

# AWAL GERAK BUTIR SEDIMEN

August 14

Transpor Sedimen

# Konsep Awal Gerak

2

- ❑ Awal gerak butir sedimen sangat penting dalam kaitannya dengan studi tentang transpor sedimen, degradasi dasar sungai, desain saluran stabil, dsb.
- ❑ Dalam desain saluran stabil, salah satu metode adalah kemiringan dan dimensi saluran dibuat sedemikian hingga aliran tidak menimbulkan erosi di dasar dan tebing saluran.

# Definisi Awal Gerak Butir Sedimen

3

- ❑ Karena pergerakan butir sedimen sangat tidak teratur, maka sangat sulit untuk mendefinisikan dengan pasti sifat atau kondisi aliran yang menyebabkan butir sedimen mulai bergerak → kondisi kritis (awal gerak butir sedimen).
- ❑ Beberapa pendekatan dalam mendefinisikan awal gerak butir sedimen (dikaitkan dengan kondisi aliran):
  - 1) sudah ada satu butir sedimen yang bergerak
  - 2) sejumlah butir sedimen sudah bergerak
  - 3) butir material dasar secara umum sudah bergerak
  - 4) terjadi pergerakan butir sedimen dan awal gerak sedimen adalah situasi saat jumlah transpor sedimen sama dengan nol.

# Definisi Awal Gerak Butir Sedimen

4

- ❑ Pendekatan ke-1 dan ke-2 sangat subyektif, bergantung pada orang yang mengamati pergerakan butir sedimen.
- ❑ Metode ke-3 kurang tepat didefinisikan sebagai awal gerak butir sedimen karena transpor sedimen sudah terjadi di sepanjang dasar saluran.
- ❑ Metode ke-4 barangkali yang dapat dikatakan paling objektif; hanya saja, dibutuhkan pengukuran kuantitas transpor sedimen pada berbagai kondisi aliran yang berbeda untuk selanjutnya dilakukan interpolasi untuk memperoleh kondisi aliran saat kuantitas transpor sedimen sama dengan nol.

# Definisi Awal Gerak Butir Sedimen

5

- ❑ Pendekatan teoritis (lihat berbagai literatur tentang transpor sedimen) untuk menentukan awal gerak butir sedimen didasarkan pada pendekatan:
  - ❑ kecepatan,
  - ❑ gaya angkat, dan
  - ❑ konsep gaya seret (gesek).
- ❑ Namun mengingat bahwa kondisi alami dari pergerakan butir sedimen sangat tidak teratur (random), maka pendekatan dengan teori probabilitas juga sering digunakan.

# Konsep Awal Gerak Butir Sedimen

6

- ❑ Pendekatan kecepatan (*competent velocity*)
  - ❑ Ukuran butir material dasar sungai,  $d$ , dihubungkan dengan kecepatan di dekat dasar atau dengan kecepatan rerata yang menyebabkan pergerakan butir sedimen.
- ❑ Pendekatan gaya angkat (*lift force*)
  - ❑ Diasumsikan bahwa pada saat gaya angkat ke atas akibat aliran (*lift force*) sedikit lebih besar daripada berat butir sedimen di dalam air, maka kondisi awal gerak butir sedimen telah dicapai.
- ❑ Pendekatan tegangan geser kritis
  - ❑ Pendekatan ini didasarkan pada konsep bahwa gaya geser yang bekerja pada aliran dianggap paling berperan terhadap pergerakan butir sedimen.
- ❑ Pendekatan dengan cara lain, diantaranya dengan teori probabilitas.

