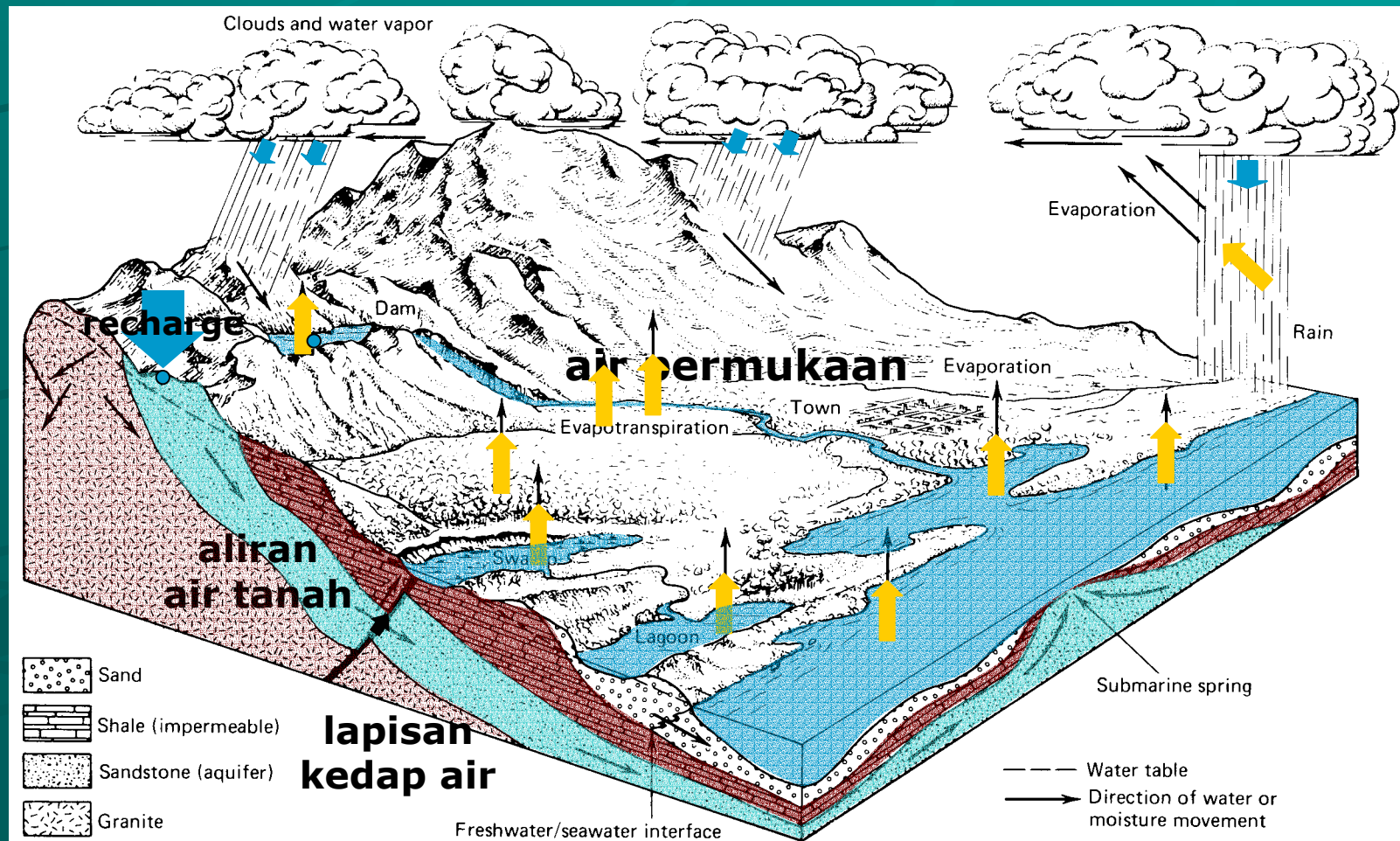


Water Resources System

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

Laboratorium Hidraulika
Jurusan Teknik Sipil FT UGM

Siklus Hidrologi



Penggunaan Air

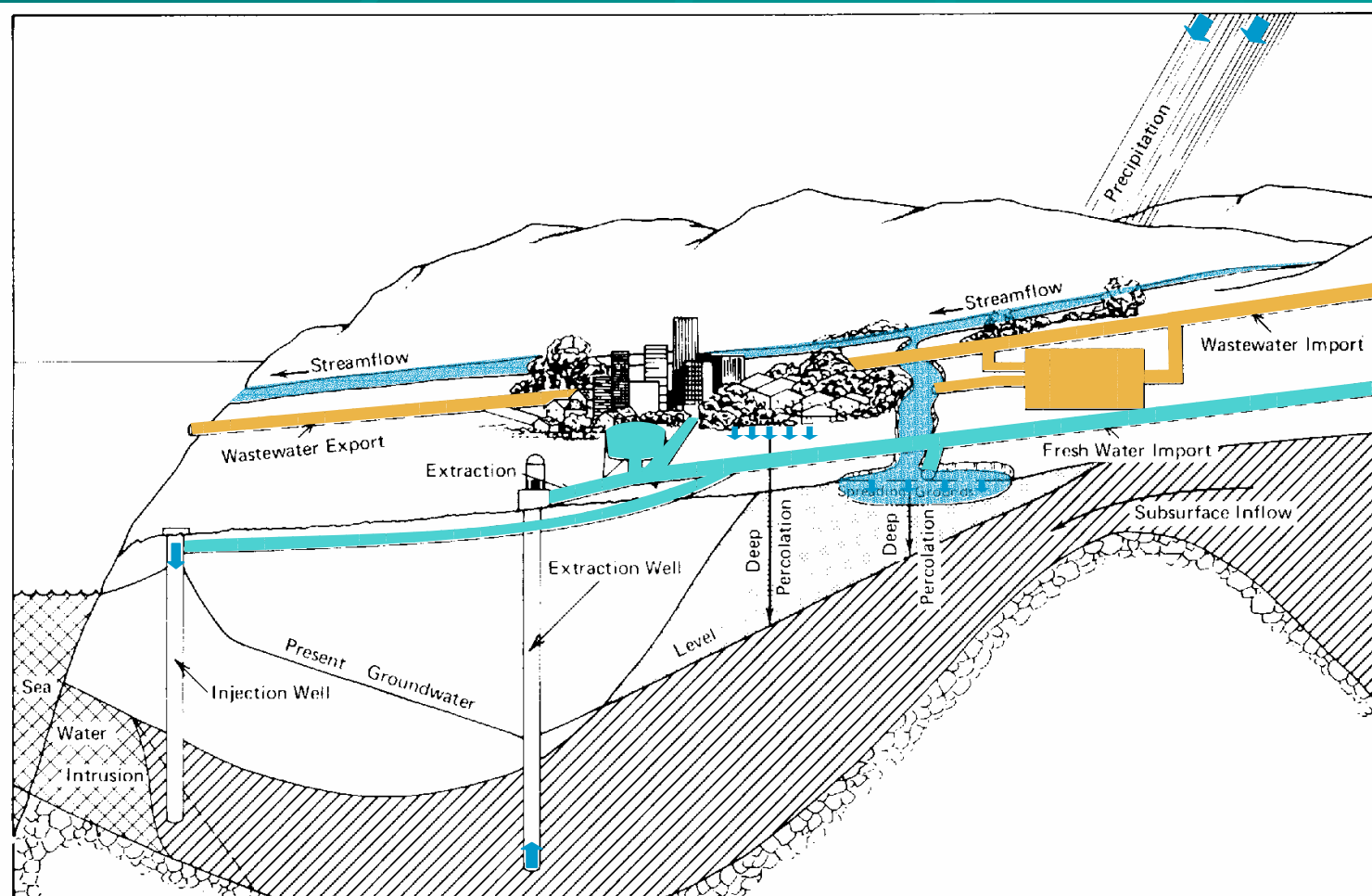
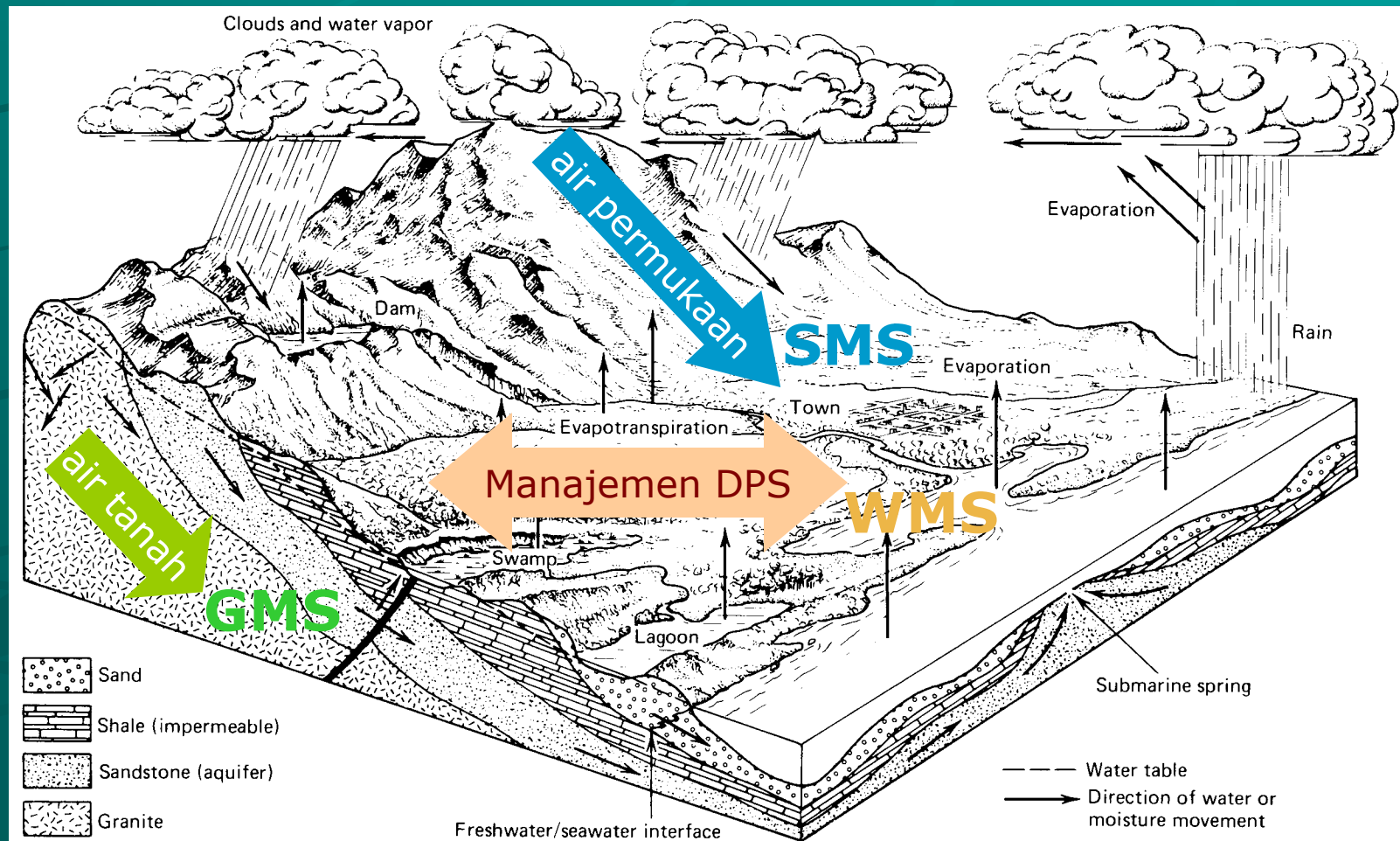


Fig. 9.9 Pictorial representation of conjunctive use of surface water and groundwater resources, Los Angeles Coastal Plain, California (after Calif. Dept. Water Resources¹⁰).

