

KONSEP DASAR TERJADINYA ANGKUTAN SEDIMEN

Maria Christine

Dosen tetap, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung
Jalan Prof. drg. Soeria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164
e-mail: mrxtime@yahoo.com

ABSTRACT

Quickflow is generated by processes ranging from infiltration excess overland to subsurface stormflow and is concentrated into storm hydrograph form by the basin topography and network geometry. A succession of such hydrographs over a period in the main valley bottom carves in the alluvium a channel whose form reflects the interaction between the local sedimentology and the physical mechanisms of channel flow. Particularly important physical processes are those determining the distribution and magnitude of bed shear stress exerted by the flow, the momentum transfer from rapid to slow zones of flow, the velocity distribution with depth and across the channel, and the rate of transformation of potential energy to kinetic energy and work.

Keywords: Sediment Transport, Basic Concept.

ABSTRAK

Pada umumnya kecepatan yang besar merupakan awal dari terbentuknya sebuah alur pada permukaan dan dilanjutkan pada daerah di sebelah bawahnya. Pembentukan alur sepanjang waktu dari sebuah proses saluran terbuka yang terbentuk dari material lepas merupakan suatu fenomena dari angkutan sedimen. Secara fisik proses pergerakan dan pendistribusian partikel terbesar terjadi oleh tegangan geser yang ada pada dasar saluran yang didistribusikan dari daerah kecepatan yang tinggi ke rendah, selain itu kecepatan juga didistribusikan ke arah melintang saluran serta adanya perubahan dari energi potensial ke energi kinetik.

Kata kunci: Angkutan Sedimen, Konsep Dasar.

1. PENDAHULUAN

Sebuah saluran dengan material pasir dalam keadaan lepas dan non cohesive serta berbutir seragam yang diairi dengan debit tertentu, maka partikel-partikel dasar saluran tersebut pasti akan mengalami gaya yang kita kenal dengan gaya hidrodinamis. Kecepatan aliran akan bertambah dengan bertambahnya debit yang dikarenakan oleh sebab tertentu, maka dengan sendirinya gaya-gaya hidrodinamis yang timbul akan bertambah besar, sehingga partikel-partikel material dari dasar saluran tidak dapat bertahan lagi dan akan mulai bergerak hanyut, dimana saat-saat seperti ini akan kita kenal dengan kondisi KRITIS.

Pergerakan ini tidak terjadi secara seketika, tetapi secara bertahap dan pada umumnya dimulai dari lapisan yang paling atas. Secara garis besar Persamaan tahapan pergerakan endapan ini dapat kita bagi menjadi 3 bagian, antara lain:

- a. Persamaan Kecepatan Kritis (Critical Velocity Equations):

Hal ini ditinjau dari pengaruh cairan dalam hal ini air terhadap partikel dasar sehingga menyebabkan partikel tersebut mulai bergerak.

b. Persamaan Geser Kritis (Critical Shear Stress Equations):

Disini yang ditinjau adalah gaya gesek atau friksi dan gaya seret atau drag yang disebabkan oleh aliran terhadap partikel.

c. Kriteria Gaya Angkat (Lift Force Criteria):

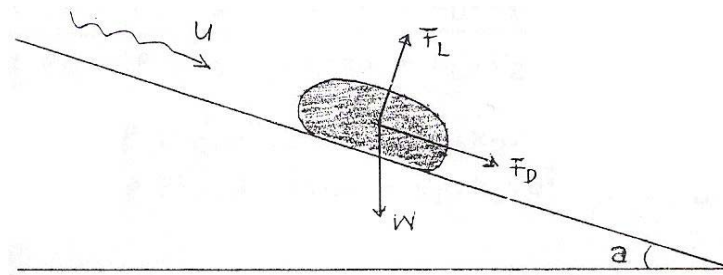
Karena diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan akibat adanya perbedaan kecepatan pada lapisan atas dan lapisan bawah, sehingga menimbulkan gaya angkat. Gaya angkat tersebut yang dapat mengangkat partikel tersebut.

2. PERSAMAAN KECEPATAN KRITIS

Peninjauan partikel:

- Cohesionless
- Kondisi Lepas
- Solid

$$\tan \theta = \frac{\text{gaya.paralel}}{\text{gaya.normal}} = \frac{F_t}{F_n}$$



Gambar 1.

