

BEDLOAD

17-May-14

Transpor Sedimen

Transpor Sedimen

2

- ❑ Persamaan transpor sedimen yang ada di HEC-RAS
 - ❑ Ackers and White (total load)
 - ❑ Engelund and Hansen
 - ❑ Laursen (total load)
 - ❑ Meyer-Peter and Müller
 - ❑ Toffaleti
 - ❑ Yang
- ❑ Beberapa persamaan transpor sedimen yang juga lazim dijumpai
 - ❑ Einstein
 - ❑ Frijlink
 - ❑ Graf and Acaroglu (total load)

Transpor Sedimen Dasar (Bedload Transport)

3

- ❑ Kasus yang dibahas
 - ❑ Sungai (saluran) yang memiliki dasar rata dan terdiri dari material padat yang dapat bergerak, bersifat non-kohesif, serta berdiameter seragam
 - ❑ Butir sedimen tersebut bergerak akibat gaya yang ditimbulkan oleh aliran seragam dan permanen
- ❑ Kasus di atas adalah penyederhanaan dari kasus sesungguhnya yang dijumpai di lapangan
 - ❑ Dasar sungai tidak rata, memiliki konfigurasi (bentuk) dasar bergelombang (ripples, dunes, anti-dunes)
 - ❑ Material dasar sungai terdiri dari butir sedimen berbagai ukuran (tak-seragam) dan mungkin saja bersifat kohesif

Transpor Sedimen Dasar (Bedload Transport)

4

□ Transpor sedimen

$$\Phi = \frac{q_{sb}}{\sqrt{(s_s - 1) g d^3}}$$

debit sedimen (bedload) per satuan lebar sungai [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$]
kadang pula dituliskan dalam satuan [m^2/s]

diameter butir sedimen [m]
percepatan gravitasi [m/s^2]
rapat masa relatif $s_s = \rho_s / \rho$

intensitas (debit) transpor sedimen dasar [tak berdimensi]

Ingat diameter butir sedimen, d ,
lazim dinyatakan dalam satuan [mm]
→ perlu diubah dulu menjadi [m].

Transpor Sedimen Dasar (Bedload Transport)

5


□ Transpor sedimen

$$\Phi = f(\tau_*) \Leftrightarrow \frac{q_{sb}}{\sqrt{(s_s - 1)gd^3}} = f\left(\frac{\tau_b}{(\gamma_s - \gamma)d}\right)$$

Persamaan di atas sering dituliskan sbb.:

$$\Phi = f(\Psi) \quad \rightarrow \quad \tau_* \equiv \Psi^{-1}$$

Ψ dikenal sebagai intensitas tegangan geser [tak berdimensi]

 intensitas transpor sedimen merupakan fungsi intensitas tegangan geser

Transpor Sedimen Dasar (Bedload Transport)

6

□ Transpor sedimen

$\Phi = f(\tau_*)$ ■ sering kali dinyatakan dalam bentuk *power law*: $\Phi = \alpha (\tau_*)^\beta$

■ karena $\frac{U}{\sqrt{\tau_b/\rho}} = \sqrt{\frac{8}{f}}$

■ maka $U^2 \propto \tau_b \propto \tau_*$

■ oleh karena itu, persamaan ini dapat didekati dengan:

$$q_{sb} = \alpha_s U^{b_s} \quad \leftarrow \quad \alpha_s = \alpha, \quad b_s = 2\beta$$

Schoklitsch (1934, 1950)

7

$$q_{sb} = \frac{2.5}{s_s} s_e^{3/2} (q - q_{cr})$$

$[m^3/s/m]$ debit (air) kritis $\rightarrow q_{cr} = 0.26 (s_s - 1)^{5/3} \frac{d^{3/2}}{s_e^{7/6}}$

- Persamaan Schoklitsch berlaku untuk
 - diameter butir $d > 6$ mm
 - butir seragam
 - untuk butir tak-seragam, $d = d_{40}$
 - kemiringan dasar sungai sedang sampai curam

Meyer-Peter and Müller (1934, 1948)

8

$$0.25 \rho^{1/3} \frac{(g'_{sb})^{2/3}}{(\gamma_s - \gamma) d} = \frac{\gamma R_{hb} \xi_M S_e}{(\gamma_s - \gamma) d} - 0.047$$

$$g'_{sb} = \frac{g_{sb} (\gamma_s - \gamma)}{\gamma_s} \quad \text{dan} \quad \frac{g_{sb}}{\gamma_s} = q_{sb}$$



- debit sedimen dinyatakan dalam bobot terendam [kg/s/m]
- R_{hb} adalah radius hidraulik dasar sungai
- $d = d_{50}$ untuk butir tak-seragam

$$[m^3/s/m]$$



$$\Phi = 8 \left(\xi_M \tau_* - \tau_{*cr} \right)^{3/2}$$

$$\xi_M = \left(\frac{K_S}{K'_S} \right)^{3/2}$$



parameter
kekasaran dasar

$$K_S = \frac{U}{R_{hb}^{2/3} S_e^{1/2}}$$



$K_{Strickler}$ total

$$K'_S = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$



$K_{Strickler}$ butir sed.

