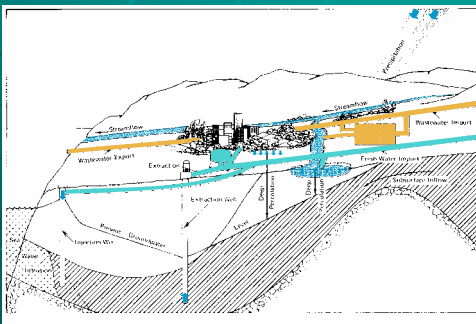


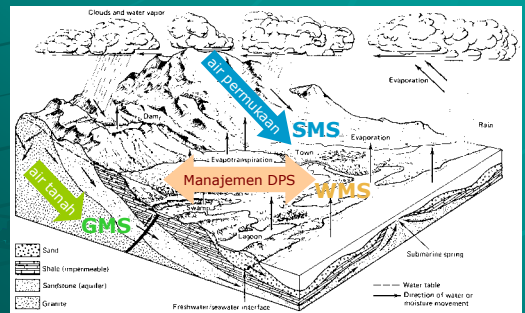
Fig. 9.9 Pictorial representation of conjunctive use of surface water and groundwater resources, Los Angeles Coastal Plain, California (after Calif. Dept. Water Resources<sup>19</sup>)

28/02/2003

Luknanto@tsipil.ugm.ac.id

3

# Hydro Softwares



28/02/2003

Luknanto@tsipil.ugm.ac.id

4

# Hydro Softwares

- ◆ **Surface-water Modeling System (SMS)**  
 Memodelkan hidrodinamika gerakan air permukaan dan polusinya baik di sungai maupun di laut
- ◆ **Groundwater Modeling System (GMS)**  
 Memodelkan gerakan air tanah dan polusinya
- ◆ **Watershed Modeling System (WMS)**  
 Memodelkan manajemen Daerah Pengaliran Sungai (DPS) untuk melakukan pengelolaan air tanah dan air permukaan

28/02/2003

Luknanto@tsipil.ugm.ac.id

5

# Groundwater Hydraulics

Ir. Djoko Luknanto, M.Sc., Ph.D.

Laboratorium Hidraulika  
Jurusan Teknik Sipil FT UGM

# Texture Tanah dan Porositas

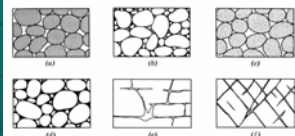


Fig. 2.2 Examples of rock textures and the relation of rock texture to porosity. (a) Well-sorted sedimentary deposit having high porosity. (b) Poorly sorted sedimentary deposit having low porosity. (c) Well-sorted sedimentary deposit consisting of pebbles that are themselves porous, so that the deposit as a whole has a very high porosity. (d) Well-sorted sedimentary deposit whose porosity has been diminished by the deposition of mineral matter in the interstices. (e) Rock rendered porous by solution. (f) Rock rendered porous by fracturing (after Metzger<sup>23</sup>).

- a) Deposit sedimen seragam dg porositas tinggi
- b) Deposit sedimen tak seragam dg porositas rendah
- c) Deposit sedimen seragam dari batuan yang porous shg secara keseluruhan porositasnya tinggi
- d) Deposit sedimen seragam yang porositasnya berkurang karena adanya endapan mineral diantaranya
- e) Batuan porous karena pengikisan
- f) Batuan porous karena retakan

# Pembagian zona vertikal tanah

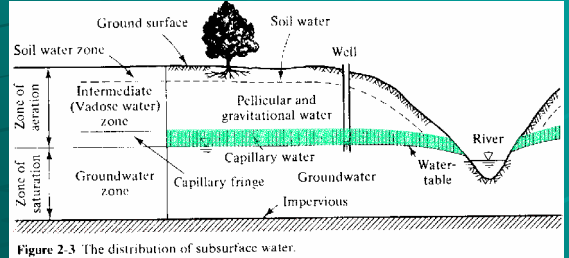
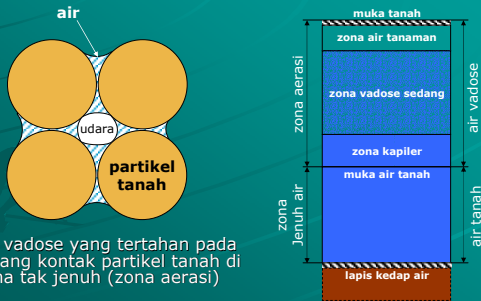


Figure 2-3 The distribution of subsurface water.