α = Sudut kemiringan dasar saluran

F_D = Gaya seret hidrodinamis

F_L = Gaya angkat

W = Berat sendiri partikel

Maka kondisi awal pergerakan menjadi :

$$\tan \theta = \frac{W \sin \alpha + F_D}{W \cos \alpha - F_L}$$

$$F_D = C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot \rho \cdot U_b^2$$

$$F_L = C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot \rho \cdot U_b^2$$

$$W = k_3 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3$$

Jika:

- U = Kecepatan aliran arah tangensial
- U_b = Kecepatan aliran dasar
- ρ = Density cairan
- ρ_s = Density partikel
- C_D = Koefisien gaya seret
- C_L = Koefisien gaya angkat
- $k_{1,2,3}$ = Faktor bentuk

Maka:

$$\tan \theta = \frac{W \sin \alpha + F_D}{W \cos \alpha - F_L}$$

$$\tan \theta = \frac{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \sin \alpha + C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2}{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \cos \alpha - C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2}$$

$$\tan \theta \cdot \{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \cos \alpha - C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2\} = \{k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 \cdot \sin \alpha + C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2\}$$

$$\{2 \cdot k_3 (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d^3 (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)\} = \{d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2 (C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta)\}$$

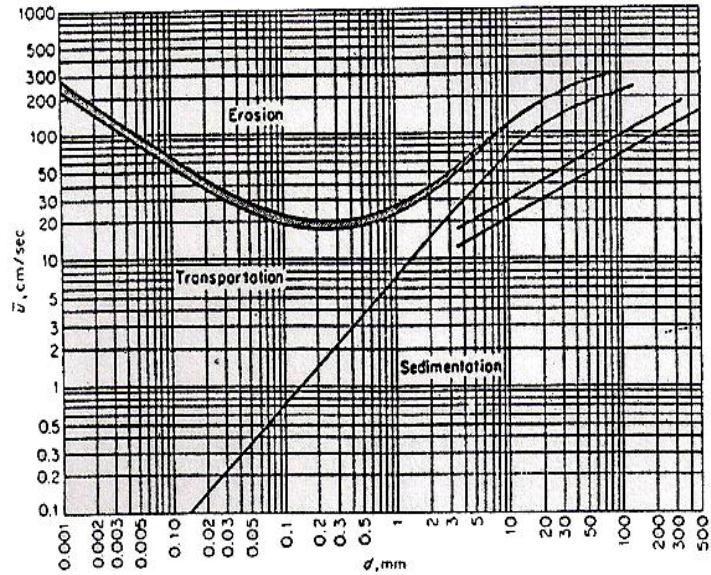
$$\left\{ 2 \cdot k_3 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \right\} = \left\{ U_b^2 (C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta) \right\}$$

$$\frac{2 \cdot k_3 (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta} = \frac{U_b^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d}$$

$$A' = \frac{2 \cdot k_3 (\tan \theta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{C_D \cdot k_1 + C_L \cdot k_2 \cdot \tan \theta} \quad \text{-----} \rightarrow \text{Koefisien sedimen}$$

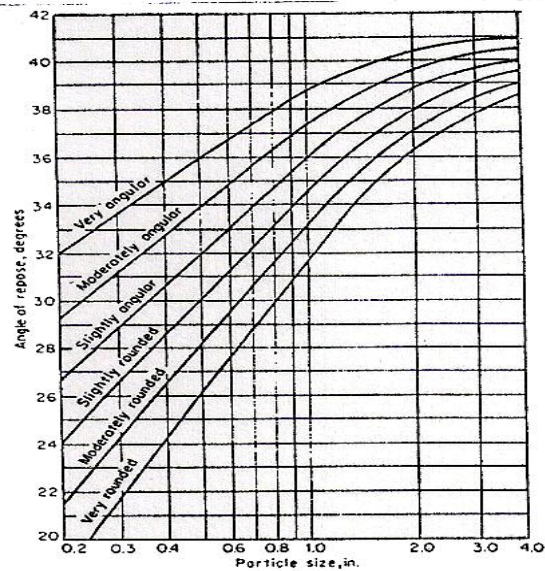
Untuk kondisi alam $\cos \alpha \approx 1,00$

- θ = dapat diambil dari grafik 1
- Gambar 2 = hubungan antara diameter butir dengan gerusan



Erosion-deposition criteria for uniform particles. [After HJULSTRÖM (1935).]