# Pendekatan Tegangan Geser Kritis

7

- ❑ Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya aliran yang bekerja pada butir sedimen.
  - ❑ Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan/menyeret butir sedimen.
  - ❑ Pada butir sedimen kasar (pasir dan batuan), gaya untuk melawan gaya-gaya aliran tsb merupakan fungsi berat butir sedimen.
  - ❑ Pada butir sedimen halus yang mengandung fraksi lanau (*silt*) atau lempung (*clay*) yang cenderung bersifat kohesif, gaya untuk melawan gaya-gaya aliran lebih disebabkan oleh gaya kohesi daripada berat butir sedimen.
  - ❑ Kohesi butir sedimen halus merupakan fenomena yang kompleks; pengaruh kohesi bervariasi dan bergantung kandungan mineral.
- ❑ Pada kuliah transpor sedimen ini, yang dibahas adalah **Sedimen Non-kohesif**

# Pendekatan Tegangan Geser Kritis

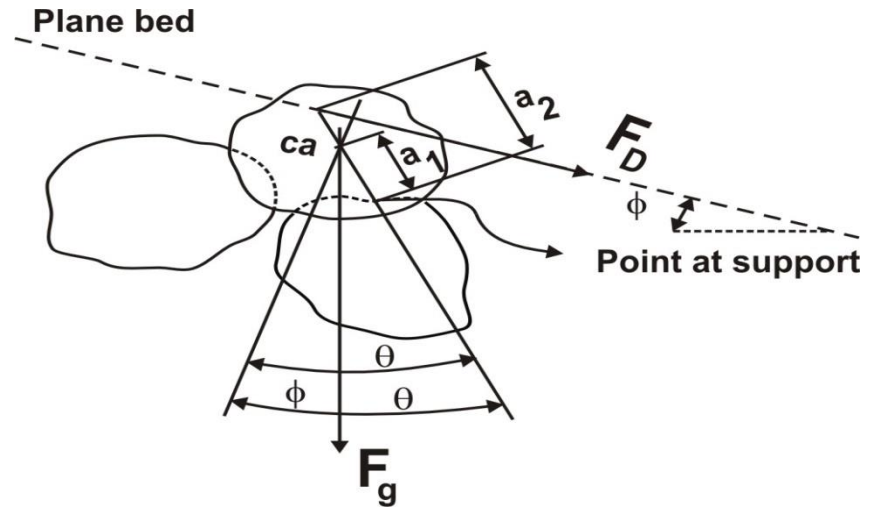
- ❑ Pada waktu gaya-gaya aliran (gaya hidrodinamik) yang bekerja pada butir sedimen mencapai suatu nilai tertentu, yaitu apabila gaya sedikit ditambah maka akan menyebabkan butir sedimen bergerak, maka kondisi ini dinamakan sebagai **kondisi kritis**.
- ❑ Parameter aliran pada kondisi kritis (tegangan geser dasar,  $\tau_o$ , dan kecepatan aliran,  $U$ , mencapai nilai kritis awal gerak sedimen).
  - ❑ Bila gaya-gaya aliran berada di bawah nilai kritisnya, maka butir sedimen tidak bergerak; dasar saluran dikatakan sebagai *rigid bed*.
  - ❑ Bila gaya aliran melebihi nilai kritisnya, butir sedimen bergerak; dasar saluran dikatakan sebagai dsaar bergerak (*movable bed, erodible bed*).



# Awal Gerak Butir Sedimen Non-kohesif

9

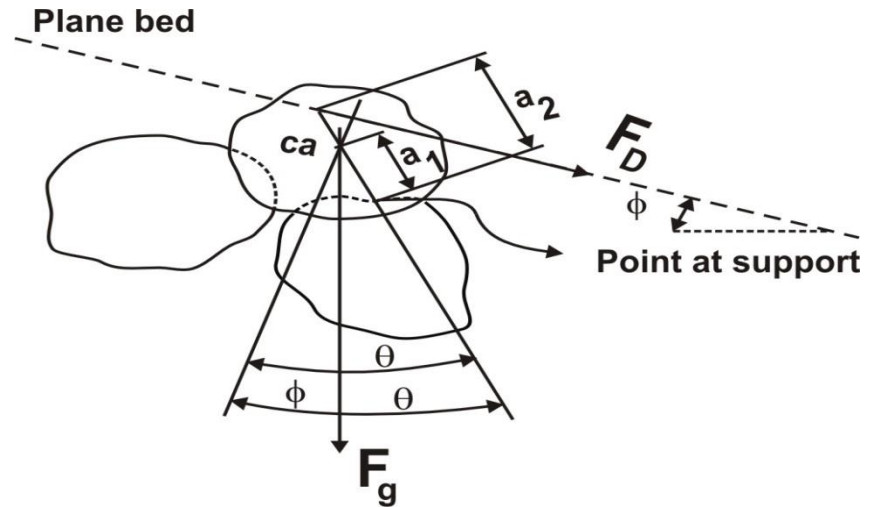
- Gaya-gaya yang bekerja pada suatu butiran sedimen non-kohesif dalam aliran air
  - Gaya berat (*gravity force*)
  - Gaya apung (*buoyancy force*)
  - Gaya angkat (*hydrodynamic lift force*)
  - Gaya seret (*hydrodynamic drag force*)



