

UTS Transpor Sedimen 2016

Soal

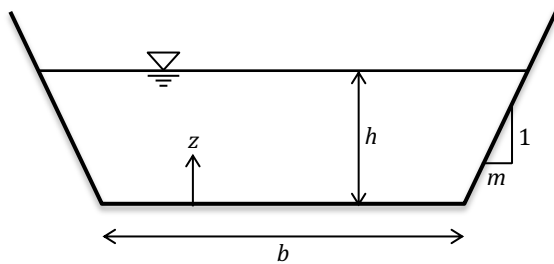
Sebuah sungai memiliki data sebagai berikut:

- tampang lintang berbentuk trapesium: lebar dasar 160 meter, talud (V:H) 1:1,
- debit aliran $660 \text{ m}^3/\text{s}$, kedalaman aliran 2.9 meter,
- kecepatan aliran di permukaan air 1.6 m/s,
- material dasar sungai berupa butir sedimen non-kohefif seragam: diameter 1.5 mm, rapat massa $2650 \text{ kg}/\text{m}^3$,
- rapat massa air $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$,
- temperatur air 20°C , viskositas air $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$,
- percepatan gravitasi $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$.

Dengan data di atas, hitunglah:

- 1) kecepatan aliran rata-rata di sungai tersebut,
- 2) radius hidraulik tampang lintang sungai,
- 3) kecepatan geser dan tegangan di dasar sungai,
- 4) kekasaran dasar sungai dan simpulkan bentuk dasar sungai (apakah dasar sungai rata?, secara hidraulik termasuk dasar kasar atau licin?),
- 5) kestabilan butir material dasar sungai (bergerak atau diam?),
- 6) debit transpor sedimen (*bed load*) menurut persamaan transpor M-P&M,
- 7) debit transpor sedimen (*bed load*) menurut persamaan transpor Frijlink.
- 8) debit transpor sedimen menurut persamaan transpor selain MP-M dan Frijlink.

Penyelesaian



Diketahui:

$$\begin{aligned} b &= 160 \text{ m}, m = 1 \\ Q &= 660 \text{ m}^3/\text{s}, h = 2.9 \text{ m}, \\ u_{z=h} &= 1.6 \text{ m/s} \\ t_{\text{air}} &= 20^\circ\text{C} \Rightarrow \nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \rho_w &= 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 \\ \rho_s &= 2650 \text{ kg}/\text{m}^3 \\ d &= 1.5 \text{ mm} \\ g &= 9.81 \text{ m}/\text{s}^2 \end{aligned}$$

Dimensi tampang lintang telah diketahui, sehingga luas tampang, A , keliling basah, P , dan radius hidraulik tampang sungai, R_h , dapat dihitung.

$$A = (b + mh)h = (160 + 2.9) \times 2.9 = 472.41 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 160 + 2 \times 2.9 \times \sqrt{1 + 1^2} = 168.2024 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{472.41}{168.2024} = 2.81 \text{ m}$$

Kecepatan aliran rata-rata di tampang sungai dihitung dengan mudah karena debit aliran dan dimensi tampang lintang telah diketahui. Kecepatan aliran rata-rata adalah debit aliran dibagi dengan luas tampang, $U = Q/A$.

$$U = Q/A = 660/472.41 = 1.4 \text{ m/s}$$

Dengan demikian, ada dua kecepatan aliran yang diketahui, yaitu kecepatan aliran rata-rata, U , dan kecepatan aliran di permukaan, $u_{z=h}$. Dari dua informasi ini, dapat dihitung kecepatan geser, u_* , dan kekasaran dasar saluran, k_s , dengan menggunakan persamaan distribusi kecepatan aliran. Dengan asumsi bahwa dasar sungai secara hidraulis digolongkan sebagai dasar kasar, maka persamaan kecepatan aliran adalah:

$$u_{z=h} = 5.75u_* \log\left(\frac{33h}{k_s}\right) \Rightarrow 1.6 = 5.75u_* \log\left(\frac{33 \times 2.9}{k_s}\right)$$

$$U = 5.75u_* \log\left(\frac{12R_h}{k_s}\right) \Rightarrow 1.4 = 5.75u_* \log\left(\frac{12 \times 2.81}{k_s}\right)$$

Nilai kekasaran dasar sungai dan kecepatan geser diperoleh melalui manipulasi matematis kedua persamaan di atas:

$$\frac{u_{z=h}}{U} = \frac{1.6}{1.4} = \frac{5.75u_*\{\log(33 \times 2.9) - \log k_s\}}{5.75u_*\{\log(12 \times 2.81) - \log k_s\}}$$

$$-1.6 \log k_s + 1.4 \log k_s = 1.4 \log(33 \times 2.9) - 1.6 \log(12 \times 2.81)$$

$$-0.2 \log k_s = 0.3287 \Rightarrow \log k_s = -1.6433 \Rightarrow k_s = 0.0227 \text{ m}$$

Karena kekasaran dasar sungai jauh lebih besar daripada diameter butir material dasar sungai, $k_s = 0.0227 \text{ m} \gg d = 1.5 \text{ mm}$, maka dasar sungai tidak rata.