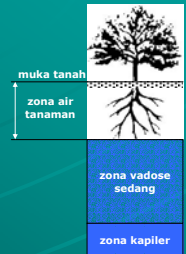
# Distribusi Vertikal Air Tanah



- Air vadose yang tertahan pada bidang kontak partikel tanah di zona tak jenuh (zona aerasi)

# Zona Aerasi

- **Zona air tanaman.** Air di zona ini berada dalam keadaan tidak jenuh, kecuali pada saat air berlebih di muka tanah. Tebal zona ini tergantung dari jenis tanah dan tanaman.
- **Zona vadose sedang.** Ketebalan zona ini berkisar antara 0 m s/d ratusan meter, tergantung dari muka air tanah setempat.
- **Zona kapiler.** Zona ini berkisar antara muka air tanah s/d kenaikan kapiler air didalam pori tanah.



# Zona Jenuh Air

- Pada daerah ini semua pori terisi air
  - **Retensi spesifik ( $S_r$ )** rasio antara vol. air yang akan tinggal (setelah jenuh karena gaya berat) dibagi volume bulknya  

$$\rightarrow S_r = w_r / V$$
  - **Specific yield ( $S_y$ )** rasio antara vol. air (setelah jenuh) yang dapat dikeluarkan karena adanya gaya berat) dibagi volume bulknya  

$$\rightarrow S_y = w_y / V$$
  - Di dalam tanah  $w_r + w_y = \alpha$ , dengan  $\alpha$  adalah porositas tanah yang saling berhubungan.

# Air Tanah & Sistem Akuifer

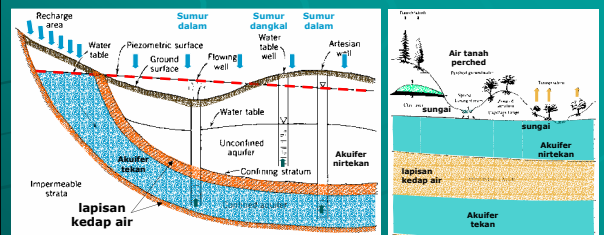


Fig. 2.11 Schematic cross section illustrating unconfined and confined aquifers.

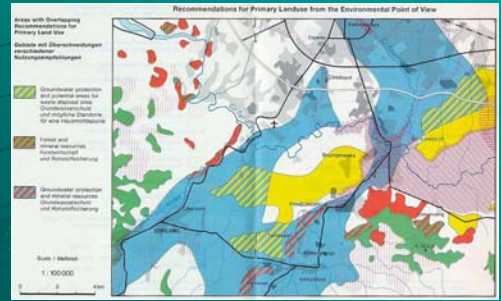
- Pengambilan air tanah tergantung
  - kapasitas akuifer
  - recharge yang masuk ke akuifer.
- Jika volume pengambilan melebihi volume recharge, maka akan terjadi penurunan tanah.

# Penurunan Tanah

- contoh penurunan tanah di sekitar sumur pompa



# Tata guna lahan



- Perencanaan tata guna tanah yang memperhatikan aspek air tanah.

# Tempat pembuangan sampah

- Pengelolaan tempat pembuangan sampah harus memperhatikan aspek air tanah



# Air tanah perched

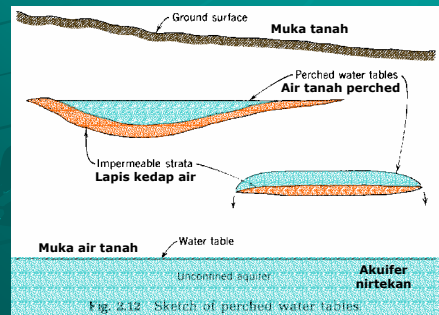


Fig. 2.12 Sketch of perched water tables

# Mata air

- Mata air depresi terjadi karena muka tanah memotong muka air tanah.
- Mata air kontak terjadi karena formasi lolos air berada diatas formasi kedap air yang memotong muka tanah.
- Mata air artesis terjadi karena adanya tekanan dari akuifer tekan melalui 'outcrop' atau bukaan di muka tanah.
- Mata air retakan terjadi pada daerah yang banyak mengalami retakan.