Hydro Softwares



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

Groundwater Hydraulics



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

Laboratorium Hidraulika
Jurusan Teknik Sipil FT UGM

Texture Tanah dan Porositas

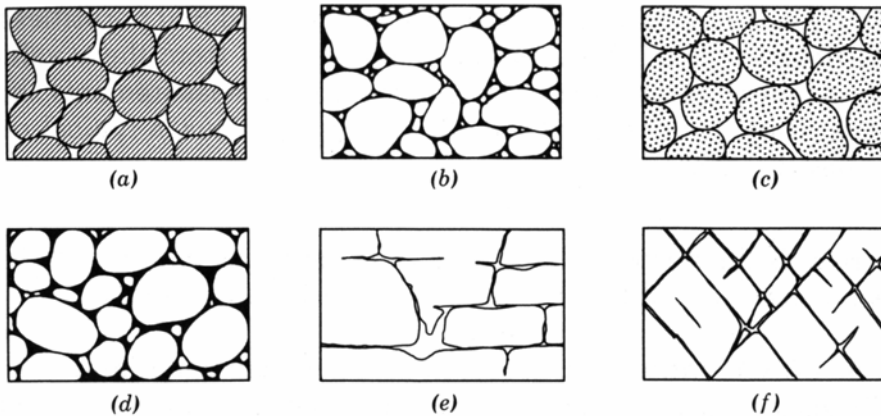


Fig. 2.2 Examples of rock interstices and the relation of rock texture to porosity. (a) Well-sorted sedimentary deposit having high porosity. (b) Poorly sorted sedimentary deposit having low porosity. (c) Well-sorted sedimentary deposit consisting of pebbles that are themselves porous, so that the deposit 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 Meinzer³¹).

a) Deposit sedimen seragam dg porositas tinggi

b) Deposit sedimen tak seragam dg porositas rendah

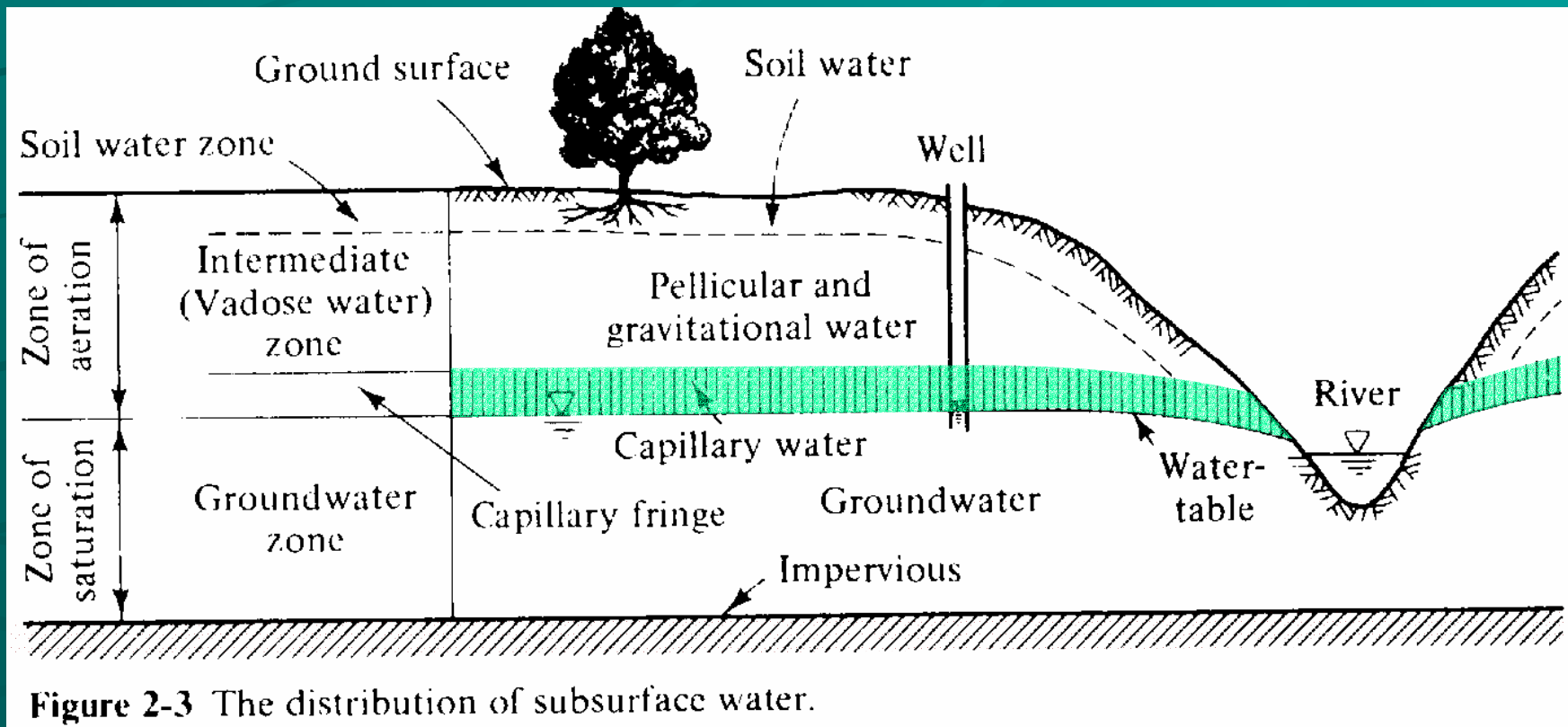
c) Deposit sedimen seragam dari batuan yang porous shg secara keseluruhan porositasnya tinggi

d) Deposit sedimen seragam yang porositasnya berkurang karena adanya endapan mineral diantaranya

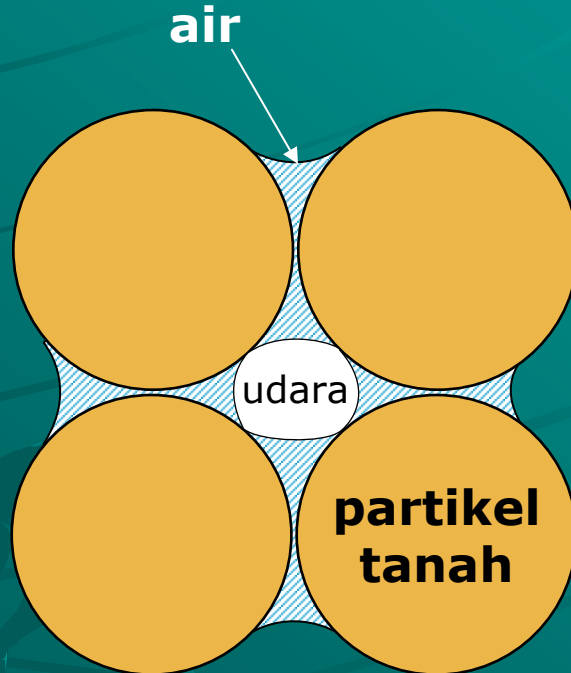
e) Batuan porous karena pengikisan

f) Batuan porous karena retakan

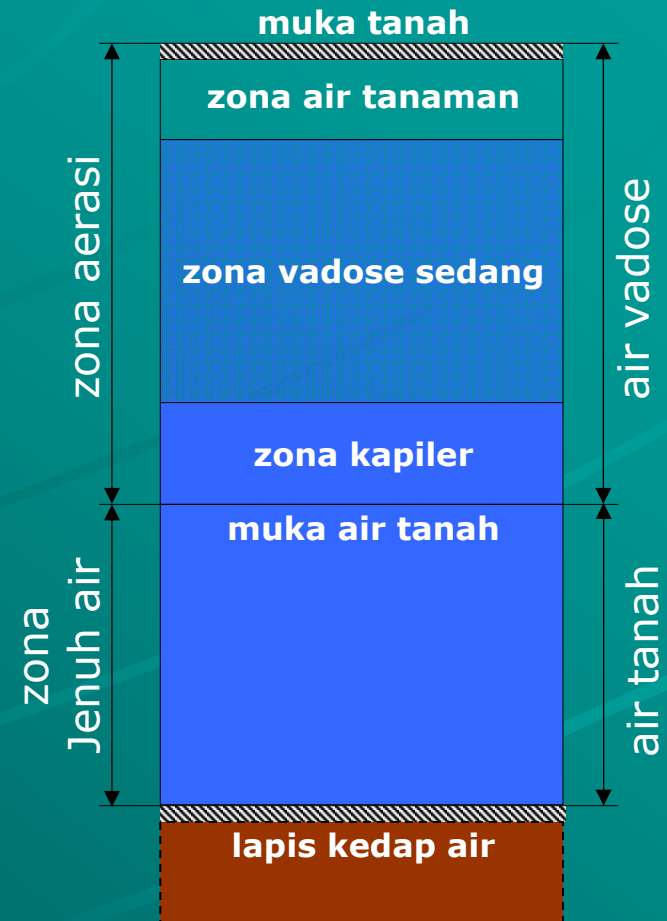
Pembagian zona vertikal tanah



Distribusi Vertikal Air Tanah

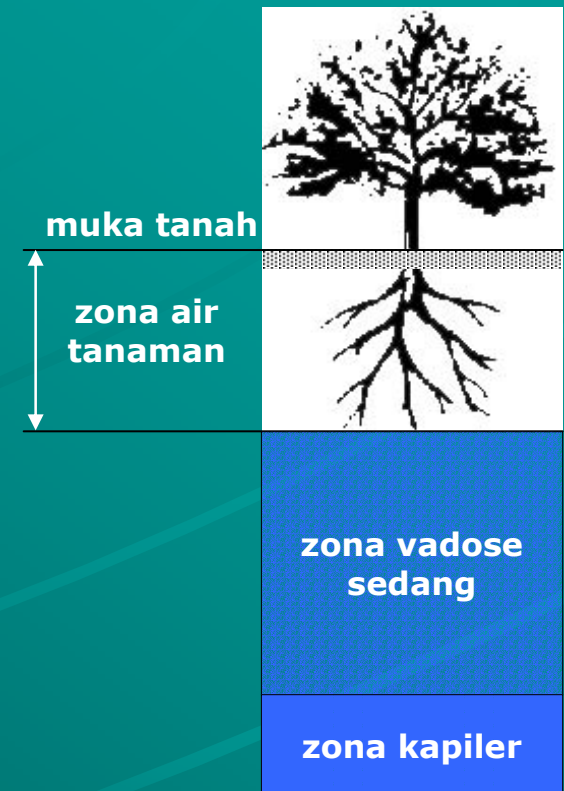


- ♦ Air vadose yang tertahan pada bidang kontak partikel tanah di zona tak jenuh (zona aerasi)



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
→ $S_r = w_r / V$
 - **Specific yield** (S_y) rasio antara vol. air (setelah jenuh) yang dapat dikeluarkan karena adanya gaya berat) dibagi volume bulknya
→ $S_y = w_y / V$
 - Di dalam tanah $w_r + w_y = \alpha$, dengan α adalah porositas tanah yang saling berhubungan.

Air Tanah & Sistem Akuifer

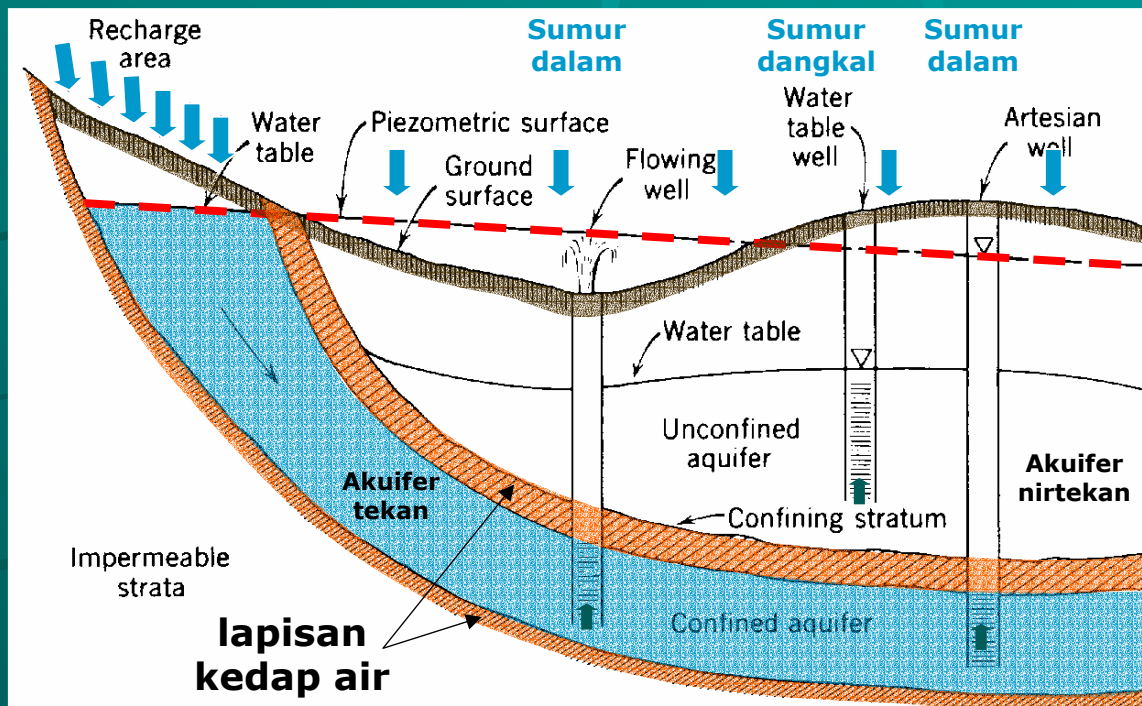


Fig. 2.11 Schematic cross section illustrating unconfined and confined aquifers.