Gambar 2. Hubungan diameter dan kecepatan gerusan.



Angles of repose of noncohesive material. [After LANE (1953).]

Gambar 3. Hubungan diameter dengan teta.

3. PERSAMAAN GESER KRITIS

Menurut Forchkimer (1914) bahwa hubungan antara berat kolom air dengan gaya gesek pada dasar saluran adalah :

$$\begin{aligned} \gamma.D.S &= k_4.U_b^2 \\ D &= \text{kedalaman air} \\ S &= \text{kemiringan garis energi} \\ k_4 &= \text{konstanta} \end{aligned}$$

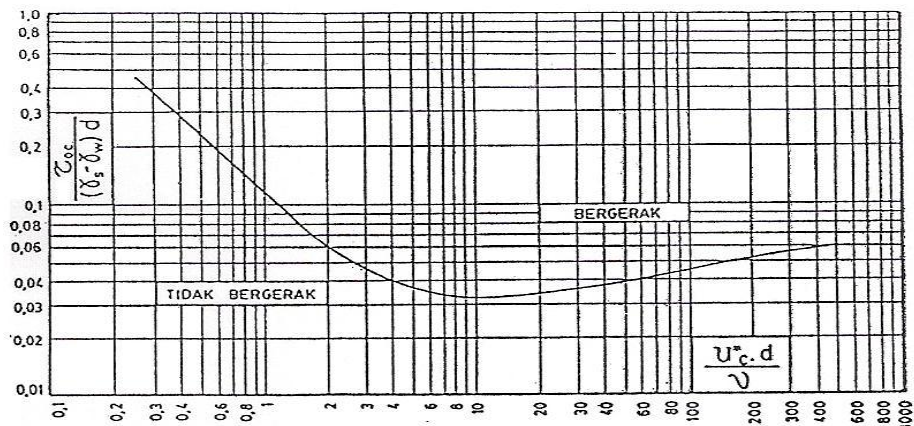
Jika gaya tarik permukaan $\tau_0 = \gamma.D.S$ dan $D \approx R_h$, maka $\tau_0 = t.R_h.S$ yang jika kita substitusikan kedalam persamaan koefisien sedimen akan menjadi :

$$\frac{(U_b^2)_{cr}}{(\frac{\rho_s}{\rho} - 1).g.d} = \frac{2.k_3(\tan \theta . \cos \alpha - \sin \alpha)}{C_D.k_1 + C_L.k_2 . \tan \theta}$$

$$\frac{\tau.R_h.S}{k_4 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - \frac{\gamma}{\gamma} \right).g.d} = \frac{2.k_3(\tan \theta \cos \alpha - \sin \epsilon)}{C_D.k_1 + C_L.k_2 . \tan \theta}$$

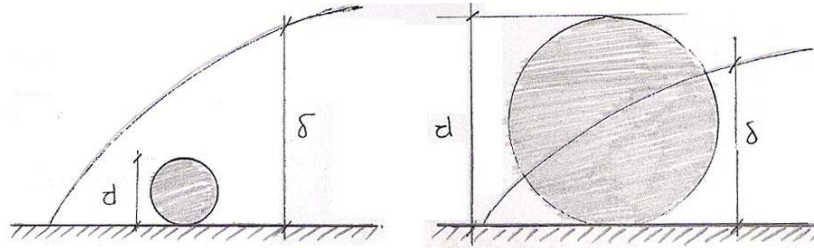
$$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma).d} = A''$$

Nilai A'' dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara A'' dan $U^*.D/v$.

CATATAN :



Gambar 5.

1. $d < \delta$

R_e = nilainya kecil, yang berarti boundary layer halus, partikel tertutup oleh film air, dimana pergerakan utamanya bebas dari turbulensi, tetapi butir bergerak oleh kiprah kekentalan.

2. $d > \delta$

R_e = nilainya besar, yang berarti turbulen, dimana pergerakan tidak lagi bergantung dari tegangan, tetapi oleh kiprah turbulensi.