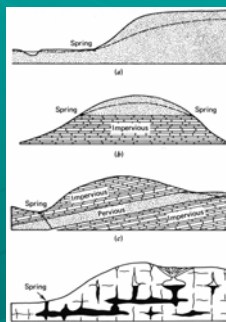
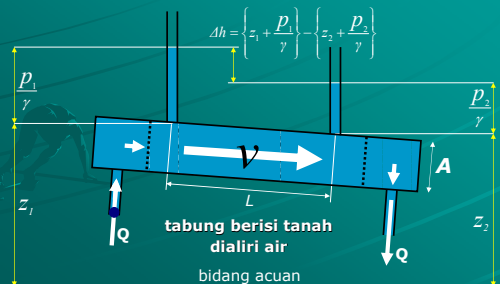


Fig. 2.10 Diagrams illustrating types of gravity springs: (a) Depression spring; (b) Contact springs; (c) Fracture artesian spring; (d) Solution tubular spring (after Bryan; copyright © 1919 by the University of Chicago Press).

# Hukum Darcy

$$v = -Ki = -K \frac{\Delta h}{L} \Rightarrow Q = A \times v$$



### Arah Aliran

$$v = -K \frac{\Delta h}{L} = -K \frac{h_2 - h_1}{L} = -K \times [neg] = [pos]$$

arah aliran kekanan

28/02/2003 Luknanto@tspil.ugm.ac.id 19

### Arah Aliran

$$v = -K \frac{\Delta h}{L} = -K \frac{h_2 - h_1}{L} = -K \times [pos] = [neg]$$

arah aliran kekiri

28/02/2003 Luknanto@tspil.ugm.ac.id 20

### Alat ukur Konduktivitas Hidraulik

$$K = \frac{VL}{Ath}$$

Fig. 3.4 Permeameters for measuring hydraulic conductivity of geologic samples. (a) Constant head. (b) Falling head.

$$Q = \pi r_t^2 \frac{dh}{dt}$$

$$Q = \pi r_c^2 K \frac{h}{L}$$

$$K = \frac{r_t^2 L}{r_c^2 t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

28/02/2003 Luknanto@tspil.ugm.ac.id 21

### Konservasi Massa 3-D ...

Proses ini terjadi selama  $\Delta t$

Volume kontrol 3-D

$$\text{Notasi: } \Delta q_L = \frac{\partial q}{\partial L} \Delta L$$

28/02/2003 Luknanto@tspil.ugm.ac.id 22

### ...Konservasi Massa 3-D

- Vol. air karena aliran yang keluar-masuk di volume kontrol
  - Karena debit arah x:  $\frac{\partial q_x}{\partial x} \Delta x = \frac{\partial(v_x \Delta y \Delta z)}{\partial x} \Delta x = \frac{\partial v_x}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z$
  - Karena debit arah y:  $\frac{\partial q_y}{\partial y} \Delta y = \frac{\partial(v_y \Delta x \Delta z)}{\partial y} \Delta y = \frac{\partial v_y}{\partial y} \Delta y \Delta x \Delta z$
  - Karena debit arah z:  $\frac{\partial q_z}{\partial z} \Delta z = \frac{\partial(v_z \Delta x \Delta y)}{\partial z} \Delta z = \frac{\partial v_z}{\partial z} \Delta z \Delta x \Delta y$
- Selama proses berlangsung ( $\Delta t$ ), maka di dalam volume kontrol akan terjadi perubahan tekanan air ( $\Delta h$ ) yang menyebabkan kemampuan tampungnya berubah sebanding dengan Koefisien Tampung (S):
 
$$S V \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ dengan } V = \Delta x \Delta y \Delta z$$
- Persamaan dasar aliran air tanah
 