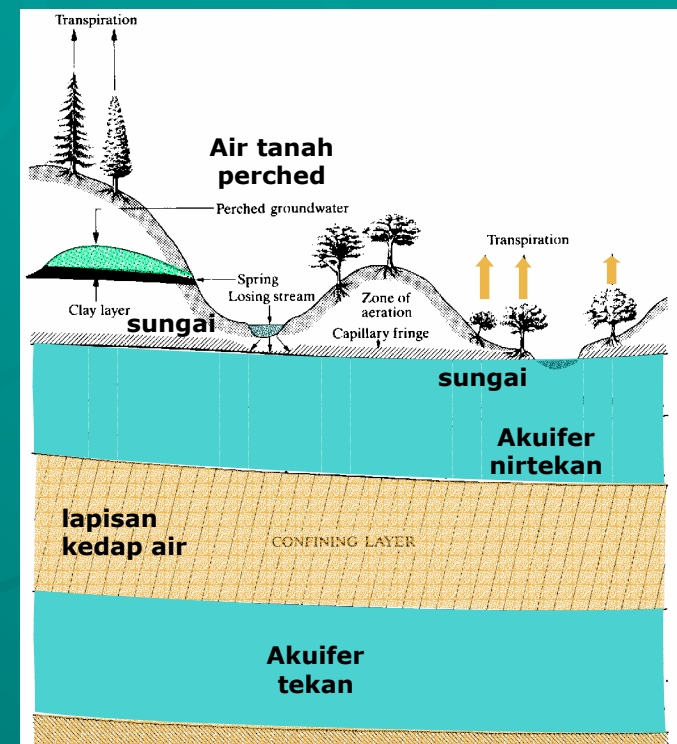


FIGURE 7.4 Schematic cross section showing occurrence of groundwater. Source: R. H. Brown, A. A. Konoplyantsev, J. Ineson, and V. S. Kovatevsky, *Groundwater Studies*. Copyright © Unesco 1972. Reproduced by permission of Unesco.

- ✦ Pengambilan air tanah tergantung
 - kapasitas akuifer
 - recharge yang masuk ke akuifer.

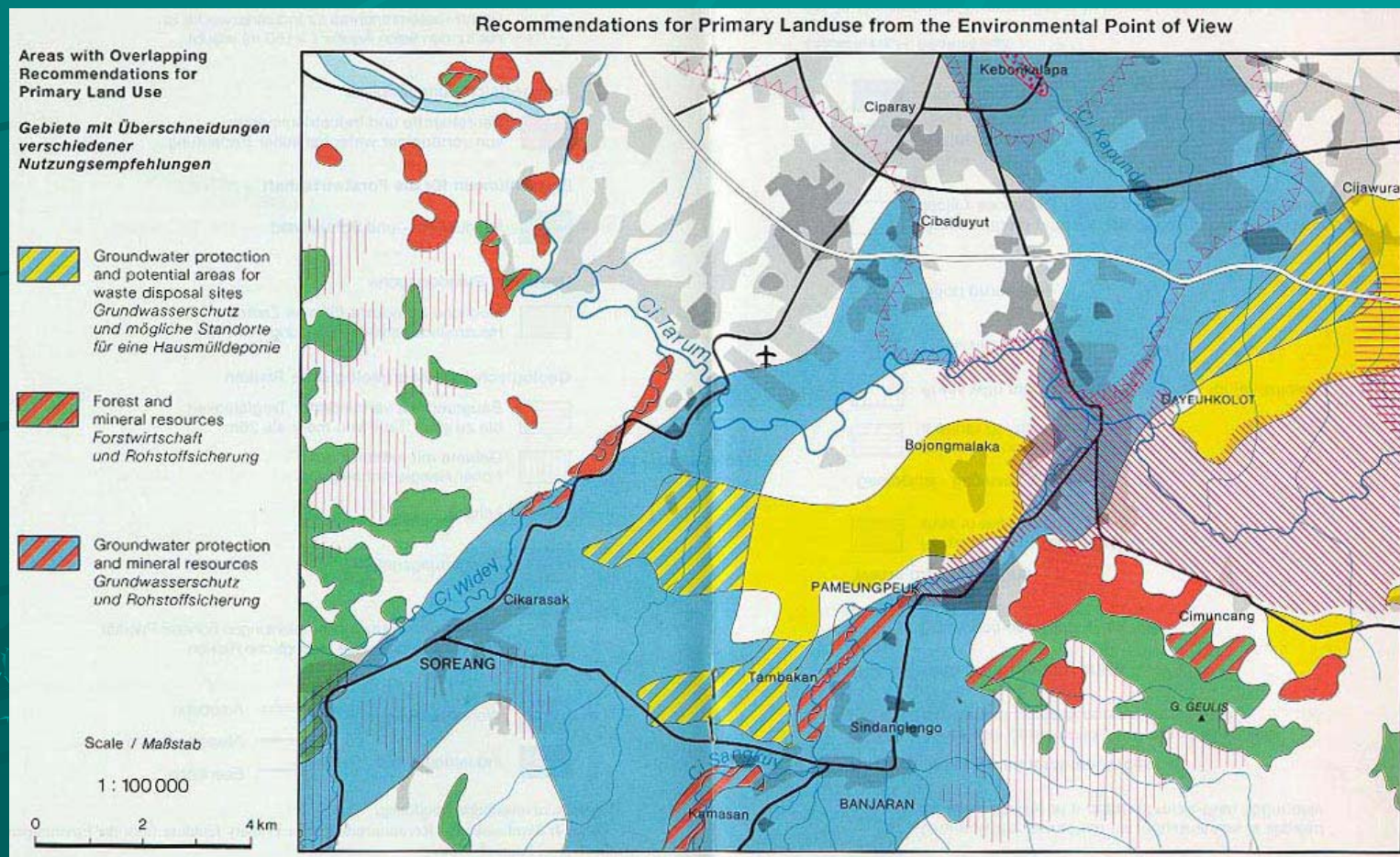
- ✦ Jika volume pengambilan melebihi volume recharge, maka akan terjadi penurunan tanah.

Penurunan Tanah

- ◆ contoh penurunan tanah di sekitar sumur pompa



Tata guna lahan



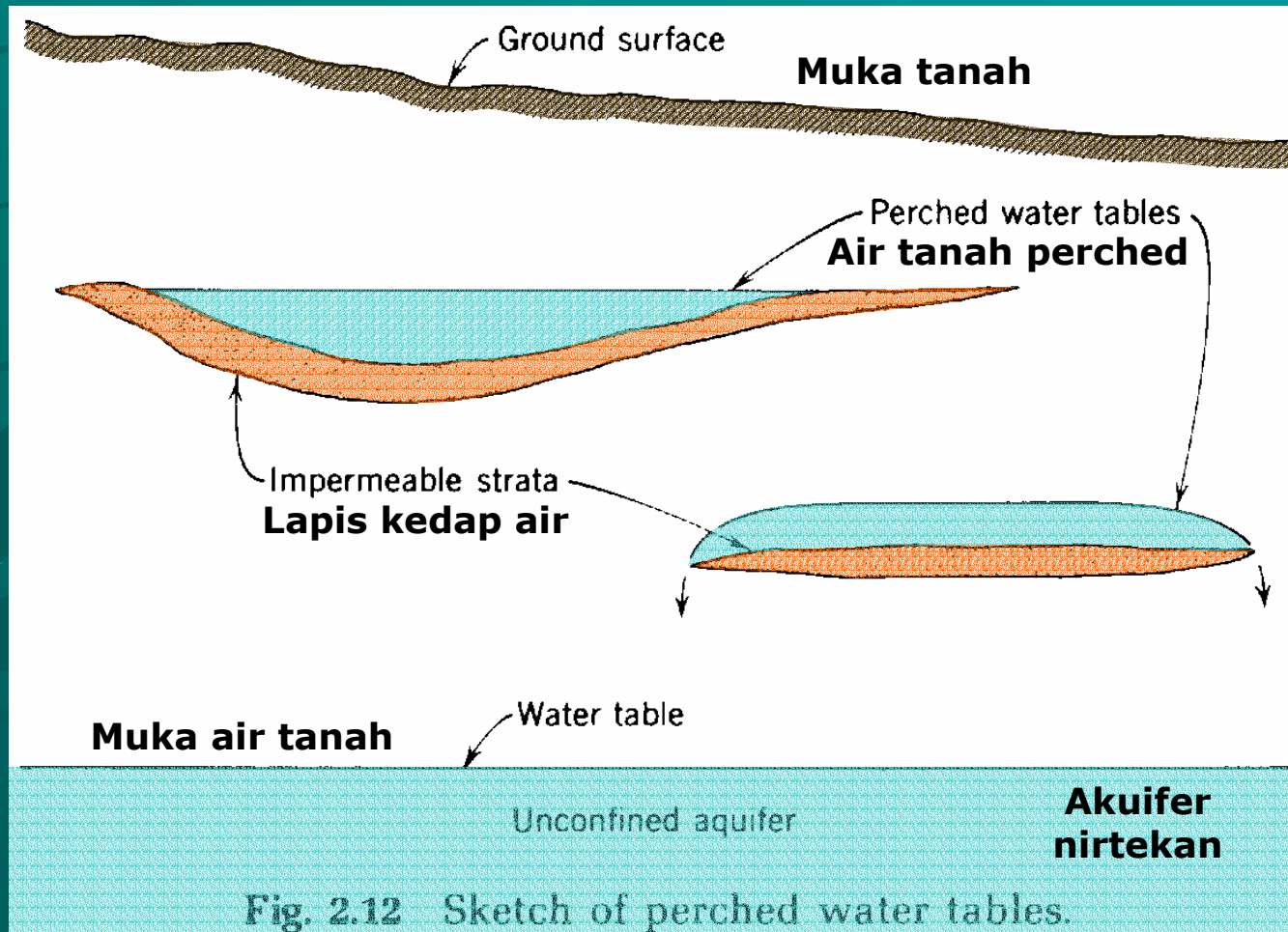
- ◆ Perencanaan tata guna tanah yang memperhatikan aspek air tanah.