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{(\gamma_s - \gamma).d} = 0,06$$

3. $d \approx \delta$

R_e = nilainya terletak pada peralihan

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{(\gamma_s - \gamma).d_{min}} = 0,03$$

Dibawah nilai diatas tidak ada pergerakan, tetapi gerak awal dipengaruhi oleh kemiringan dasar saluran, tetapi untuk diameter partikel yang besar ia akan bergerak pada lereng yang besar tanpa memperdulikan tegangan geser yang terjadi.

$$F_D = C_D.k_1.d^2.0,50. .U_b^2$$

Persamaan von Karman – Prandtl

$$\frac{U_d}{U^*} = f_1 \cdot \frac{U^*.d}{\nu}$$

U_d = kecepatan tepat diatas partikel

$$U^* = \text{kecepatan geser} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g \cdot H \cdot S}$$

D = diameter butir (dianggap uniform)

$C_D = f_2 \cdot \frac{U^* \cdot d}{\nu}$ pada awal mulai bergerak dimana $U_d = U^*$ dan $H = R_c^*$ sehingga

$$R_c^* = \frac{U^* \cdot d}{\nu}$$

R_c^* = keliling basah

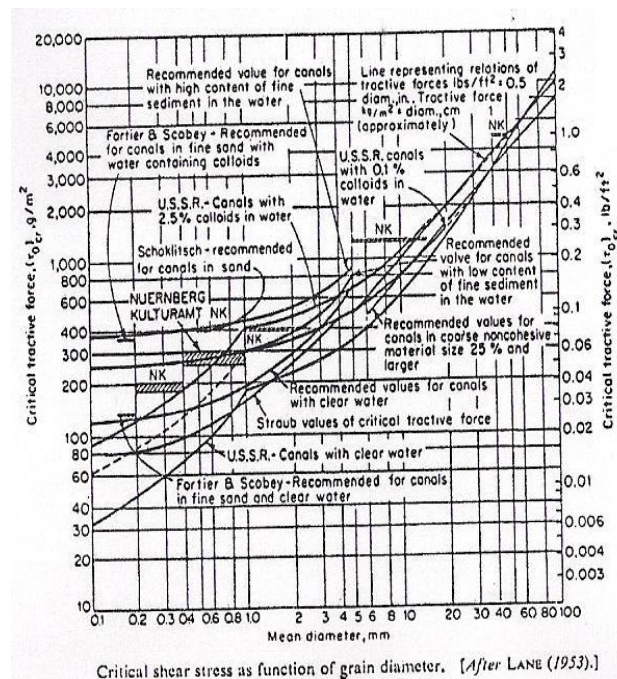
U^* = kecepatan geser

ν = kekentalan kinematik air

U^* = kecepatan geser pada saat mulai bergerak

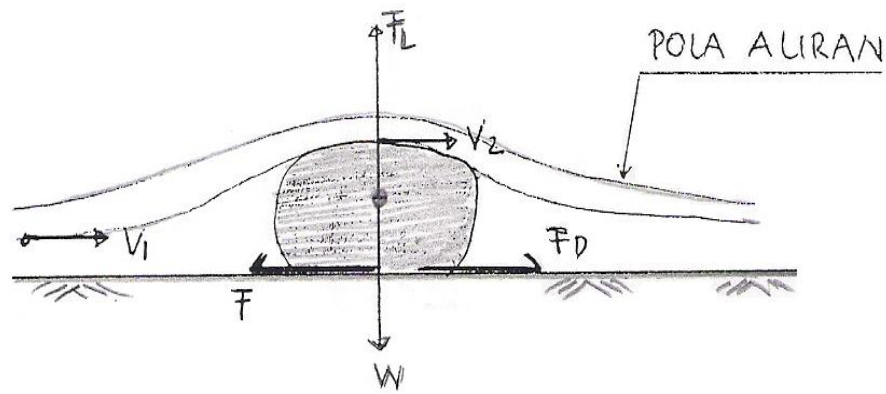
Jadi untuk partikel dengan bentuk tertentu dan untuk kondisi kritis

$$\frac{\tau_{0c}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = f(R_c)$$



Gambar 6. Grafik critical shear stress sebagai fungsi dari grain diameter.

4. KRITERIA GAYA ANGKAT



Gambar 7.