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + S \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

perubahan volume air di volume kontrol

28/02/2003 Luknanto@tspil.ugm.ac.id 23

### Pendekatan Linier

- Pendekatan linier yang digunakan untuk memprediksi  $\Delta q_x$  (yang bergerak sebesar  $\Delta x$ ) dengan  $\Delta q_x = (\partial q / \partial x) \Delta x$  sebaliknya tidak tepat
- Yang lebih tepat digunakan adalah pendekatan menggunakan deret Taylor:
 

$$\Delta q_x = \frac{\partial q}{\partial x} (\Delta x) + \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} \frac{(\Delta x)^2}{2!} + \dots + \frac{\partial^n q}{\partial x^n} \frac{(\Delta x)^n}{n!} + \dots$$

28/02/2003 Luknanto@tspil.ugm.ac.id 24

## Persamaan Dasar

- ◆ Konservasi massa

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + S \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

- ◆ Hukum Darcy

$$v_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad v_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad v_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

- ◆ Persamaan Dasar Aliran Air Tanah

$$\frac{\partial \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right)}{\partial z} = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

28/02/2003

luknanto@tsppf.ugm.ac.id

25

Sampai di sini Bozz!!

28/02/2003

luknanto@tsppf.ugm.ac.id

26

## Persamaan Dasar

- ◆ Dalam akuifer anisotropis

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

- ◆ K dianggap konstan

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

- ◆ Dalam akuifer isotropis

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

28/02/2003

luknanto@tsppf.ugm.ac.id

27

## Persamaan Dasar Tunak

- ◆ Dalam akuifer anisotropis

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

- ◆ K dianggap konstan

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

- ◆ Dalam akuifer isotropis

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \leftarrow \text{Persamaan Laplace}$$

28/02/2003

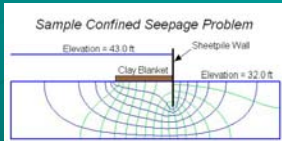
luknanto@tsppf.ugm.ac.id

28

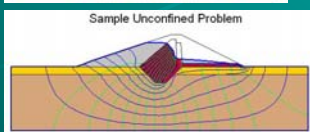
## Aplikasi Persamaan Laplace

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

- ◆ Rembesan di bawah sheetpile



- ◆ Rembesan di bendungan



Contoh aplikasi pers. Laplace

28/02/2003

luknanto@tsppf.ugm.ac.id

29

## Aplikasi Software GMS

- ◆ Memodelkan aliran air tanah pada suatu kawasan



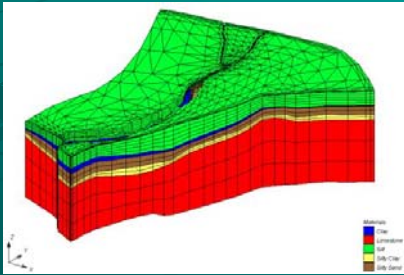
28/02/2003

luknanto@tsppf.ugm.ac.id

30

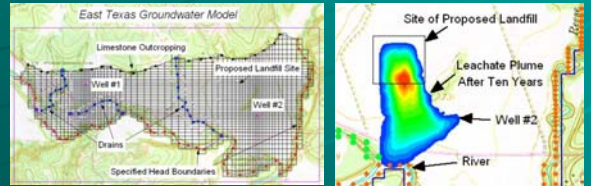
# Aplikasi Software GMS

- Penggunaan metode elemen hingga dalam GMS



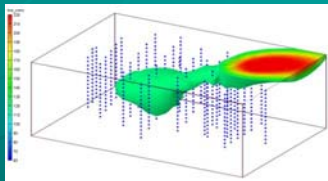
# Aplikasi Software GMS

- Pengaruh Pembuangan Akhir Sampah terhadap air tanah

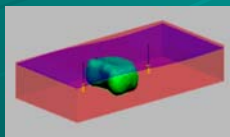


# Aplikasi Software GMS

- Memodelkan sebaran polusi dalam air tanah 3-D (3 dimensi)