Tempat pembuangan sampah

- ◆ Pengelolaan tempat pembuangan sampah harus memperhatikan aspek air tanah



Air tanah perched



Mata air

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

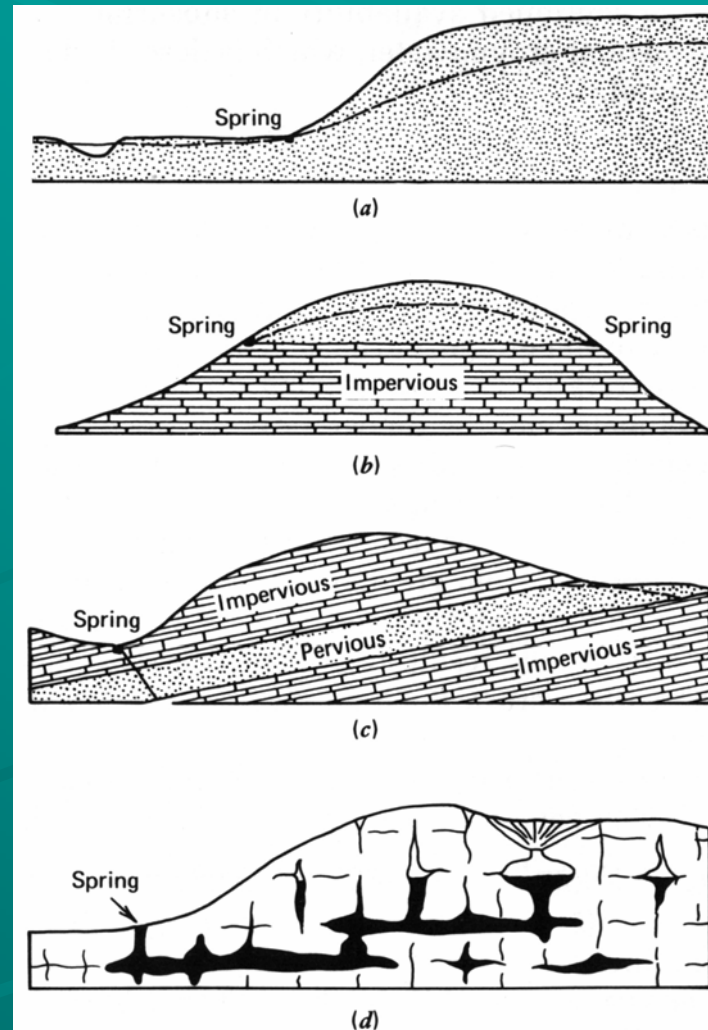


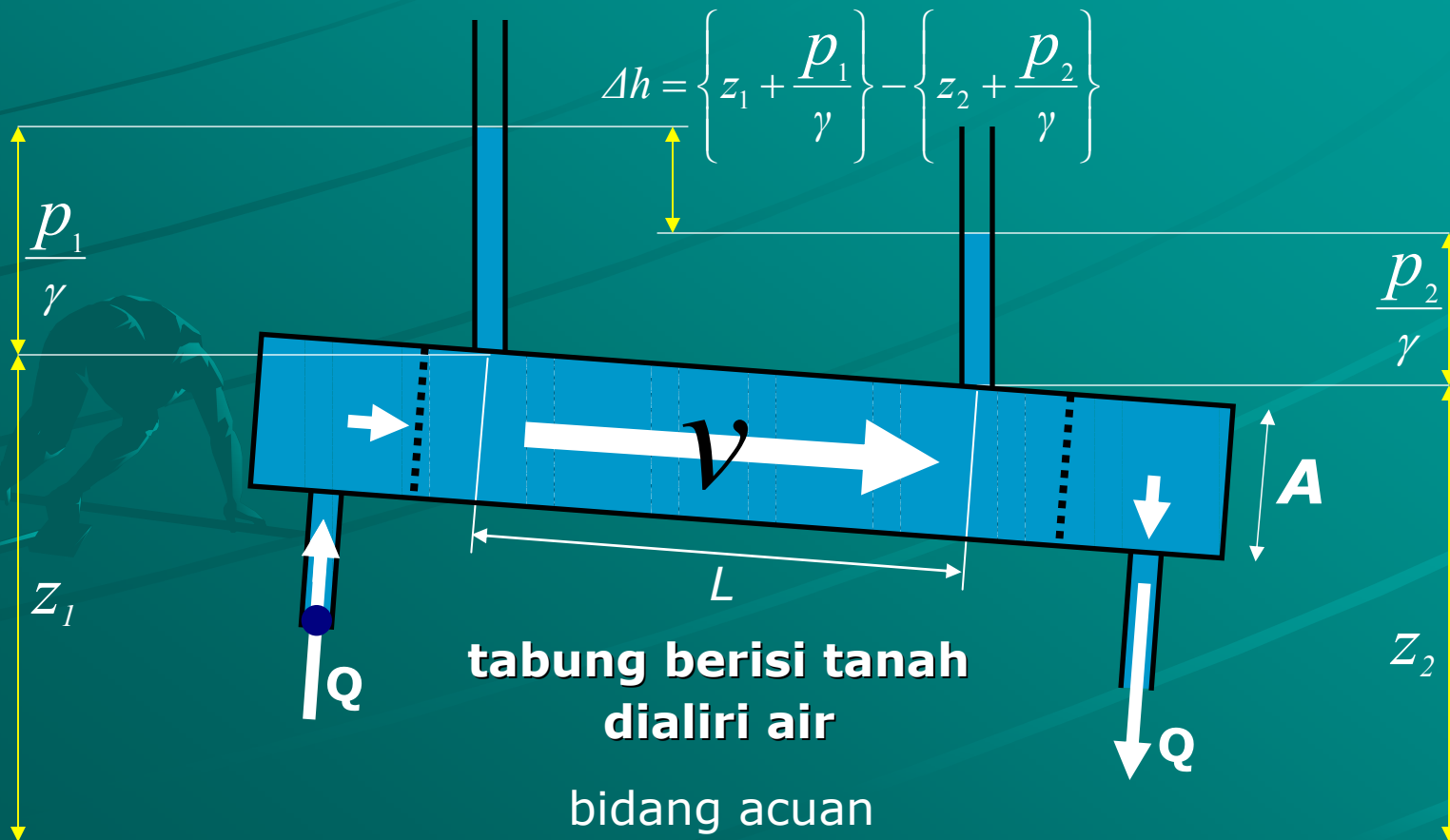
Fig. 2.15 Diagrams illustrating types of gravity springs. (a) Depression spring. (b) Contact springs. (c) Fracture artesian spring. (d) Solution tubular spring (after Bryan⁶; copyright © 1919 by the University of Chicago Press).