# Awal Gerak Butir Sedimen Non-kohesif

10

- Gaya-gaya yang bekerja pada suatu butiran sedimen non-kohesif dalam aliran air
  - $F_D$  : gaya seret
  - $F_g$  : gaya berat di dalam air
  - $\phi$  : sudut kemiringan dasar
  - $\theta$  : sudut gesek (longsor) alam (*angle of repose*)
  - $a_1$  : jarak antara pusat berat (CG) sampai titik guling (*point of support*)
  - $a_2$  : jarak antara pusat gaya seret (*drag*) sampai titik guling



# Awal Gerak Butir Sedimen Non-kohesif

11

- ❑ Pada kondisi kritis, butir sedimen hampir bergerak mengguling terhadap titik guling (*point of support*).

- Gaya berat (*gravity force*) di dalam air

$$F_G = C_1 (\gamma_s - \gamma) d_s^3$$

$C_1 d_s^3$  : volume butir sedimen

$d_s$  : diameter signifikan butir sedimen (biasanya ukuran ayakan)

$C_1$  : konstanta untuk konversi volume butir sedimen

- Gaya seret (*drag force*)

$$F_D = C_2 \tau_c d_s^2$$

$C_1 d_s^2$  : luas permukaan efektif butir sedimen yang mengalami tegangan geser kritis,  $\tau_c$

luas efektif adalah luas proyeksi butir pada bidang yang tegak lurus arah aliran

# Awal Gerak Butir Sedimen Non-kohesif

12

- Pada saat dicapai kondisi kritis

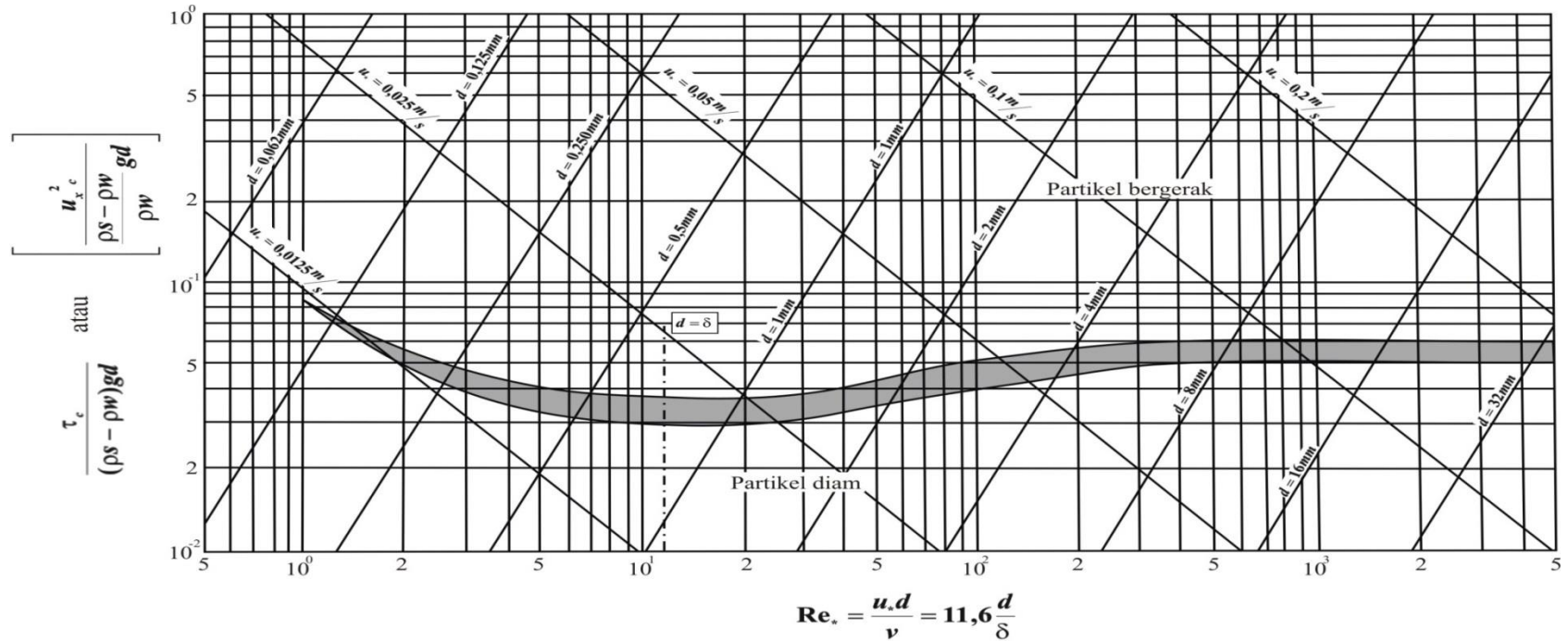
momen gaya berat butir sedimen = momen gaya seret