17-May-14

Meyer-Peter and Müller (1934, 1948)

9

- Persamaan M-P&M dapat pula dituliskan dalam bentuk sbb.

$$0.25 \rho^{1/3} (g'_{sb})^{2/3} = \gamma R_{hb} \xi_M S_e - 0.047 (\gamma_s - \gamma) d$$

$$\xi_M = \left(\frac{C}{C_{d90}} \right)^{3/2}$$



parameter
kekasaran dasar

$$C = \frac{U}{R_{hb}^{1/2} S_e^{1/2}}$$



C_{Chezy}

$$C_{d90} = 18 \log \left(\frac{12 R_h}{d_{90}} \right)$$



C_{Chezy} butir sed.

$$g'_{sb} = \frac{g_{sb} (\gamma_s - \gamma)}{\gamma_s}$$



[kg/s/m]

$$\frac{g_{sb}}{\gamma_s} = q_{sb}$$



[m³/s/m]

Meyer-Peter and Müller (1934, 1948)

10

■ Persamaan M-P&M

- diameter butir $d > 2$ mm
- butir seragam maupun tak-seragam
- kemiringan dasar sungai sedang sampai curam
- apabila dasar sungai rata, tanpa *bed-form*, $\xi_M = 1$
- apabila dasar sungai tidak rata, ada *bed-form*, $0.35 < \xi_M < 1$

Einstein (1950)

$$\Psi^* = \zeta_H \zeta_P \left(\beta^2 / \beta_\chi^2 \right) \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d}{R'_{hb} S_e}$$

↓
intensitas aliran

$\beta = \log(10.6)$

$\beta_\chi = \log(10.6 X / \Delta)$

$X = \begin{cases} 0.77 \Delta & \Delta / \delta > 1.8 \\ 1.39 \delta & \Delta / \delta < 1.8 \end{cases}$

$\Delta = f(k_s / \delta) \Rightarrow \Delta = k_s / \chi$

$\delta = 11.5 \nu / u'_*$

vs

$$\Phi^* = \frac{q_{sb} \quad [m^3/s/m]}{\sqrt{(s'_s - 1) g d^3}}$$

↓
intensitas transpor sedimen

radius hidraulik butir sedimen

➔ Grafik

$d = d_{35}$

Jika butir sedimen seragam

$\zeta_H = 1, \zeta_P = 1, \left(\beta^2 / \beta_\chi^2 \right) = 1$

17-May-14

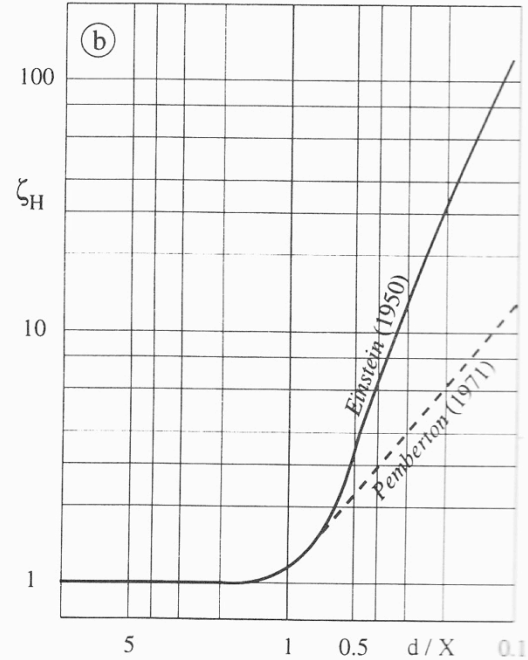
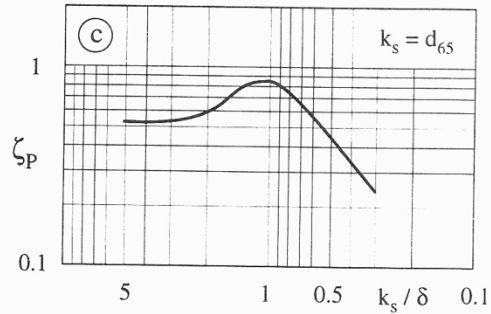
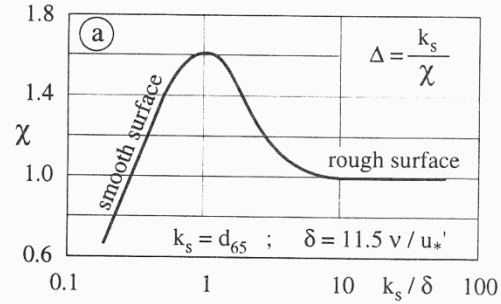