Hukum Darcy

$$v = -Ki = -K \frac{\Delta h}{L}$$

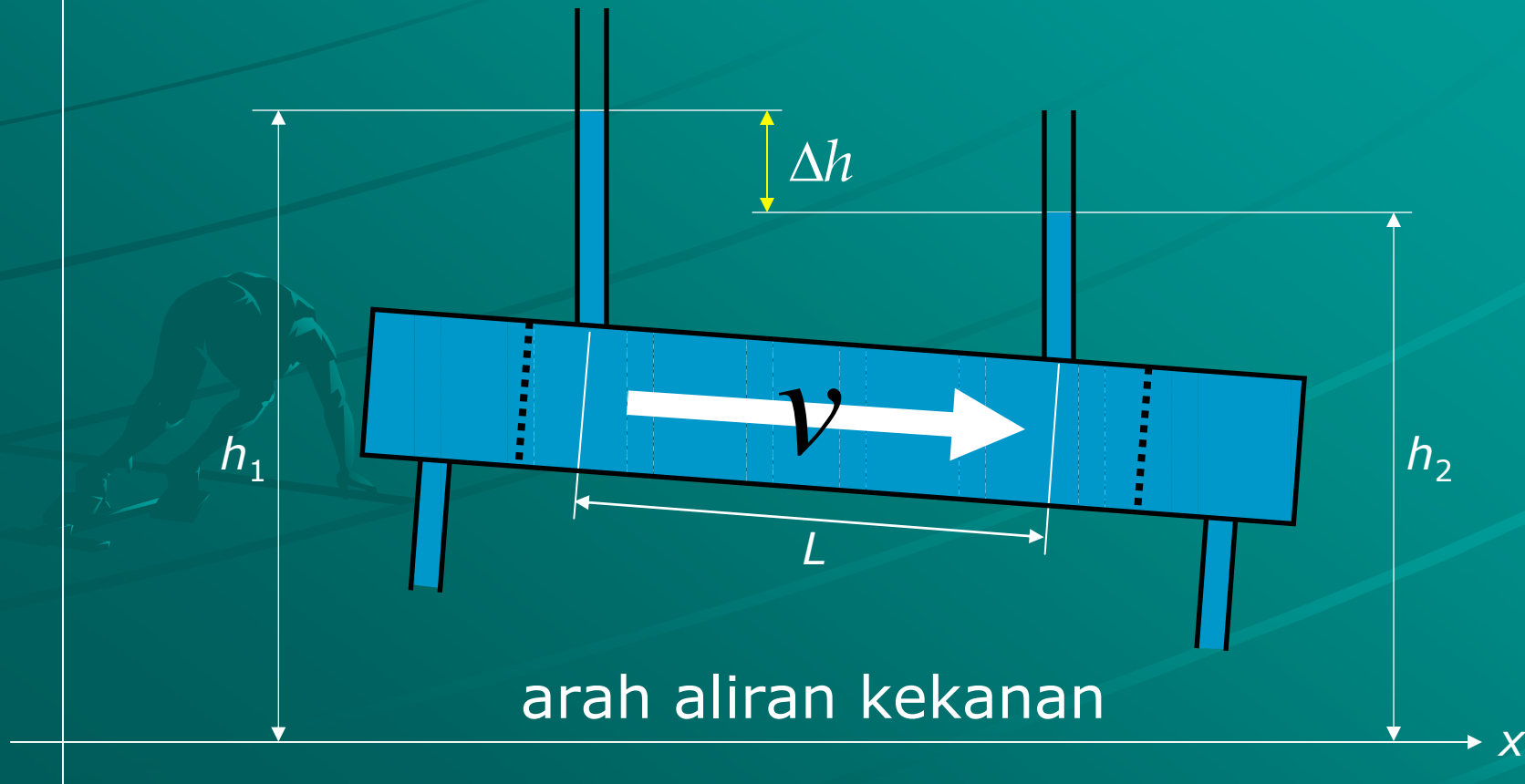


$$Q = A \times v$$



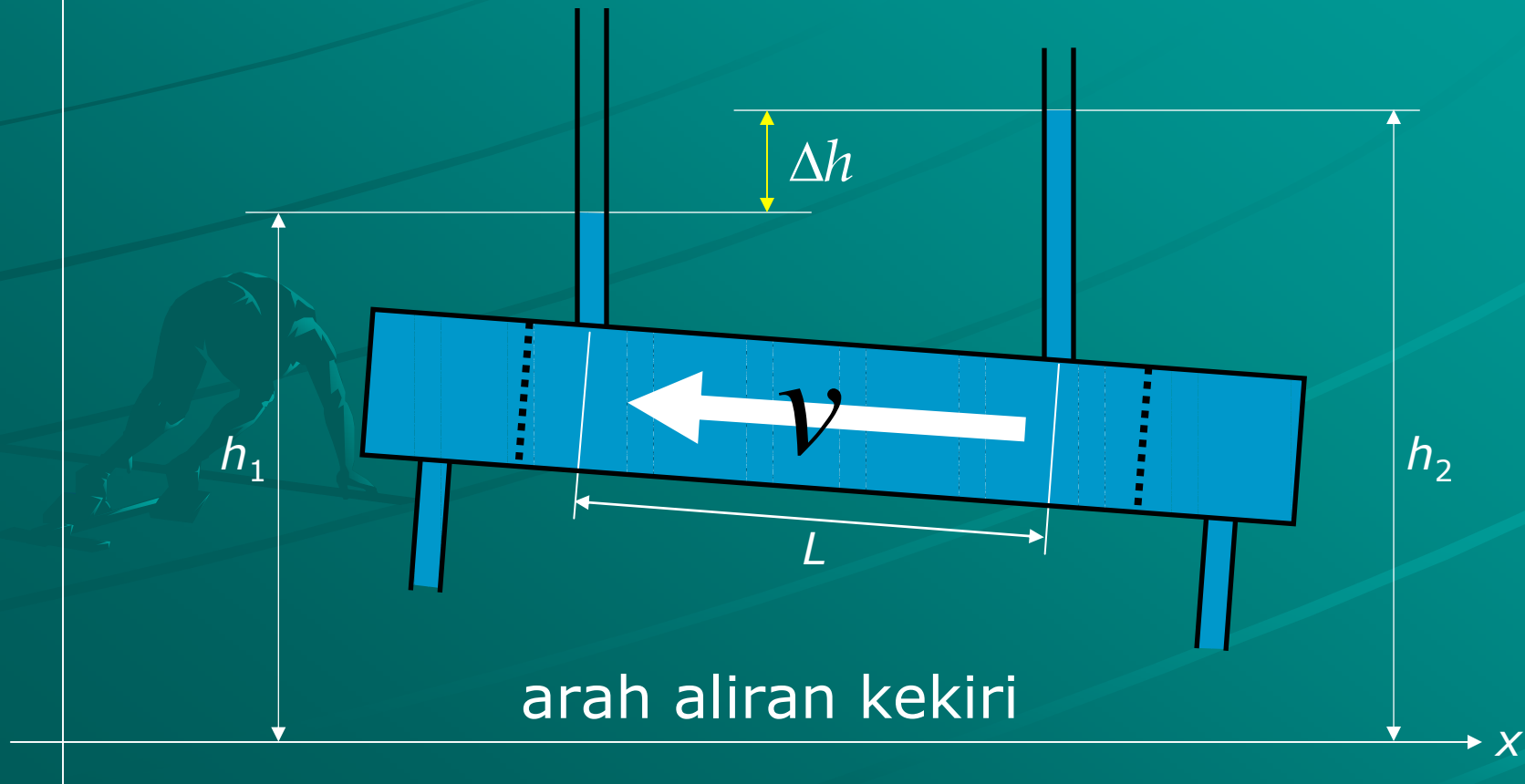
Arah Aliran

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



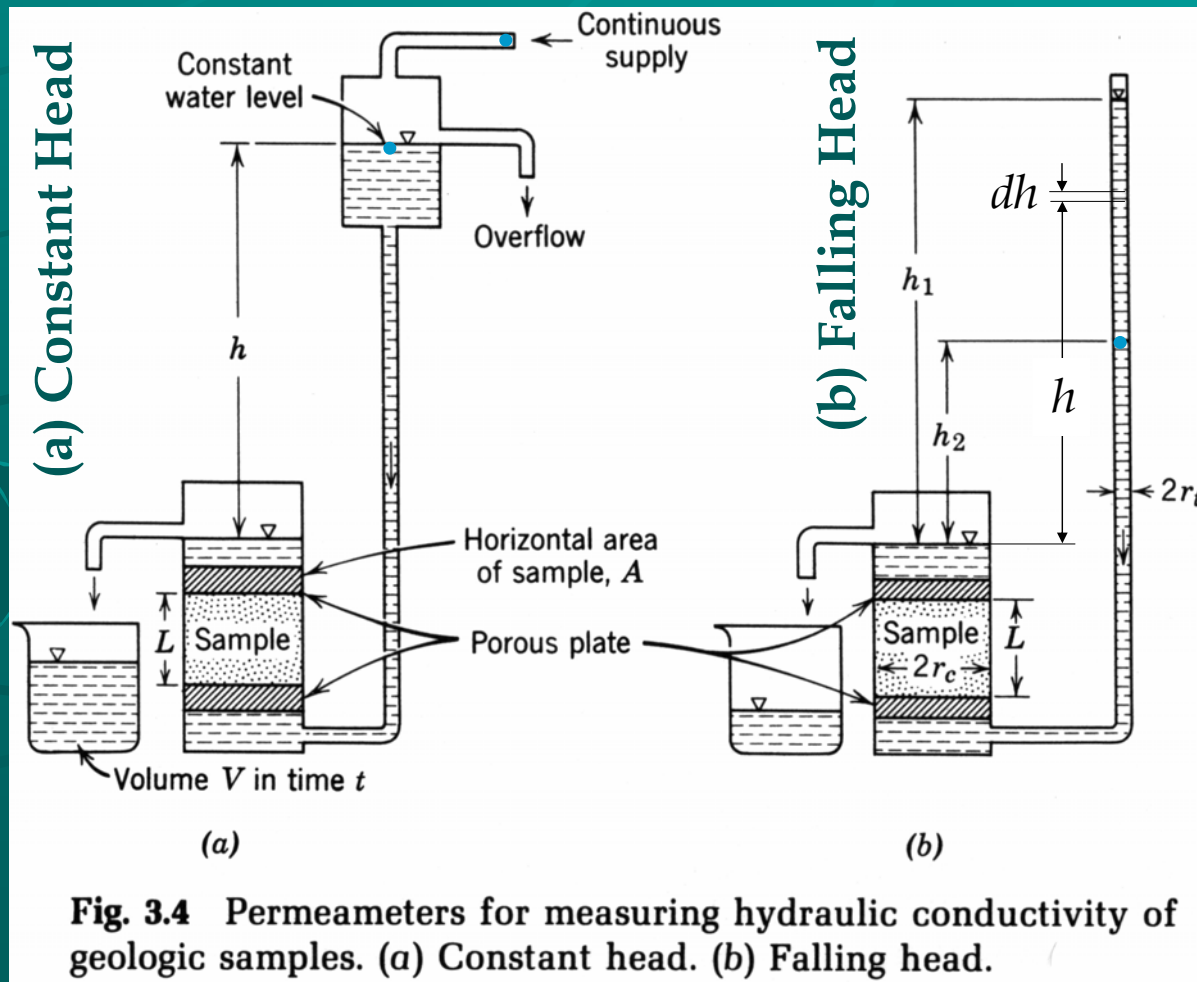
Arah Aliran

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



Alat ukur Konduktivitas Hidraulik

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



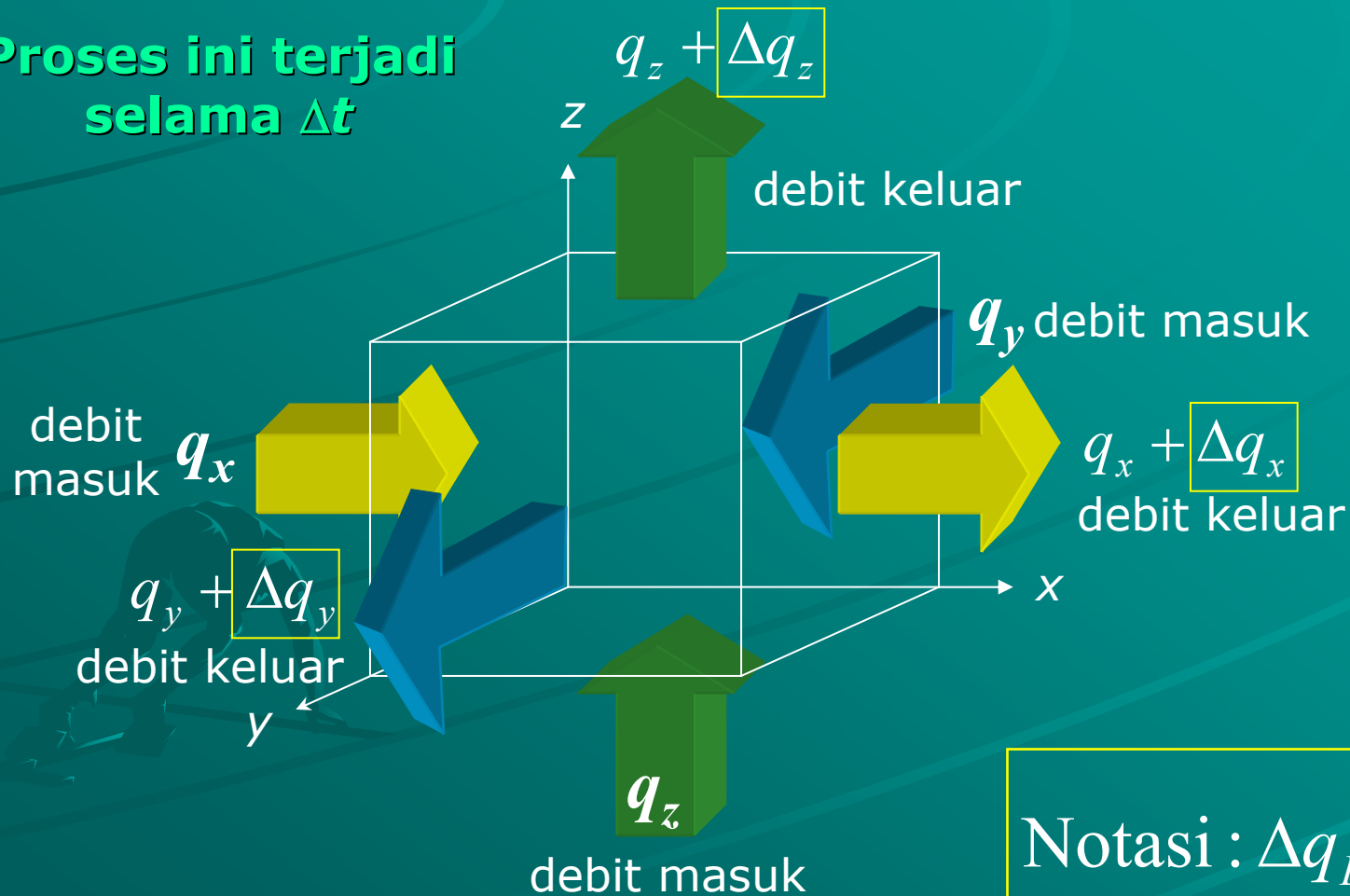
$$Q = \pi r_t^2 \frac{dh}{dt}$$

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

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

Konservasi Massa 3-D ...

Proses ini terjadi selama Δt



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

Volume kontrol 3-D

...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 (Δt), maka di dalam volume kontrol akan terjadi perubahan tekanan air (Δh) yang menyebabkan kemampuan tampungnya berubah sebanding dengan Koefisien Tampung (S):

$$SV \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ dengan } V = \Delta x \Delta y \Delta z$$

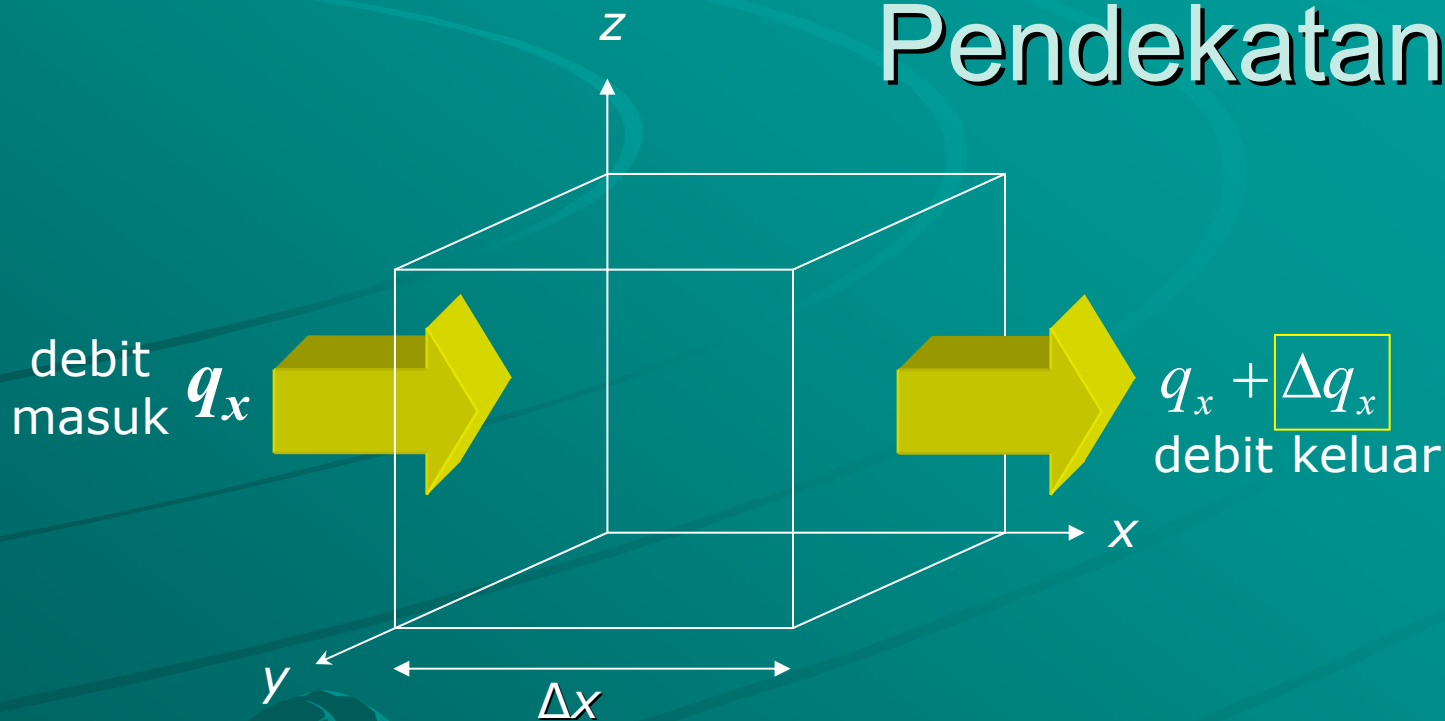
- ◆ Persamaan dasar aliran air tanah

debit keluar masuk
volume kontrol

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

perubahan volume
air di volume kontrol

Pendekatan Linier



- ◆ Pendekatan linier yang digunakan untuk memprediksi Δq_x (yang bergerak sebesar Δx) dengan $\Delta q_x = (\partial q / \partial x) \Delta x$ sebetulnya tidak tepat

- ◆ Yang lebih tepat digunakan adalah pendekatan menggunakan deret Taylor:

$$\Delta q_x = \frac{\partial q}{\partial x} \frac{(\Delta x)^1}{1!} + \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} \frac{(\Delta x)^2}{2!} + \dots + \frac{\partial^n q}{\partial x^n} \frac{(\Delta x)^n}{n!} + \dots$$

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

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

Sampai di sini Bozz!!