W = berat sendiri partikel = $\pi/6 \cdot d^3 \cdot (\gamma_s - \gamma)$

Gaya cairan adalah gaya yang bekerja pada butir dan mengacu kepada Hukum Bernoullie

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + P_1 = Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + P_2 = \text{kons tan}$$

Karena dianggap partikel cukup kecil, maka

$$Z_1 \approx Z_2$$

$$V_1 > V_2$$

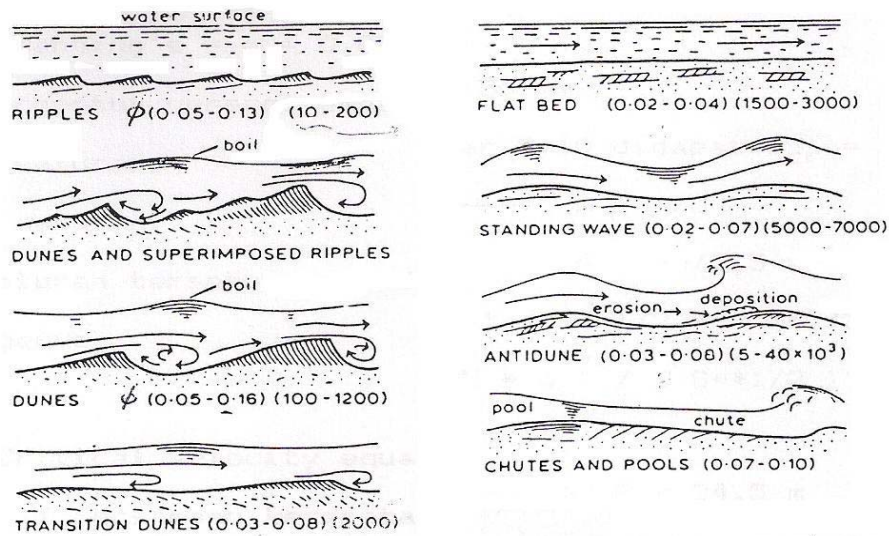
$$P_1 < P_2$$

Sehingga $F_L = C_L \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2$

$$F_D = C_D \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot 0,50 \cdot U_b^2$$

Gerakan akan terjadi jika $F_L + F_D > W$

Berbagai bentuk dasar saluran yang diakibatkan oleh pergerakan sedimen dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 8. Berbagai bentuk dasar saluran
Bed Load Transport 10 – 40.000 (ppm), diameter butir 0,02 – 0,16 (mm).**

CONTOH

- Diketahui: Coarse quartz gravel $d_{50} = 50$ mm
 Debit air bersih = $Q = 30 \text{ m}^3/\text{detik}$
 Koefisien kekasaran Manning = $n = 0,025$
 Saluran berbentuk persegi B x D
 B = lebar dasar saluran
 D = dalam saluran

Tentukan: Dimensi saluran tersebut agar dasar saluran tidak tergerus

Solusi: Cara I \rightarrow Persamaan Kecepatan Kritis
 Dari grafik 1 di dapat $U_{cr} = 250 \text{ cm/detik}$
 $Q = U \cdot A \rightarrow A = 30/2,5 = 12 \text{ m}^2$
 $U = (1/n) \cdot S^{0,5} \cdot R_h^{2/3} \rightarrow R_h = 0,49 \text{ m}$
 $R_h = A/P \rightarrow P = 24,5 \text{ m}$
 $A = D \cdot B \rightarrow B = 12/D$
 $P = 2 \cdot D + B \rightarrow 24,5 = 2 \cdot D + 12/D$
 $24,5 \cdot D = 2 \cdot D \cdot D + 12$
 $D = 0,51 \text{ m}$
 $B = 23,478 \text{ m}$

Cara II → Persamaan Geser Kritis

Untuk $d_{50} = 50$ mm, dari grafik 3, di dapat $(\tau_0)_{cr} \approx 4,5$ kg/m²