Fig. 6.7 Correction coefficients : (a) of velocity distribution, (b) of hiding and (c) of lift force (see Graf, 1971, p. 146).

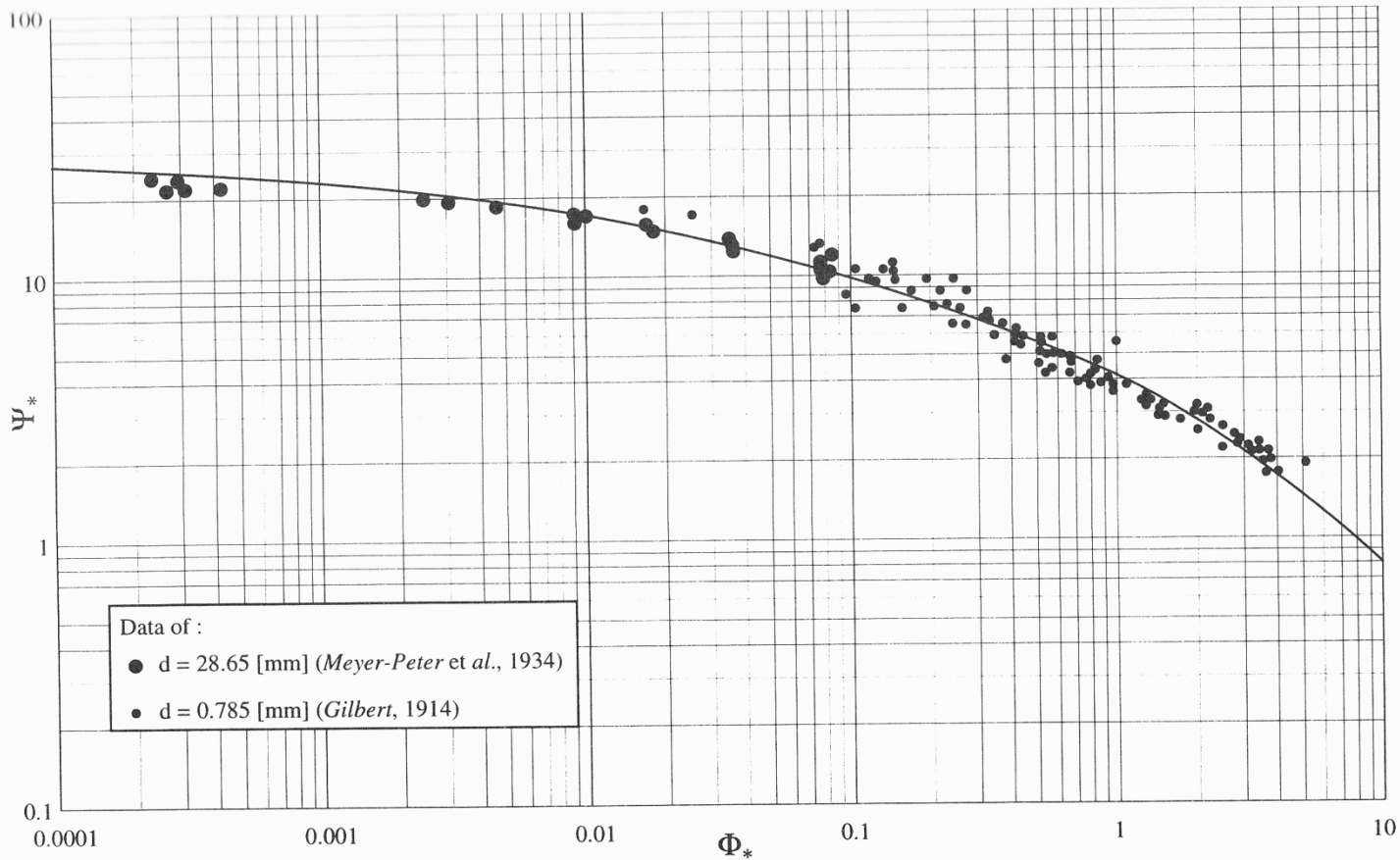


Fig. 6.8 Equation of bed load, $\Phi_* = f(\Psi_*)$, of Einstein (see Graf, 1971, p. 148).