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

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

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

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

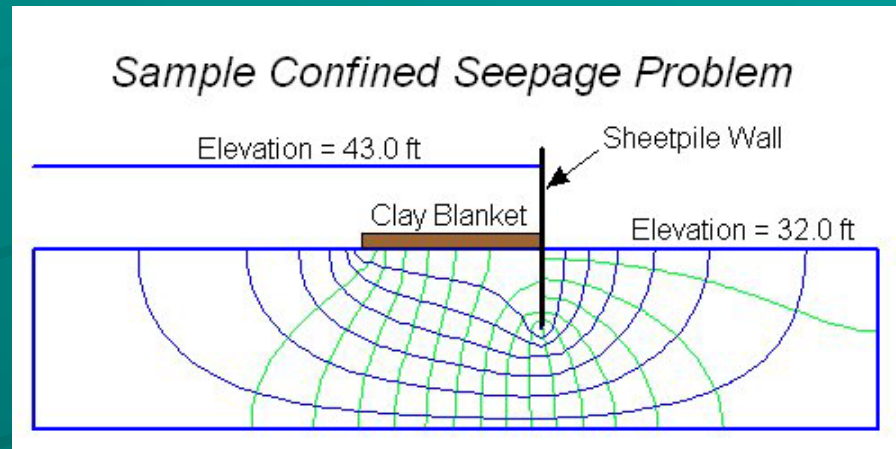


Persamaan
Laplace

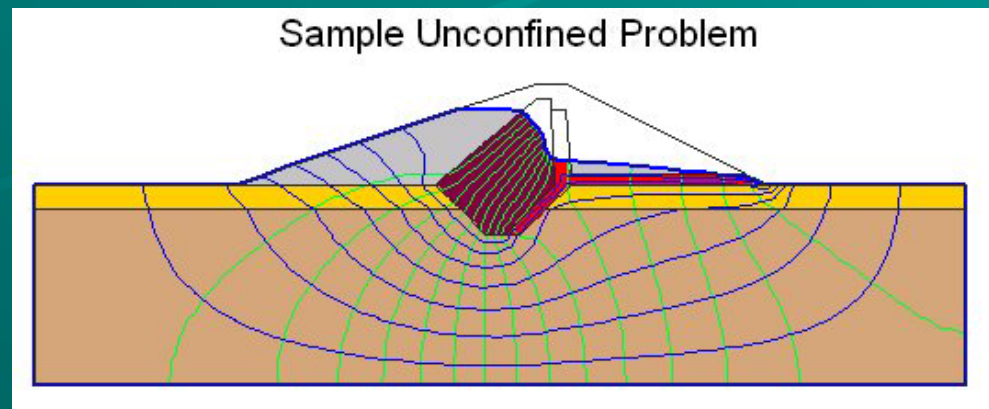
Aplikasi Persamaan Laplace

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

◆ Rembesan di bawah sheetpile



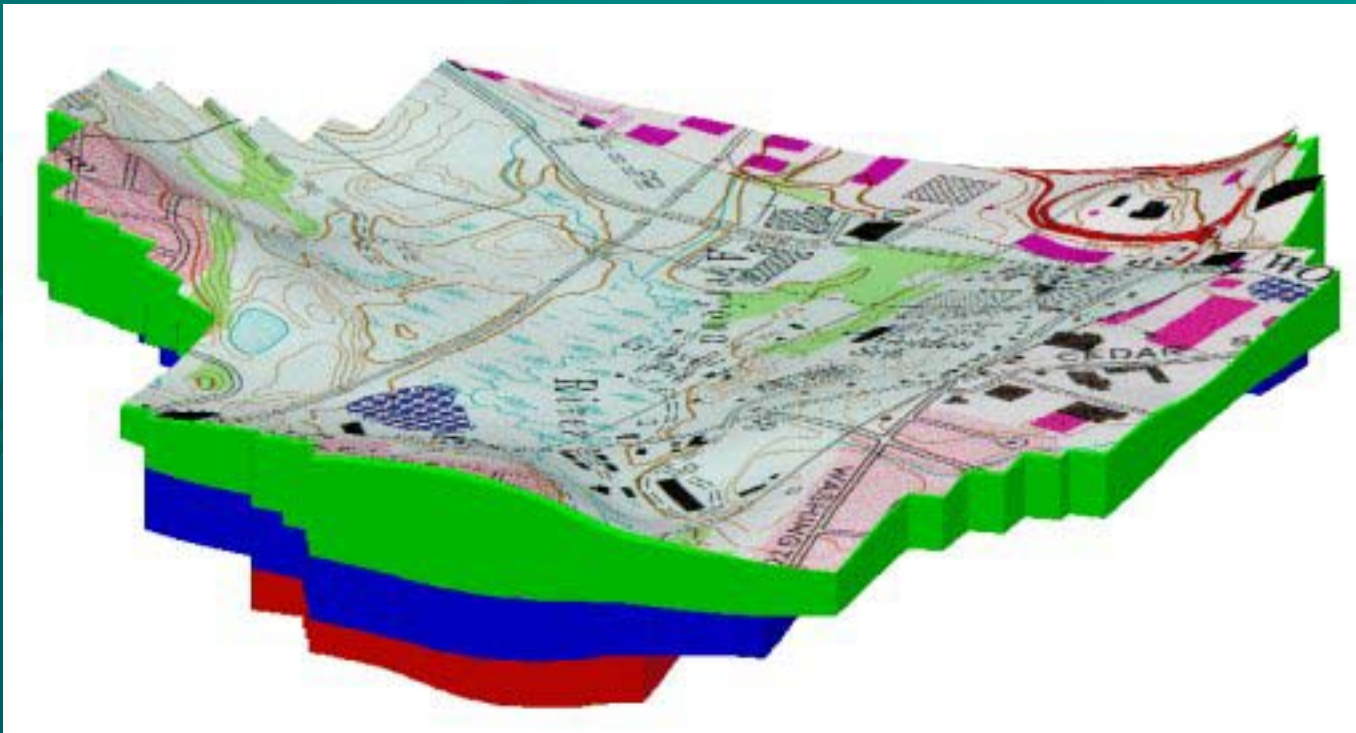
◆ Rembesan di bendungan



Contoh [aplikasi](#)
pers. Laplace

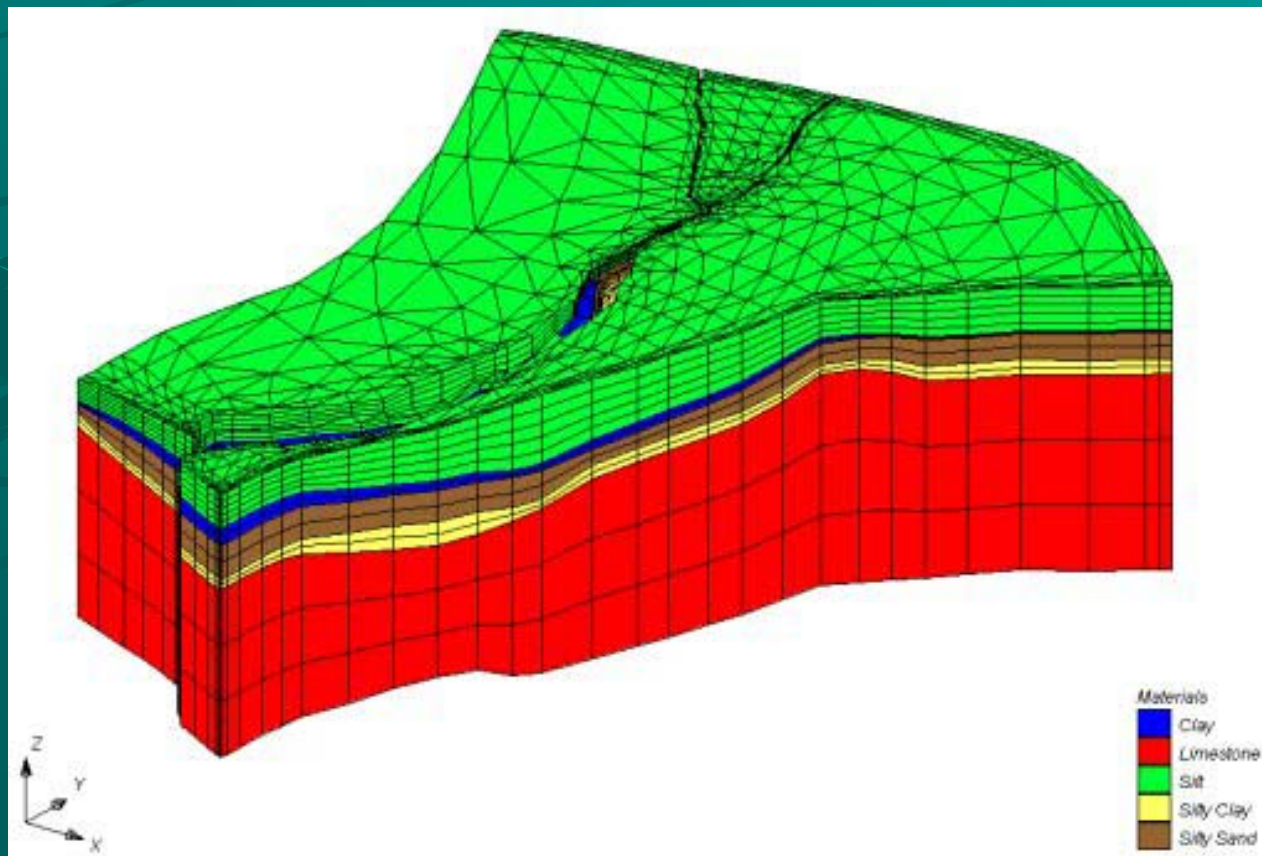
Aplikasi Software GMS

- ◆ Memodelkan aliran air tanah pada suatu kawasan



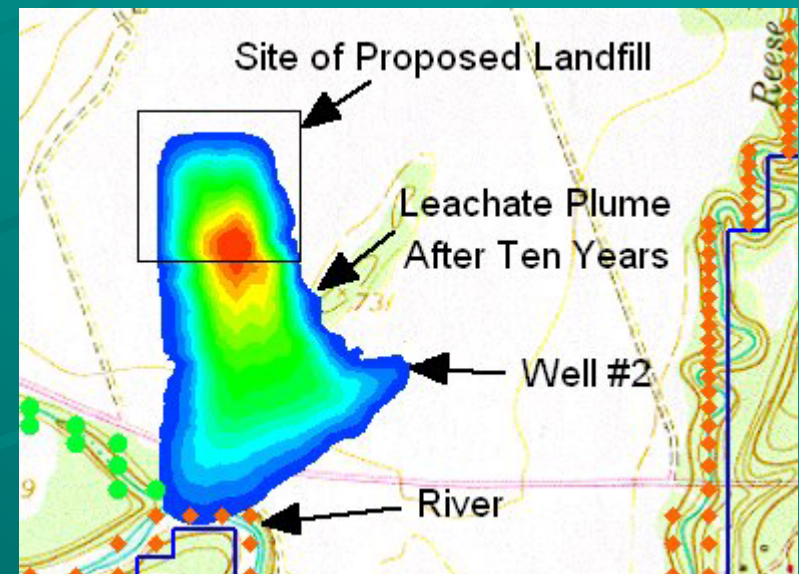
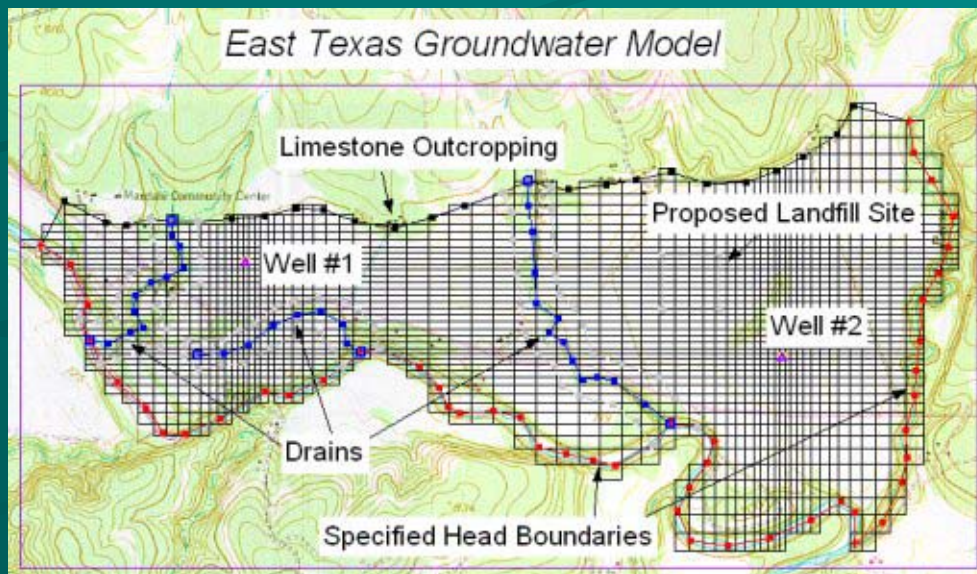
Aplikasi Software GMS