$(\tau_0) = t.S.R_h \rightarrow R_h = 0,45$ m \approx D

$U = (1/n). S^{0,5}.R_h^{2/3} \rightarrow U = 2,35$ m/detik

$Q = U . A \rightarrow A = 30/2,35 = 12,8$ m²

$A = D.B \rightarrow B = 28,4$ m

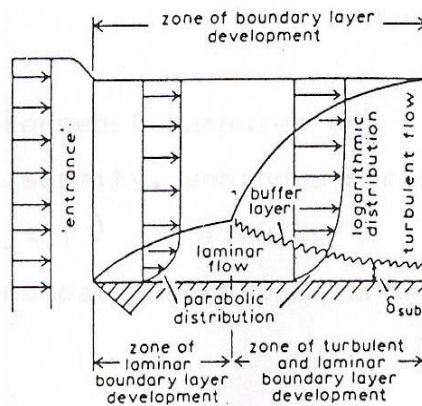
Kesimpulan:

Terdapat sedikit perbedaan dikarenakan pembacaan grafik yang berlainan.

5. DISTRIBUSI KECEPATAN DAN SYARAT BATAS

Air yang melewati sungai akan diperlambat oleh hambatan pada dasar dan tepi sungai tersebut, akan tetapi hambatan geser yang berbatasan dengan batas cairan tersebut tidak efektif.

Pengaruh dari hambatan seret dibatasi oleh syarat batas di mana gradient kecepatan terjadi dan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

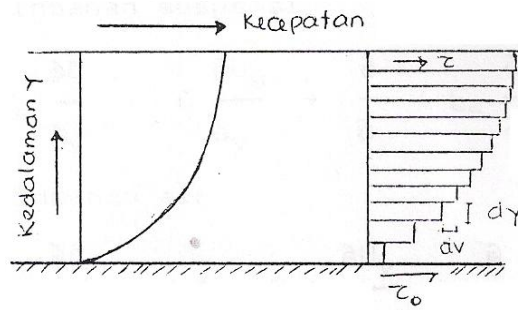


Gambar 9. Syarat batas aliran bebas yang melintasi permukaan bebas.

Dalam prakteknya syarat batas tersebut terus diperpanjang sampai mencapai permukaan.

Cairan yang terletak jauh dari syarat batas mempunyai momentum per unit volume ($\gamma_w.V$) yang lebih besar daripada cairan yang terletak di dalam batasan momentum yang lebih tinggi ke momentum yang lebih rendah.

Profil kecepatan yang pada umumnya terjadi banyak ditinjau dalam dua dimensi, tetapi tergantung pada karakteristik aliran. Jika cairan tersebut laminar dan merupakan cairan ideal, maka dapat kita gambarkan sebagai berikut



Gambar 10. Profil kecepatan untuk aliran laminar.

ν = Kekentalan kinematik maka shear stress/ tegangan geser terjadi:

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot (d - y) \cdot S$$

y = jarak partikel ke dasar

d = dalamnya air

Dapat di tulis $\tau = \nu \cdot \frac{\partial U}{\partial y}$ (BOUSINESQ., 1868)

Jika aliran tersebut turbulen, ada tambahan sebesar E yaitu Eddy

Viscosity, sehingga rumus diatas menjadi

$$\tau = (\nu + E) \cdot \frac{\partial U}{\partial y}$$

Beberapa pendapat mengenai E berdasarkan zero equation :

Shear stress pada umumnya diikuti oleh rotasi serta perpindahan sedimen.

Distribusi sedimen :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -U_i \frac{\partial c}{\partial x_i} - C \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(E_i \frac{\partial c}{\partial x_i} \right)$$

Dalam kondisi :

- Uniform flow pada titik x_i
- Konsentrasi tetap terhadap waktu
- X_2 komponen arah y yang bervariasi

$$0 = -U_y \frac{\partial c}{\partial y} - C \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

Jadi perpindahan suspensi

$$0 = -U_s \frac{\partial c}{\partial y} - C \frac{\partial u_s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_s \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

Jadi perpindahan air

$$0 = -U_y \frac{\partial c}{\partial y} - (1-C) \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

Jika $U_s = U_y - v_{ss}$

$$\{E_s + C(E - E_s)\} \frac{\partial c}{\partial y} + (1-C).C.v_{ss} = 0 \rightarrow \text{Einstein et.al., 1955}$$