jarak  $\hat{F}_G = F_D$  jarak

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)d_s} = \frac{\rho u_{*c}^2}{\gamma'_s d_s} = f\left(\frac{u_{*c}^2 d_s}{\nu}\right) = f(\text{Re}_*)$$

# Diagram Shields

13



# Contoh Hitungan

14

- ❑ Diketahui suatu saluran dengan karakteristik sbb.
  - ❑ kedalaman aliran  $h = 3$  m
  - ❑ kemiringan dasar saluran,  $S_o = 10^{-4}$
  - ❑ butir material dasar seragam  $d = 2$  mm dan rapat massa  $\rho_s = 2650$  kg/m<sup>3</sup>
  - ❑ air  $T = 12^\circ\text{C}$ ,  $\rho_w = 1000$  kg/m<sup>3</sup>,  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>
- ❑ Hitunglah
  - ❑ kestabilan butir material dasar
  - ❑ kestabilan butir dengan berdasarkan nilai-nilai tegangan geser di dasar, tegangan geser kritis, kecepatan geser kritis, Angka Reynold butir sedimen kritis
  - ❑  $\rho_s = 3000$  kg/m<sup>3</sup> dan  $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $\rho_w$  konstan, berapakah  $\tau_c$  dan  $Re_{*c}$


❑ Kestabilan butir material dasar

$$T_{\text{air}} = 12^\circ\text{C} \rightarrow \nu_{\text{air}} = 1.25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$  Seluruh bagian Diagram Shields berlaku

$$u_* = \sqrt{ghS_o} = \sqrt{9.81 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 0.0542 \text{ m/s}$$

$d = 2 \text{ mm}$

Diagram Shields  1  
 $\supset$  butir sedimen bergerak (tidak stabil)

❑ Kestabilan butir material dasar berdasarkan tegangan geser

$d = 2 \text{ mm} \rightarrow$  dari Diagram Shields diperoleh:  $\frac{t_c}{(\rho_s - \rho)gd} = 0.04$   2