Engelund and Hansen

14

$$q_{sb} = 0.05 \gamma_s U^2 \sqrt{\frac{d}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}} \left[\frac{\tau_b}{(\gamma_s - \gamma) d} \right]^{3/2}$$



[m³/s/m]

$$d = d_{50}$$

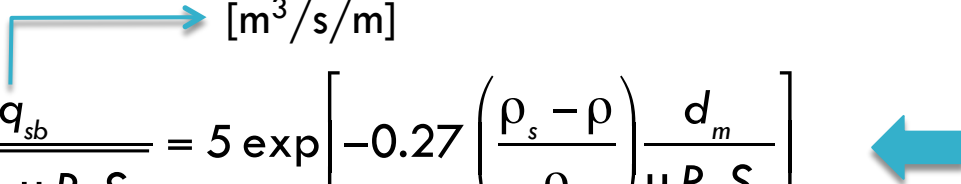
$$\tau_b = \rho g R_h S_e$$

$$q_{sb} = 0.05 \rho_s g U^2 \sqrt{\frac{d}{(s_s - 1) g}} \left[\frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) g d} \right]^{3/2}$$

Frijlink (1952)

15

$$\frac{q_{sb}}{d_m \sqrt{g \mu R_h S_e}} = 5 \exp \left[-0.27 \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \frac{d_m}{\mu R_h S_e} \right] \quad \leftarrow \Phi^* = f(\Psi^*) \quad \text{Grafik}$$



$$\mu = \xi_M = \left(\frac{C}{C_{d90}} \right)^{3/2} = \frac{\left[18 \log \left(\frac{12R_h}{k_s} \right) \right]^{3/2}}{\left[18 \log \left(\frac{12R_h}{d_{90}} \right) \right]^{3/2}}$$

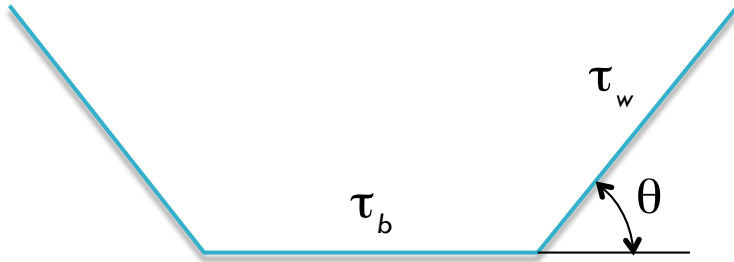
μ adalah *ripple factor*

C adalah koefisien kekasaran dasar Chezy sesungguhnya (butir sedimen + bentuk dasar sungai)

C_{d90} adalah koefisien kekasaran dasar Chezy menurut butir sedimen saja (d_{90})

Tegangan Geser di Tebing Sungai

16



Tegangan geser pada awal gerak butir sedimen

$$\frac{\tau_w}{\tau_b} = \cos \theta \left(1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi} \right)$$

ϕ *internal angle of repose*

Kecepatan Jatuh Butir Sedimen

17

$$\text{Re} = \frac{w d}{\nu} < 1 \quad \Rightarrow \quad w = \frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho}{\mu} g d^2 \quad \Rightarrow \quad C_D = \frac{24}{\text{Re}}$$

$$\text{Re} = \frac{w d}{\nu} > 1 \quad \Rightarrow \quad w = \frac{4}{3} \frac{g d}{C_D} \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \quad \Rightarrow \quad C_D \rightarrow \text{Grafik S-2}$$

Grafik S-1 \rightarrow kecepatan jatuh vs diameter butir sedimen
butir berbentuk bola dengan berbagai nilai temperatur air
butir sembarang, menurut Rubey (garis strip)

Konfigurasi Dasar Sungai

18

- ❑ Debit (kecepatan) aliran bertambah, maka dasar sungai berubah
 - ❑ Plain bed (dasar rata)
 - bed-load terjadi, sebagian butir halus loncat dan menjadi suspensi
 - ❑ Ripples
 - dasar bergelombang, teratur, amplitudo \ll panjang gelombang \rightarrow gundukan kecil
 - ❑ Dunes
 - dasar spt gelombang, memanjang ke arah hilir (sisi hulu lebih landai), erosi di sisi hilir
 - dunes lama² menyatu membentuk “Bars” \rightarrow dasar rata
 - ❑ Sheet flow
 - dasar rata, daya angkut besar, terjadi pada $Fr \sim 1$, $k \sim d$
 - ❑ Anti-dunes
 - endapan pada sisi hilir dunes, erosi di sisi hulu dunes, bentuk gelombang dasar sungai relatif simetris, gelombang dasar ini bergerak ke arah hilir, terjadi pada $Fr > 1$
- ❑ Grafik S-4