- E_s = gambar difusi dari unsure solid
- E = gambar difusi dari liquid

Jika $E_s = E$

$$E_s \frac{\partial c}{\partial y} + (1-C).C.v_{ss} = 0$$

Von Karman $E = 2.x.H.U_a(1-n).(1-\sqrt{1-n})$

Indratmo $E_0 = 0,079$

Power Law $E = x.H.U_a(1-n)^{(1-\frac{1}{n})} .(1-n)$

Logaritmic Law $E = x.H.U_a(1-n)$

Tominaga $E = E_0.U^* .H.n.(1-n)$

$$E_0 = 0,10$$

$$U_a = \text{shear.velocity} = \sqrt{g.H.S} = U^* \rightarrow U_a^2 = g.H.S$$

$$\text{Kecepatan rata-rata dari Chezy} \rightarrow V^n = C\sqrt{H.S} \rightarrow V^{n^2} = C^2.H.S$$

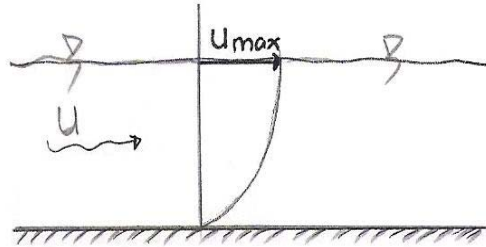
$$U_a^2 = (g.V^2)/C \rightarrow U_a = \left(\frac{\sqrt{g}}{C}\right).V^n$$

6. DISTRIBUSI KECEPATAN DALAM ARAH VERTIKAL

$$U_i = 2,5\sqrt{g.R.S} \cdot \ln\left(30 \cdot \frac{y}{K}\right) + B$$

- U_i = kecepatan dititik i
- B = $f_{(Re)}$
- K = kekasaran dinding

Untuk saluran sangat lebar $\rightarrow (B/H) \gggg$ dimana tidak ada gangguan dari dinding, logarithmic law tidak berlaku penuh, karena U_{max} ada pada permukaan air.



Gambar 11.

$$U = U_s + (1/x) \cdot U^* \cdot \ln \rightarrow \text{logarithmic law}$$

- U_s = kecepatan pada permukaan air
- $U^* = \sqrt{g.H.S}$

$$\frac{u}{u^*} = 5,75 \cdot \log 30,2 \frac{Y}{k_s} \rightarrow \text{logarithmic law in clear water}$$

K_s = Nikuradze sand roughness

Jika konsentrasi kecil, maka $C = 0$

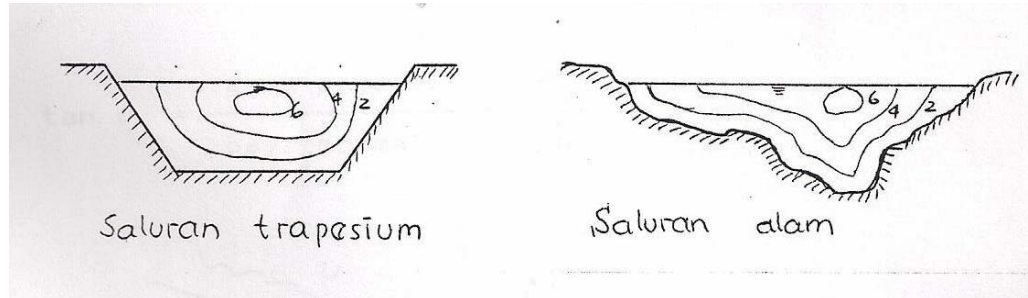
$$E_s \frac{\partial c}{\partial y} + C \cdot v_{ss} = 0$$

Jika ada unsur diffuse dari unsure solid

$$\tau_y = \left(1 + \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot C\right) \rho \cdot E \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \text{ akan menjadi}$$

$$\frac{\partial C}{\partial y} = - \left(1 + \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot C\right) \cdot C \cdot (1 - C) \cdot v_{ss} \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \cdot \frac{\rho}{y} \rightarrow v_{ss} = \text{kecepatan jatuh}$$

7. DISTRIBUSI KECEPATAN DALAM ARAH MELINTANG PADA SALURAN LURUS



Gambar 12. Distribusi kecepatan aliran arah melintang saluran.