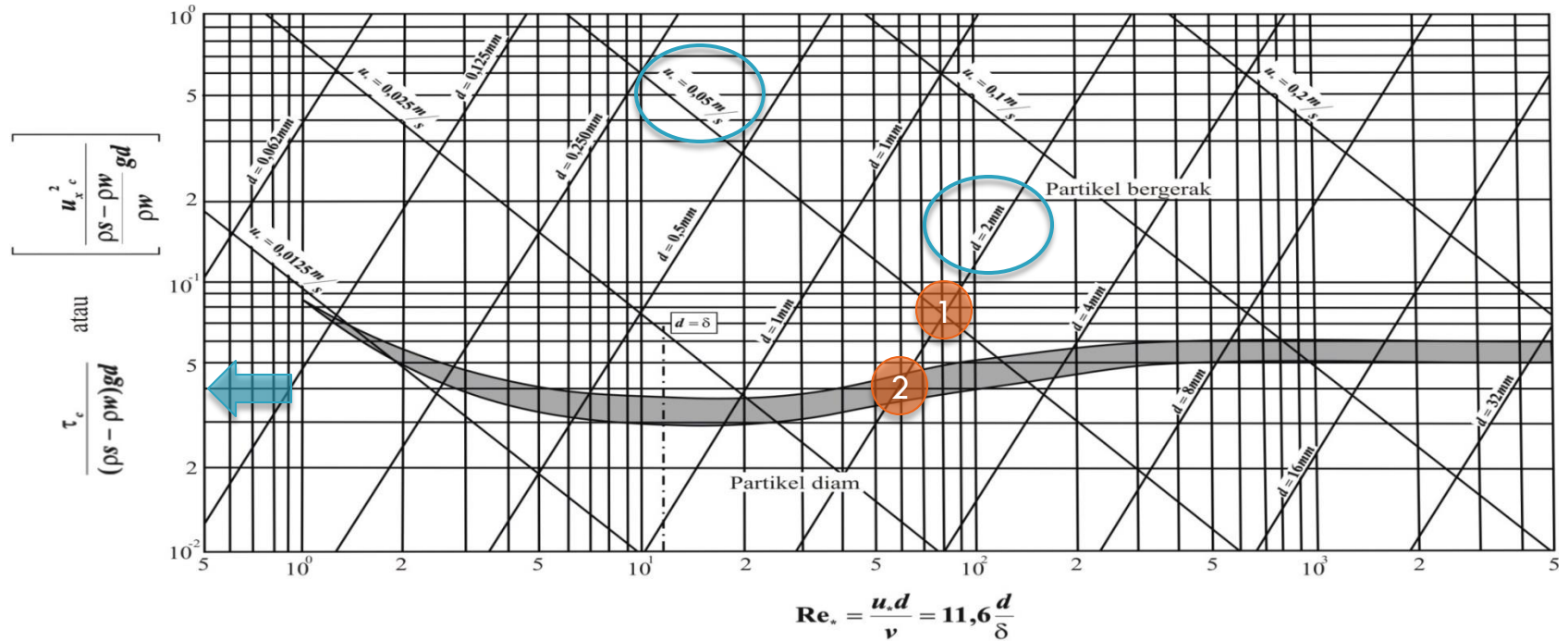
$$t_c = 0.04 \cdot (2650 - 1000) \cdot 9.81 \cdot 0.002 = 1.294 \text{ N/m}^2$$

$$t_o = \rho ghS_o = 1000 \cdot 9.81 \cdot 3 \cdot 0.0004 = 2.94 \text{ N/m}^2$$

$t_o > t_c$   
 $\supset$  butir sedimen bergerak

# Diagram Shields

16





- Kestabilan butir material dasar berdasarkan kecepatan gesek (*friction velocity*)

$$\frac{(u_{*c})^2}{Dgd} = 0.04; \quad D = \frac{r_s - r}{r} = \frac{2650 - 1000}{1000} = 1.65$$

$$u_{*c} = \sqrt{0.04 \cdot 1.65 \cdot 9.81 \cdot 0.002} = 0.036 \text{ m/s}$$

Dari data aliran, telah dihitung:

$$u_* = \sqrt{ghS_o} = \sqrt{9.81 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 0.0542 \text{ m/s}$$

}  $u_* > u_{*c}$  ∴ butir sedimen bergerak

$$Re_{*c} = \frac{u_* d}{\nu} = \frac{0.036 \cdot 0.002}{1.25 \cdot 10^{-6}} = 57.6$$