- ◆ Penggunaan metode elemen hingga dalam GMS



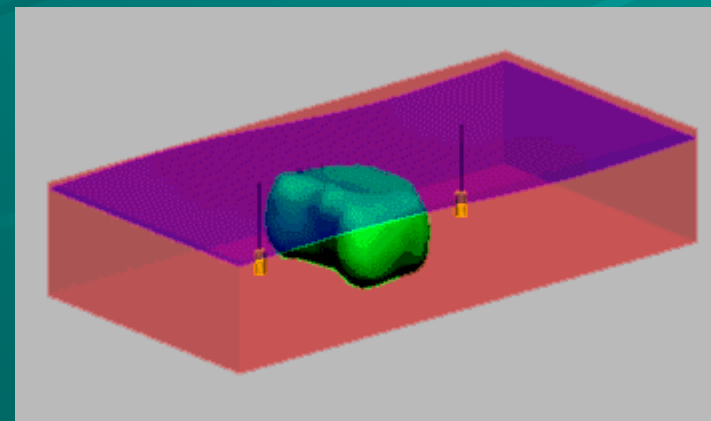
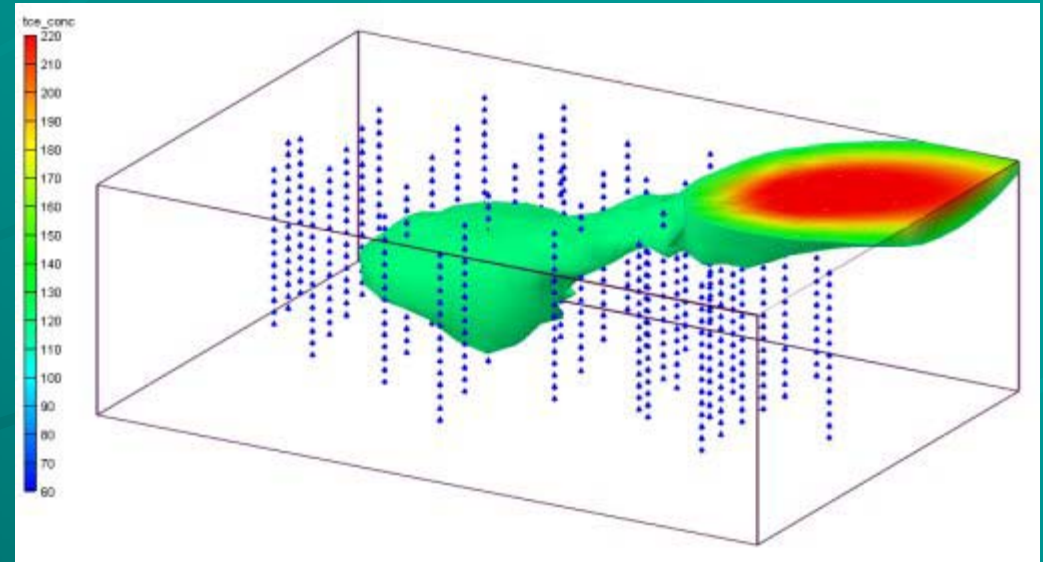
Aplikasi Software GMS

- ◆ Pengaruh Pembuangan Akhir Sampah terhadap air tanah



Aplikasi Software GMS

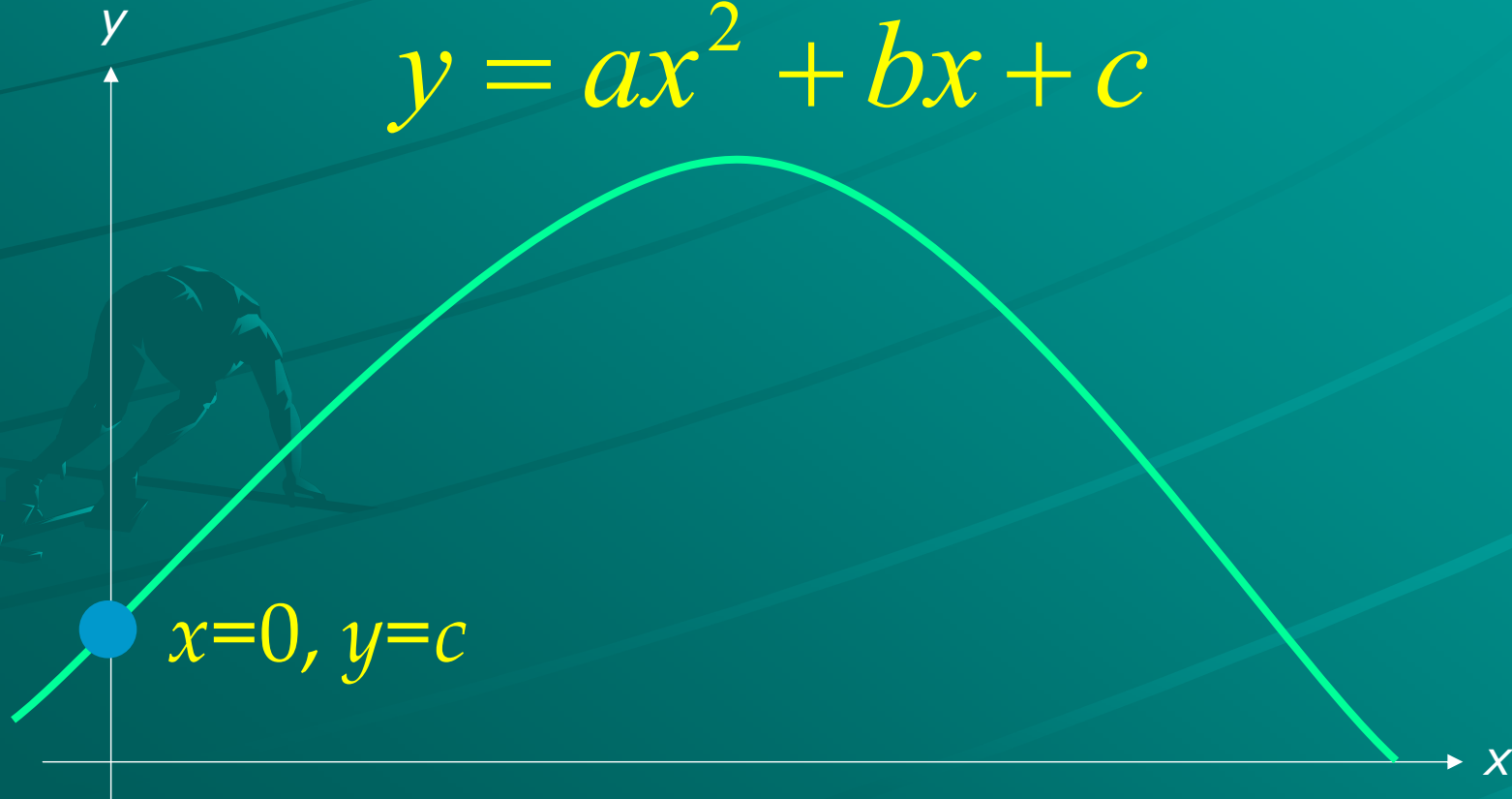
- ◆ Memodelkan sebaran polusi dalam air tanah 3-D (3 dimensi)
- ◆ Animasi gerakan polutan



Penyelesaian Persamaan

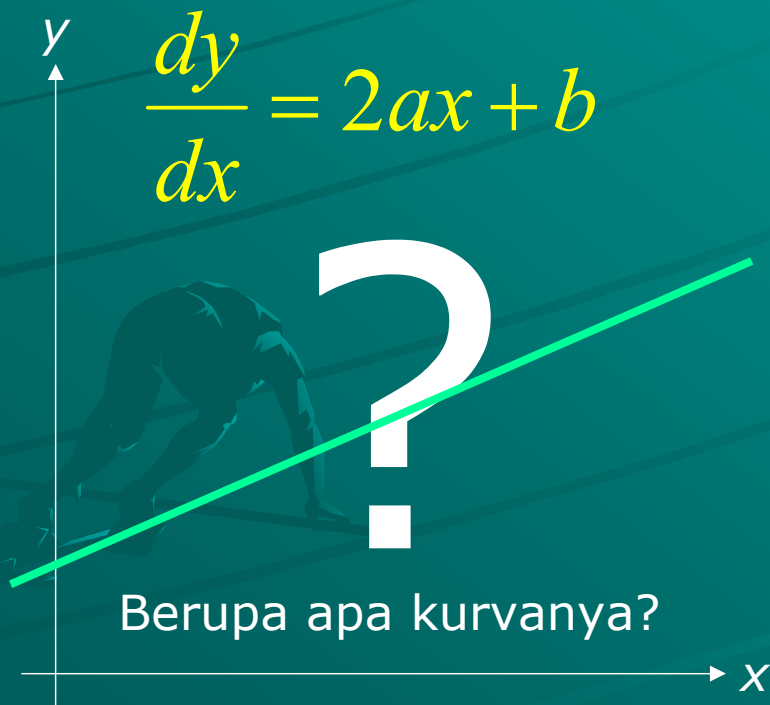
◆ Persamaan Kuadrat

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



Penyelesaian Pers. Differensial

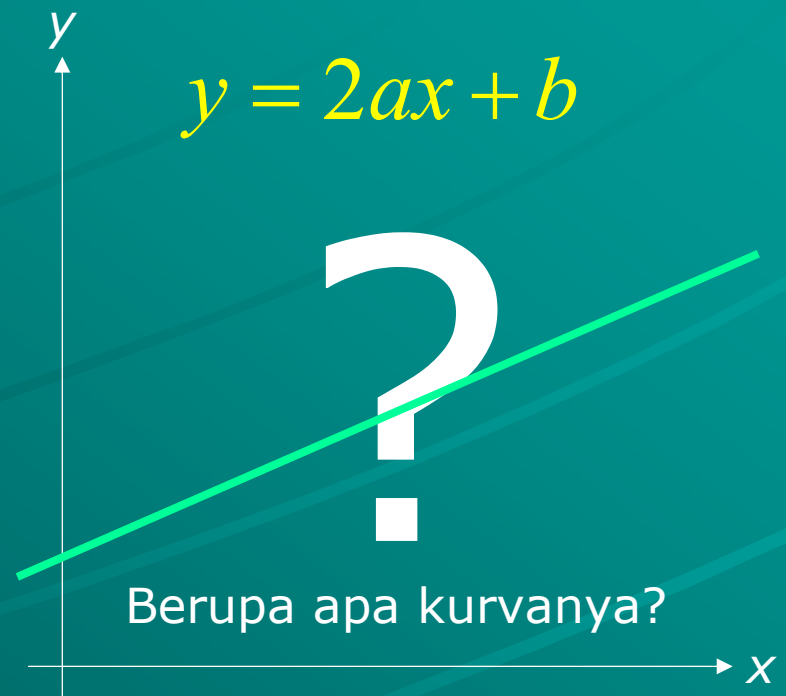
◆ Persamaan Diff O_1



Berupa apa kurvanya?

Apakah linier kurvanya?