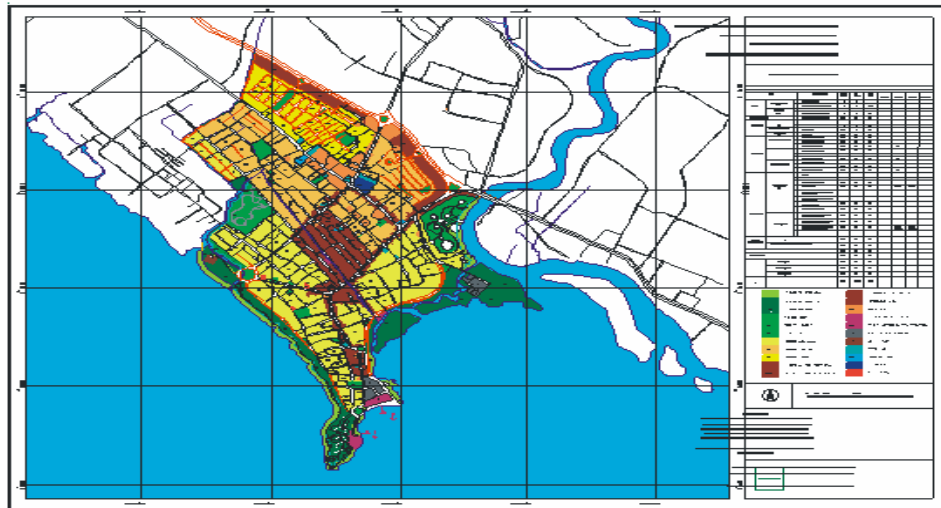
$$\frac{U}{U_{\max}} = \left[1 - \left(\frac{2b}{B} \right)^2 \right]^f$$

- U = kecepatan vertical rata-rata
- U_{\max} = Kecepatan pada tengah saluran
- B = lebar muka air
- b = jarak dari as saluran ke sisi yang ditinjau
- H = kedalaman air
- f = $0,24 - 0,0268 (B/H) + 0,00363(B/H)^2 + 0,000166(B/H)^3 \rightarrow$ Indratmo.S

8. STUDI KASUS

Dalam penulisan ini, digunakan beberapa contoh studi kasus dengan ilustrasi gambar sebagai berikut:

1. Studi kasus suatu muara sungai yang pasti 25 tahun.
2. Selanjutnya kemudian akan berubah kondisinya.
3. Akibat adanya pengaruh aliran air yang cukup deras mengakibatkan perpindahan angkutan/sedimen transport.
4. Kelokan sungai missisipi yang saat ini sudah tersudet.
5. Aliran sungai yang menggerus daerah pemukiman.
6. Aliran sungai di daerah gurun pada musim panas.
7. Lapisan-lapisan batu cadas yang terbentuk akibat perpindahan angkutan/sedimen transpor.



Gambar 13. Menceritakan denah suatu muara sungai yang pasti 25 tahun kemudian akan berubah kondisinya.



Gambar 14. Akibat adanya pengaruh aliran air yang cukup deras mengakibatkan perpindahan angkutan / sedimen transport.



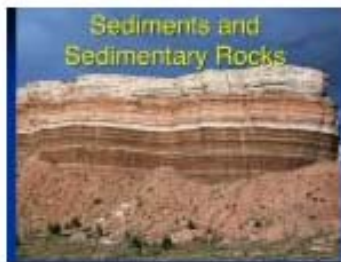
Gambar 15. Kelokan sungai missisipi yang saat kini sudah tersudet.



Gambar 16. Aliran sungai yang menggerus daerah pemukiman.



Gambar 17. Aliran sungai di daerah gurun pada musim panas.



Gambar 18. Lapisan – lapisan batu cadas yang terbentuk akibat perpindahan angkutan / sedimen transport.

9. KESIMPULAN

Sedimen transport sangat tergantung dari kecepatan serta dimana kecepatan tersebut berada, apakah di tepi maupun di tengah dari pada saluran, disamping tergantung dari pada debit yang mengalir.

DAFTAR PUSTAKA

Hans, G.W., (1971). *Hydraulics of Sediment Transport*, Leigh University.

Jansen, (1989). *Prinsiples of River Engineering, The non Tidal Alluvial River*, London Sanfrancisco Melbourne.

Selim, Y.M., *Mechanics of Sedimen Transport, second edition*, Prof of Hydraulics Queen's University at Kingston, Canada Formerly Prinsipal Scientific officer, Hydraulics Reserch Statio, Wallingforf (Berks)., England.