## □ Tegangan geser kritis dan Angka Reynolds

$$r_s = 3000 \text{ kg/m}^3$$

$$r_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{\text{air}} = 20^\circ\text{C} \quad \nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$d = 2 \text{ mm} \quad \nu \quad \text{Diagram Shields: } \frac{t_c}{(r_s - r_w)gd} = 0.04 \quad \rightarrow \quad 2$$

$$t_c = 0.04 \cdot (3000 - 1000) \cdot 9.81 \cdot 0.002 = 1.57 \text{ N/m}^2$$

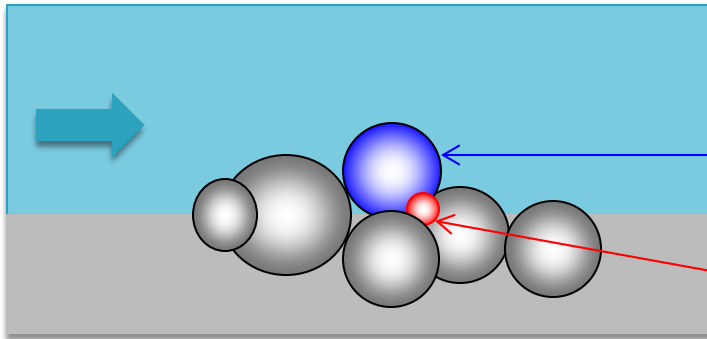
$$u_{*c} = \sqrt{\frac{t_c}{r_w}} = \sqrt{\frac{1.57}{1000}} = 0.0396$$

$$\text{Re}_{*c} = \frac{u_{*c} d}{\nu} = \frac{0.0396 \cdot 0.002}{10^{-6}} = 79.2$$

# Gradasi Butir Sedimen Beragam

19

- ❑ Material dasar terdiri dari campuran berbagai ukuran butir sedimen



- butir besar terpapar dan bergerak karena pengaruh kecepatan aliran
- butir kecil terlindungi (terkunci) oleh butir berukuran besar

# Gradasi Butir Sedimen Beragam

## ❑ Persamaan Egiazaroff (1965)

$$\frac{u_{*ci}^2}{u_{*cm}^2} = \frac{1.64}{\log \frac{d_i}{d_m}} \frac{d_i}{d_m} \quad \text{dan} \quad \frac{(u_{*cm})^2}{\frac{s}{r} - 1} = 0.05 \quad \frac{(u_{*cm})^2}{\frac{s}{r}} = 0.05$$

$u_{*ci}$  : kecepatan geser kritis untuk butir sedimen berdiameter  $d_i$

$u_{*cm}$  : kecepatan geser kritis untuk butir sedimen berdiameter  $d_m$

## ❑ Persamaan Ashida and Michiue (1971)

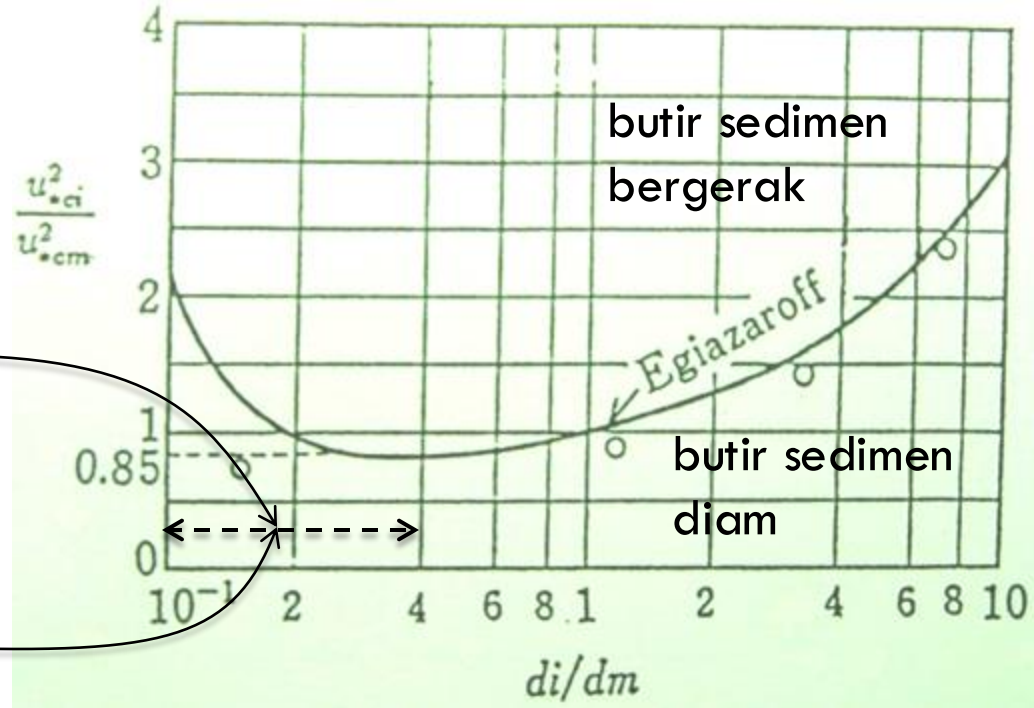
$$\frac{(u_{*ci})^2}{(u_{*cm})^2} = 0.85 \quad (d_i \leq 0.4d_m)$$