Kecepatan geser diperoleh dengan memasukkan nilai kekasaran dasar ke dalam persamaan kecepatan aliran di permukaan atau persamaan kecepatan aliran rata-rata.

$$u_{z=h} = 5.75u_* \log\left(\frac{33h}{k_s}\right) \Rightarrow u_* = \frac{1.6}{5.75\{\log(33 \times 2.9) - \log 0.0227\}} = 0.0768 \text{ m/s}$$

$$\text{Tegangan geser di dasar sungai: } \tau_o = \rho_w u_*^2 = 5.8982 \text{ N/m}^2$$

Hitungan kekasaran dasar sungai dan kecepatan geser di atas didasarkan pada asumsi bahwa dasar sungai secara hidraulis termasuk dasar kasar. Ini perlu diperiksa melalui pemeriksaan nilai angka Reynolds dasar sungai:

$$\frac{u_* k_s}{\nu} = \frac{0.0768 \times 0.0227}{0.000001} = 1743.36 > 70 \Rightarrow \text{dasar kasar}$$

Kestabilan butir material dasar sungai diperiksa dengan memakai diagram Shields. Nilai absis pada diagram Shields adalah angka Reynolds butir material dasar sungai (*boundary Reynolds number*).

$$R_{e*} = \frac{u_* d}{\nu} = \frac{0.0768 \times 0.0015}{10^{-6}} = 115$$

Dengan memakai nilai di atas sebagai nilai absis diagram Shields, diperoleh nilai ordinat diagram Shields $\tau_c^* = 0.042$. Tegangan geser kritis di dasar sungai, dengan demikian adalah:

$$\frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho_w)gd} = 0.042 \Rightarrow \tau_c = 0.042 \times (2650 - 1000) \times 9.81 \times 0.0015 = 1.0197 \text{ N/m}^2$$

Tampak bahwa tegangan kritis ini lebih kecil daripada tegangan di dasar sungai yang ditimbulkan oleh gaya aliran:

$$\tau_c = 1.0197 < \tau_o = 5.8982 \Rightarrow \text{butir material dasar sungai bergerak}$$

Karena butir material dasar sungai bergerak, maka terjadi transpor sedimen. Kuantitas transpor sedimen (*bed load*) dihitung dengan tiga cara, masing-masing dengan memakai persamaan Meyer-Peter dan Muller, Frijlink, dan Einstein.

Bed load menurut persamaan Meyer-Peter dan Müller.

$$0.25 \rho_w^{1/3} \frac{(g'_{sb})^{2/3}}{(\rho_s - \rho_w)gd} = \frac{\rho_w g \xi_M R_h S_e}{(\rho_s - \rho_w)gd} - 0.047$$

$$\left. \begin{aligned} C &= 18 \log \left(\frac{12R_h}{k_s} \right) = 18 \log \left(\frac{12 \times 2.81}{0.0227} \right) = 57 \\ C_{d90} &= 18 \log \left(\frac{12R_h}{d} \right) = 18 \log \left(\frac{12 \times 2.81}{0.0015} \right) = 78 \end{aligned} \right\} \xi_M = \left(\frac{C}{C_{d90}} \right)^{3/2} = \left(\frac{57}{78} \right)^{3/2} = 0.62$$

$$U = C \sqrt{R_h S_e} \Rightarrow S_e = \frac{U^2}{C^2 R_h} = \frac{1.4^2}{57^2 \times 2.81} = 0.00021$$

$$\begin{aligned} 0.25 \times 1000^{1/3} \frac{(g'_{sb})^{2/3}}{(2650 - 1000) \times 9.81 \times 0.0015} \\ = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.62 \times 2.81 \times 0.00021}{(2650 - 1000) \times 9.81 \times 0.0015} - 0.047 \end{aligned}$$

$$(g'_{sb})^{2/3} = 0.7105 \Rightarrow g'_{sb} = 1.0095 \text{ kg/s/m}$$

Debit sedimen per satuan lebar sungai:

$$q_{sb} = \frac{g'_{sb}}{(\gamma_s - \gamma_w)} = \frac{1.0095}{(2650 - 1000) \times 9.81} = 6.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$$

Debit sedimen:

$$Q_{sb} = q_{sb} b = 6.2 \times 10^{-5} \times 160 = 0.01 \text{ m}^3/\text{s} = 864 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Bed load menurut persamaan Frijlink.

$$\frac{q_{sb}}{d_m \sqrt{g \xi_M R_h S_e}} = 5 \exp \left[-0.27 \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) \frac{d_m}{\xi_M R_h S_e} \right]$$

$$\frac{q_{sb}}{0.0015 \times \sqrt{9.81 \times 0.62 \times 2.81 \times 0.00021}} = 5 \times \exp \left[-0.27 \times \left(\frac{2650 - 1000}{1000} \right) \times \frac{0.0015}{0.62 \times 2.81 \times 0.00021} \right]$$

$$q_{sb} = 7.6 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_{sb} = q_{sb}b = 7.6 \times 10^{-5} \times 160 = 0.0121 \text{ m}^3/\text{s} = 1044 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Bed load menurut persamaan Einstein.

$$\left. \begin{aligned} \Psi^* &= \frac{(s_s - 1)d_{35}}{\xi_M R_h S_e} \\ \Phi^* &= \frac{q_{sb}}{\sqrt{(s_s - 1)gd_{35}^3}} \end{aligned} \right\} \text{Grafik } \Phi^* \text{ vs } \Psi^*$$

Rapat massa relatif butir sedimen: $s_s = \rho_s/\rho = 2650/1000 = 2.65$.

$$\Psi^* = \frac{(s_s - 1)d_{35}}{\xi_M R_h S_e} = \frac{(2.65 - 1) \times 0.0015}{0.62 \times 2.81 \times 0.00021} = 6.64 \rightarrow \text{Grafik } S_7 \Rightarrow \Phi^* = 0.35$$

$$q_{sb} = \Phi^* \sqrt{(s_s - 1)gd_{35}^3} = 0.35 \times \sqrt{(2.65 - 1) \times 9.81 \times (0.0015)^3} = 8.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_{sb} = q_{sb}b = 8.2 \times 10^{-5} \times 160 = 0.0131 \text{ m}^3/\text{s} = 1131 \text{ m}^3/\text{hari}$$