◆ Persamaan Linier

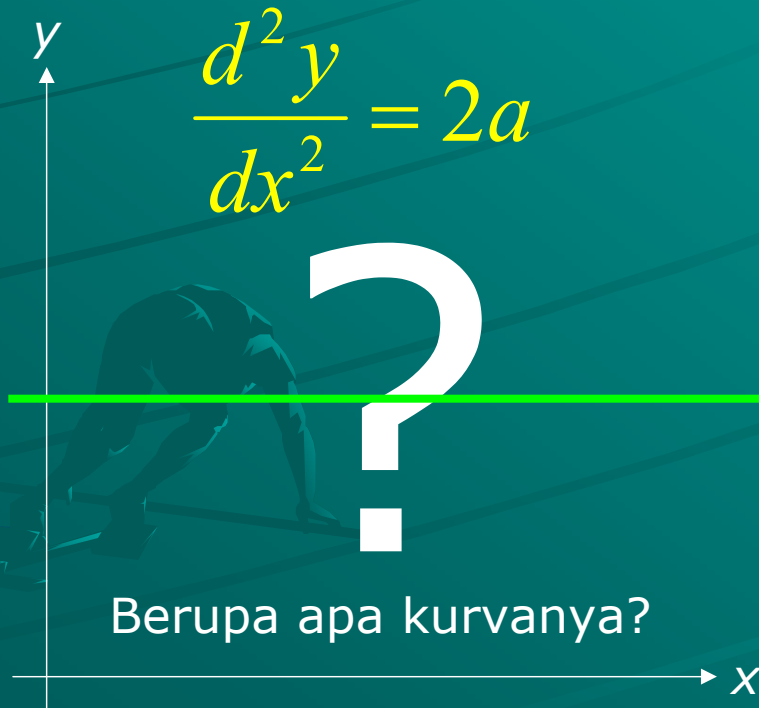


Berupa apa kurvanya?

Jelas linier kurvanya!

Penyelesaian Persamaan

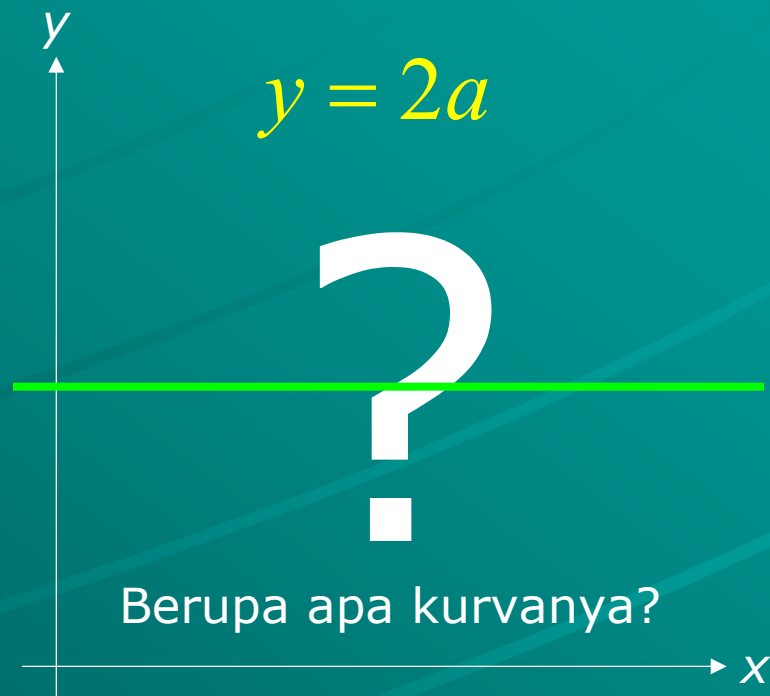
◆ Persamaan Diff O2



Berupa apa kurvanya?

Apakah linier kurvanya?

◆ Persamaan Linier



Berupa apa kurvanya?

Jelas linier kurvanya!

Penyelesaian Pers. Diff O1

◆ Persamaan Diff O1

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

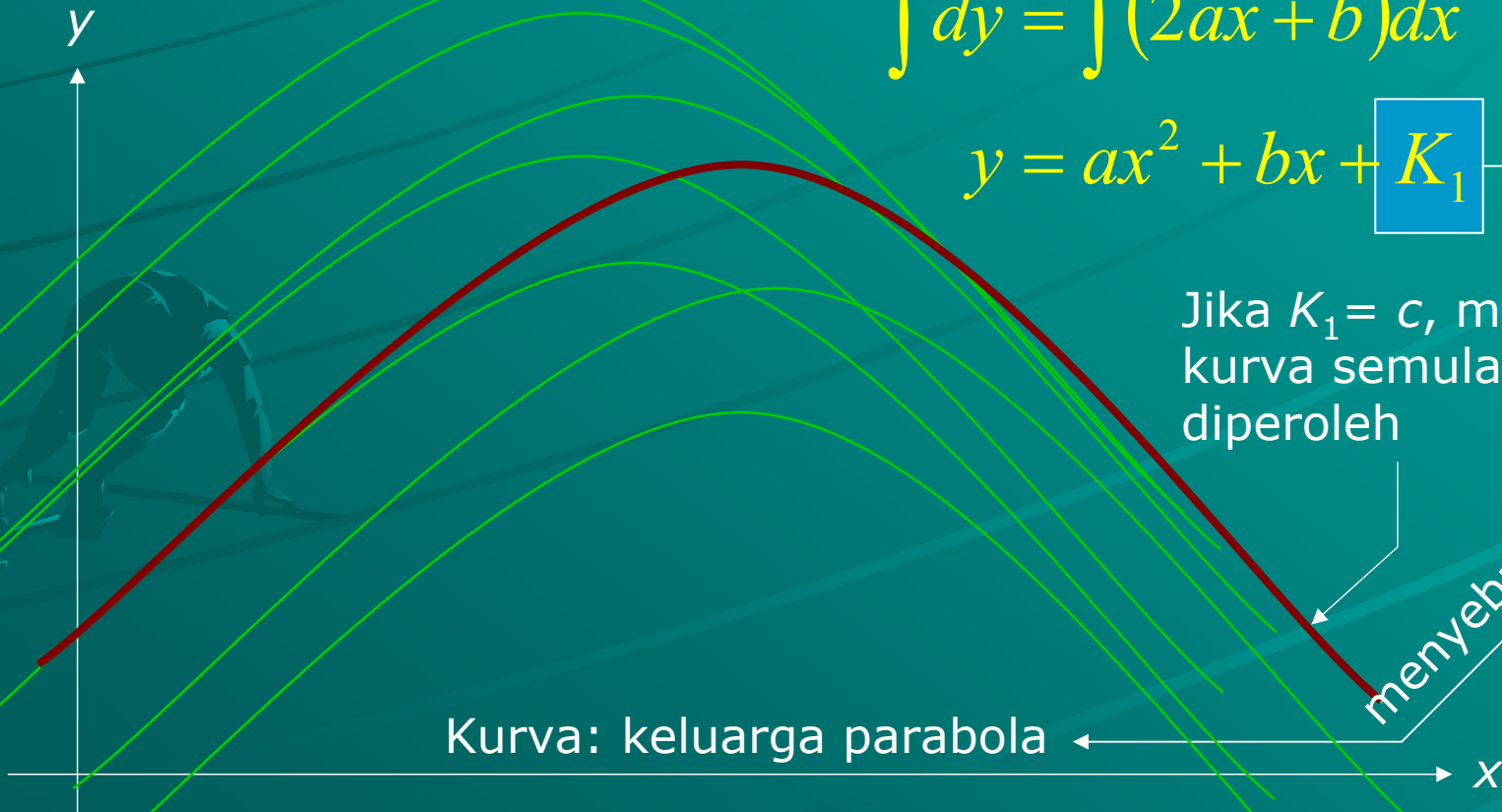
$$\int dy = \int (2ax + b) dx$$

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

Jika $K_1 = c$, maka kurva semula diperoleh

menyebabkan

Kurva: keluarga parabola



Penyelesaian Pers. Diff O2

◆ Persamaan Diff O2

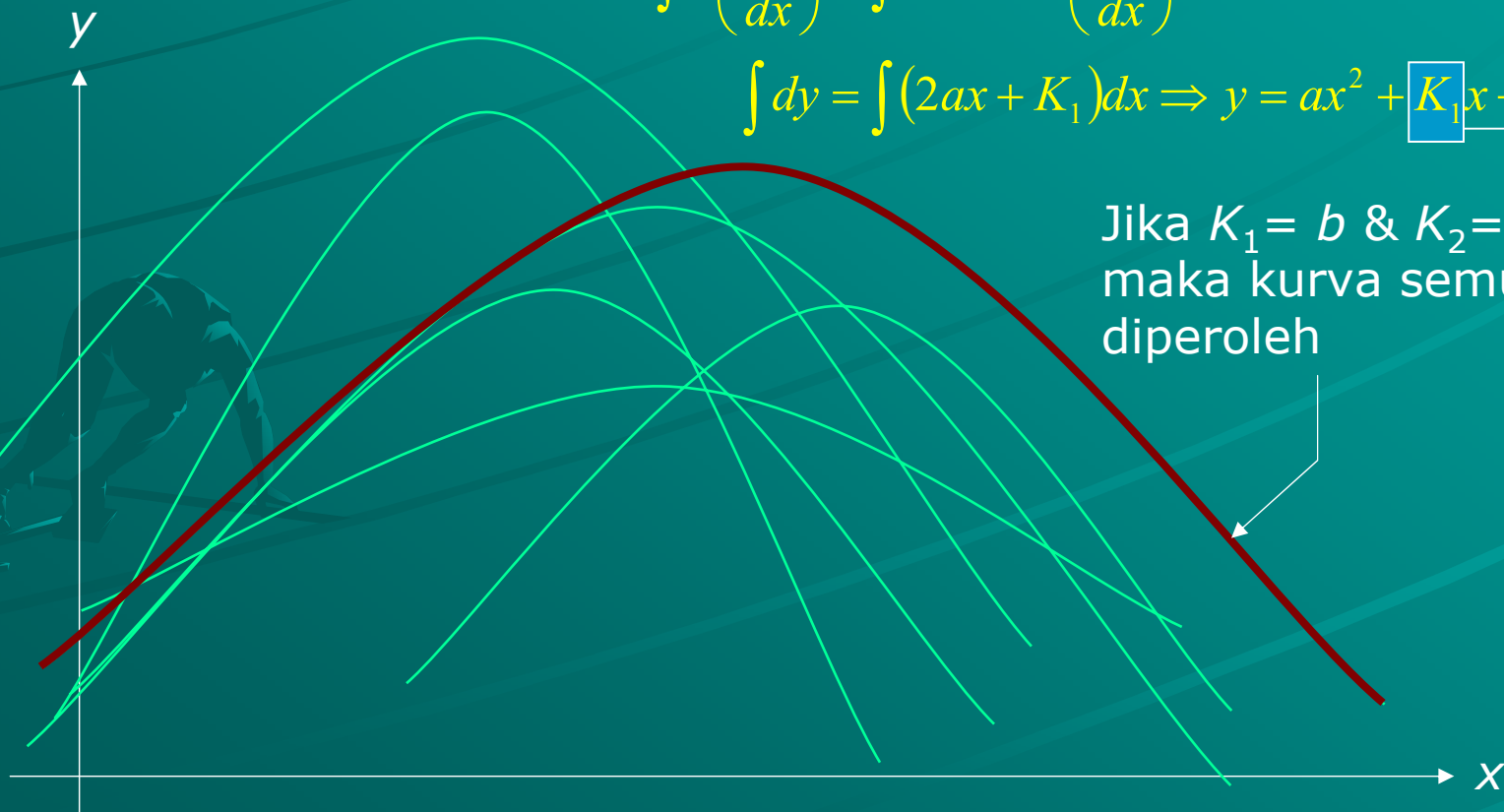
$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a \Rightarrow \frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) = 2a$$

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

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

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

menyebabkan



Kurva: keluarga parabola

Penyelesaian Persamaan Differensial

Penyelesaian persamaan Diff O₂ sbb:

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

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:

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

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

disebut kondisi batas

Kondisi Batas

- ◆ Kondisi batas dalam bentuk akhir:

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

- ◆ Diperoleh dari syarat di depan:

$$K_1 = b \quad \& \quad K_2 = c$$

- ◆ Ingat:

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

Fenomena Alam

- ◆ Fenomena alam kebanyakan dideskripsikan melalui persamaan differensial:

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

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

- ◆ 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

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

Kondisi Batas