# Gradasi Butir Sedimen Beragam

21

di kisaran ini, Persamaan Egiazaroff overestimates

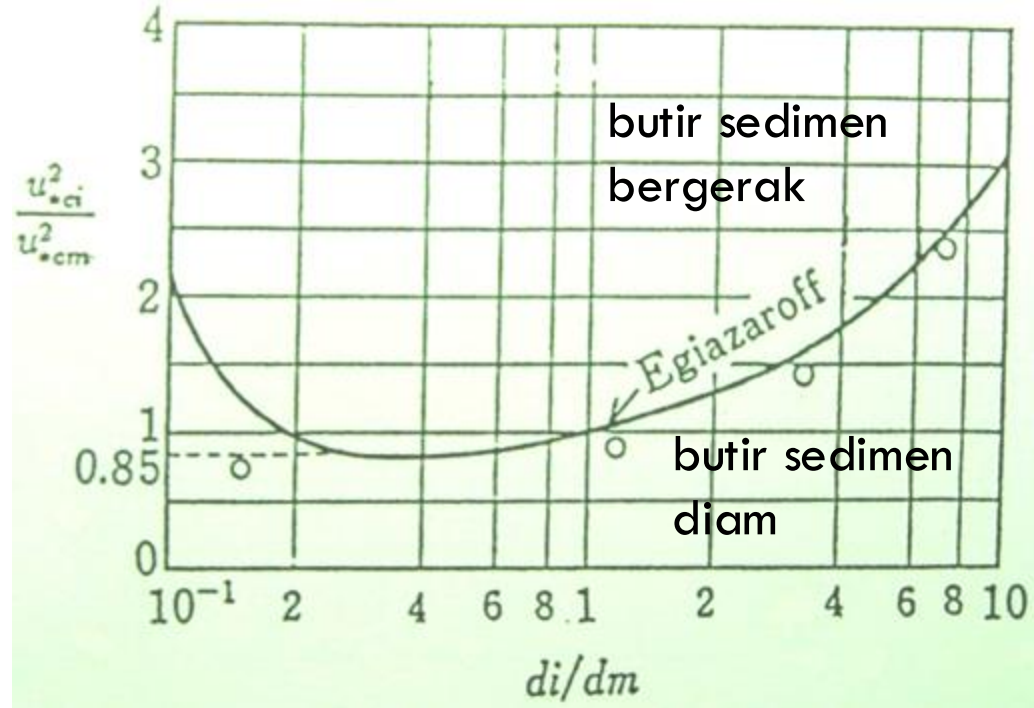
di kisaran ini, dipakai Persamaan Ashida and Michiue



# Gradasi Butir Sedimen Beragam

22

Jika butir sedimen berdiameter  $d_i = d_m$  tidak bergerak, maka butir sedimen berdiameter  $d_i < d_m$  tidak dapat bergerak → efek *sheltering*.