19

Transpor Sedimen

Transpor sedimen total

Graf et al. (1968, 1987, 1995)

20

$$\Psi_A = \frac{(s_s - 1)d}{S_e R_h}$$

$$\Phi_A = \frac{C_s UR_h}{\sqrt{(s_s - 1)gd^3}} = \frac{(q_s/q)UR_h}{\sqrt{(s_s - 1)gd^3}}$$

$$d = d_{50}$$

$$\Phi_A = 10.39 (\Psi_A)^{-2.52} \quad \text{untuk} \quad 10^{-2} < \Phi_A < 10^3 \quad \text{atau} \quad \Psi_A \leq 14.6$$

$$\Phi_A = 10.4 K (\Psi_A)^{-1.5} \quad \leftarrow \quad K = \begin{cases} \Psi_A^{-1} & \text{untuk} \quad \Psi_A \leq 14.6 \\ (1 - 0.045 \Psi_A)^{2.5} & 14.6 < \Psi_A \leq 22.2 \\ 0 & \Psi_A > 22.2 \end{cases}$$

Ackers and White (1973)

21

$$F_{gr} = \frac{u_*^{n_w}}{\sqrt{(s_s - 1)gd}} \left[\frac{U}{\sqrt{32 \log(10h_m/d)}} \right]^{(1-n_w)}$$

$$G_{gr} = C_w \left(\frac{F_{gr}}{A_w} - 1 \right)^{m_w}$$

$$C_s = \frac{q_s}{q} = G_{gr} \frac{d}{h_m} \left(\frac{U}{u_*} \right)^{n_w}$$

C_s : konsentrasi rata-rata tampang

h_m : kedalaman rata-rata, A/B

Ackers and White (1973)

22

koefisien	$d_* > 60$ $d > 2.5 \text{ mm}$	$1 < d_* \leq 60$	$d_* \leq 1$ $d \leq 0.04 \text{ mm}$
n_w	0	$(1 - 0.56 \log d_*)$	1
m_w	1.5	$(9.66/d_*) + 1.34$	
A_w	0.17	$(0.23/d_*^{0.5}) + 0.14$	
C_w	0.025	$\log C_w = 2.86 \log d_* - (\log d_*)^2 - 3.53$	

$$d_* = d \left[(s_s - 1) \frac{g}{v^2} \right]^{1/3}$$

17-May-14

Persamaan Transpor Sedimen

23

Formula	d [mm]	S_f	d_x [mm]
Schoklitsch	0.3 – 7.0 (44.0)	0.003 – 0.1	d_{40}
Meyer-Peter <i>et al.</i>	3.1 – 28.6	0.0004 – 0.02	d_m (d_{50})
Einstein	0.8 – 28.6	-	d_{35}
Graf and Acaroglu	0.3 – 1.7 (23.5)	-	d_{50}
Ackers and White	0.04 – 4.0	$Fr < 0.8$	d_{35}

d_x : diameter ekuivalen, untuk butir sedimen tak-seragam

Contoh

24

□ Sebuah sungai lurus, tampang trapesium

- lebar dasar, $B = 55$ m
- kemiringan talud $V:H = 3:5$
- kemiringan dasar sungai $S_o = 0.00013$
- kedalaman aliran normal $h = 1.5$ m
- kecepatan aliran di permukaan $V = 0.7$ m/s
- material dasar sungai terdiri dari pasir:
 - $d_{35} = 0.6$ mm, $d_{50} = 0.9$ mm, $d_{65} = 1.2$ mm, $d_{90} = 2$ mm
 - rapat massa, $\rho_s = 2670$ kg/m³
- rapat massa air, $\rho = 1000$ kg/m³
- temperatur air 20°C
- percepatan gravitasi, $g = 9.8$ m/s²

□ Hitunglah

- debit yang menyebabkan d_{50} bergerak
- debit pada kedalaman normal
- debit sedimen (bed-load) menurut Einstein
- jika debit sungai meningkat 67%, hitunglah kedalaman aliran
- debit sedimen menurut MPM
- debit sedimen menurut Frijlink
- diameter butir minimum sbg pelindung dasar sungai

Terima kasih