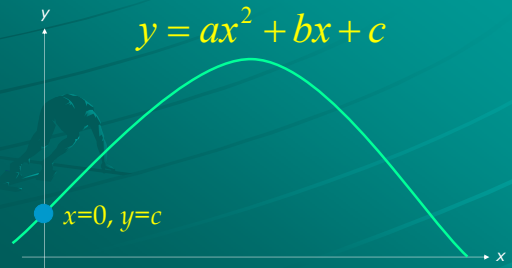


- Animasi gerakan polutan



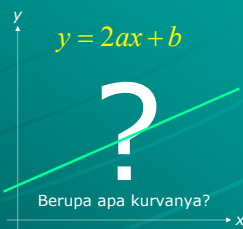
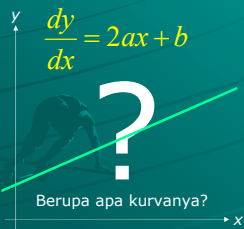
# Penyelesaian Persamaan

- Persamaan Kuadrat



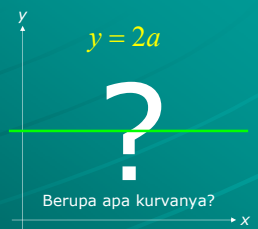
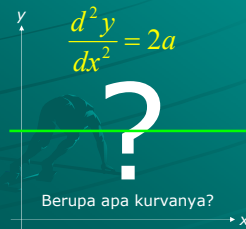
# Penyelesaian Pers. Differensial

- Persamaan Diff  $O_1$
- Persamaan Linier



# Penyelesaian Persamaan

- Persamaan Diff  $O_2$
- Persamaan Linier



## Penyelesaian Pers. Diff O1

- Persamaan Diff O1

$$\frac{dy}{dx} = (2ax + b)$$

$$\int dy = \int (2ax + b) dx$$

$$y = ax^2 + bx + K_1$$

Jika  $K_1 = c$ , maka kurva semula diperoleh

menyebabkan

Kurva: keluarga parabola

## Penyelesaian Pers. Diff O2

- Persamaan Diff O2

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a \Rightarrow \frac{d}{dx} \left( \frac{dy}{dx} \right) = 2a$$

$$\int d \left( \frac{dy}{dx} \right) = \int 2a dx \Rightarrow \left( \frac{dy}{dx} \right) = 2ax + K_1$$

$$\int dy = \int (2ax + K_1) dx \Rightarrow y = ax^2 + K_1x + K_2$$

Jika  $K_1 = b$  &  $K_2 = c$ , maka kurva semula diperoleh

menyebabkan

Kurva: keluarga parabola

## Penyelesaian Persamaan Differensial

Penyelesaian persamaan Diff O<sub>2</sub> sbb:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a \Rightarrow y = ax^2 + K_1x + K_2$$

tidak akan kembali kepada persamaan asli:

$$y = ax^2 + bx + c$$

jika tidak disertai kondisi sbb:

$$K_1 = b \text{ \& } K_2 = c$$

## Penyelesaian Persamaan Differensial

- Persamaan asli:  $y = ax^2 + bx + c$
- Persamaan diff yang setara dengan pers. asli mempunyai bentuk:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a$$

$$\left[ \frac{dy}{dx} \right]_{x=0} = b \text{ dan } y|_{x=0} = c$$

disebut kondisi batas

## Kondisi Batas

- Kondisi batas dalam bentuk akhir:

$$\left[ \frac{dy}{dx} \right]_{x=0} = b \text{ dan } y|_{x=0} = c$$

- Diperoleh dari syarat di depan:

$$K_1 = b \text{ \& } K_2 = c$$

- Ingat:

$$\left( \frac{dy}{dx} \right) = 2ax + K_1 \text{ dan } y = ax^2 + K_1x + K_2$$

## Fenomena Alam

- Fenomena alam kebanyakan dideskripsikan melalui persamaan differensial:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a$$

$$\left[ \frac{dy}{dx} \right]_{x=0} = b \text{ dan } y|_{x=0} = c$$

- Bukan persamaan sederhana eksplisit yang setara:

$$y = ax^2 + bx + c$$

# Penyelesaian Pers. Differensial

- ✿ Persamaan differensial mempunyai solusi jika disertai dengan kondisi batas
- ✿ Tanpa kondisi batas, solusinya tidak unik (banyak solusi)
- ✿ Contoh:

Pers. Dasar

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