# Contoh Hitungan

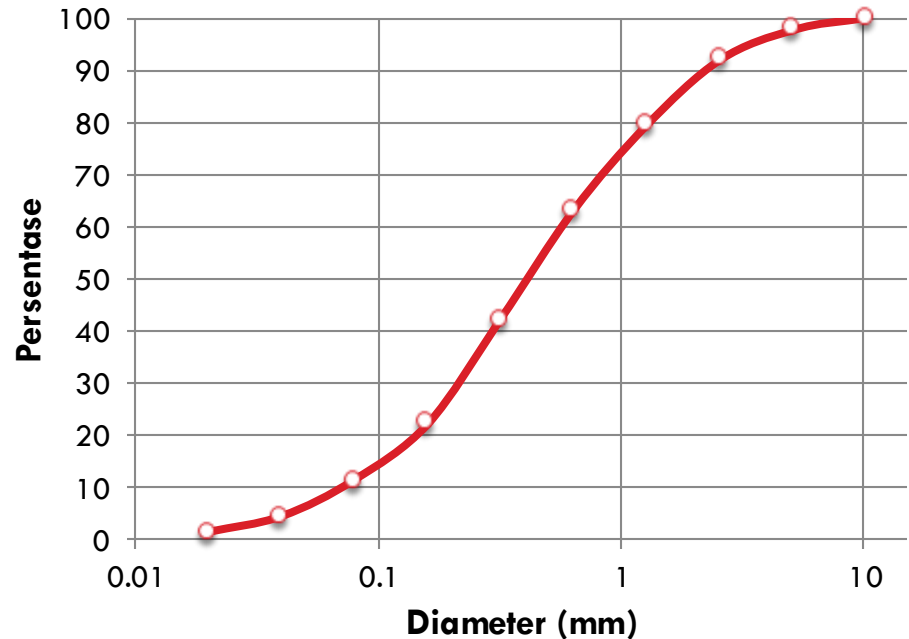
23

- ❑ Diketahui
  - ❑ gradasi butir material dasar sungai (tabel pada slide berikutnya)
  - ❑ *specific gravity* butir sedimen 2.65
  - ❑ kedalaman aliran 1.5 m
  - ❑ kemiringan garis energi 1/1600
- ❑ Cari ukuran butir sedimen yang bergerak
  - ❑ asumsi tegangan geser kritis:  $t_{*cm} = 0.05$

# Gradasi Ukuran Butir Sedimen

24

Diameter (mm)	Persentase
0.01 – 0.02	1.3
0.02 – 0.04	3.0
0.04 – 0.08	7.0
0.08 – 0.16	10.9
0.16 – 0.32	19.8
0.32 – 0.64	21.2
0.64 – 1.28	16.3
1.28 – 2.56	12.7
2.56 – 5.12	5.8
5.12 – 10.24	2.0
$\Sigma$	100.0





Diameter (cm)	Persentase	Dia. representatif $d_i$ (cm)	$d_i / d_m$	$(u_{*ci} / u_{*cm})^2$	$u_{*ci}$ (cm/s)	$u_{*ci,uniform}$ (cm/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
0.01 – 0.02	1.3	0.01	0.0164	0.85	7.81	1.12
0.02 – 0.04	3.0	0.03	0.0328	0.85	7.81	1.29
0.04 – 0.08	7.0	0.06	0.0655	0.85	7.81	1.71
0.08 – 0.16	10.9	0.11	0.1311	0.85	7.81	2.34
0.16 – 0.32	19.8	0.23	0.2621	0.85	7.81	3.87
0.32 – 0.64	21.2	0.45	0.5243	0.86	7.87	5.77
0.64 – 1.28	16.3	0.91	1.0485	1.02	8.55	8.56
1.28 – 2.56	12.7	1.81	2.0971	1.34	9.82	12.10
2.56 – 5.12	5.8	3.62	4.1941	1.90	11.68	17.12
5.12 – 10.24	2.0	7.24	8.3719	2.83	14.26	24.18

Kolom 3	diameter representatif, $d_i = \sqrt{d_{il} \cdot d_{iu}}$
Kolom 4	$d_i/d_m$ ; $d_m = \bar{d}(f_i \cdot d_i) = 0.86 \text{ cm}$
Kolom 5	$\frac{u_{*ci}^2}{u_{*cm}^2} = 0.85 \text{ untuk } d_i \in 0.4d_m, \frac{u_{*ci}^2}{u_{*cm}^2} = \frac{1.64}{(\log 19 d_i/d_m)^2} \frac{d_i}{d_m}$ $t_{*cm} = \frac{(u_{*cm})^2}{(s/r - 1)gd_m} = 0.05 \quad \text{D} \quad u_{*cm} = 8.47 \text{ m/s}$
Kolom 6	cukup jelas
Kolom 7	Diagram Shields

Terima kasih