

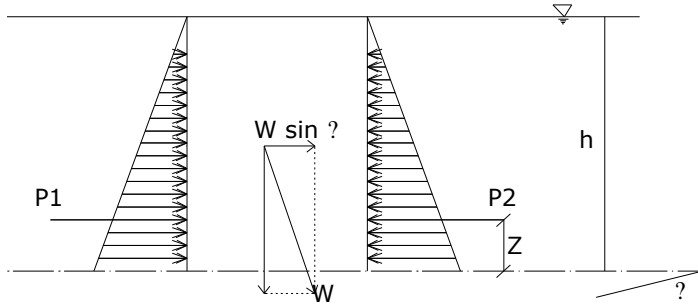


$$\sin \theta = S_o = S_f$$

$$\sin \theta = \tan \theta = S_f = S_o$$

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot R \cdot S_f \rightarrow \text{gaya geser dasar}$$

tegangan geser pada kedalaman tertentu



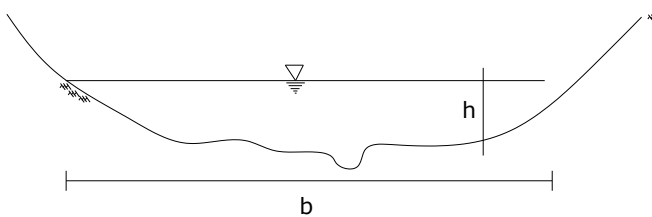
$$\sum F = 0$$

$$T_z = (\text{volume} \times \gamma) \sin \theta \rightarrow \theta \leq \sin \theta = 1$$

$$= (h - z) \cdot \gamma \cdot i \cdot l$$

$T_z = \gamma \cdot h \cdot l (1 - (Z/h)) \rightarrow$  tegangan geser pada kedalaman  $Z$  linier, berubah terhadap  $Z$

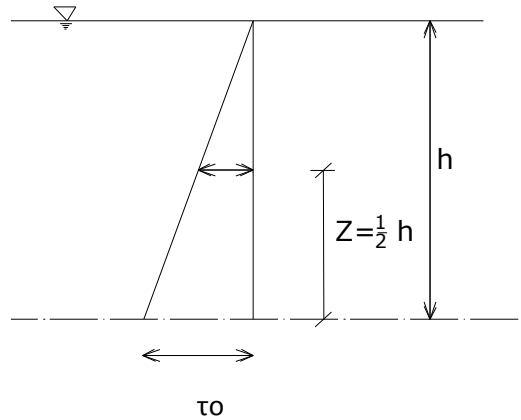
Sungai sangat lebar  $\rightarrow b/h > 5 - 10$



$$R = A/P = (b \cdot h)/(b + 2h)$$

$$R \approx (b \cdot h)/b \approx h$$

$$T_o = \rho \cdot g \cdot h \cdot S_f$$



$$Z = \frac{1}{2} h \rightarrow \tau_z = \gamma \cdot h \cdot l \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot h \cdot l$$

$$\tau_z = \frac{1}{2} \tau_0$$

$$Z = 0, \tau_z = \tau_0 = \gamma \cdot h \cdot l = \rho \cdot g \cdot h \cdot l$$

$$Z = h \rightarrow \tau_z = 0$$

Distribusi kecepatan  $\rightarrow$  2 dimensi untuk aliran uniform/ permanen

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = 0; \frac{\partial \pi}{\partial x} = 0, \text{ dimana } \pi = Q, \rho, h, u, v \text{ dan lain-lain}$$

Aliran laminar  $\rightarrow$  Hukum Newton I

$$\tau_z = \mu \cdot \frac{du_z}{dz}; \mu = \text{viskositas dinamik}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Substitusikan persamaan

$$\mu \cdot \frac{du_z}{dz} = \rho \cdot g \cdot l \cdot (h - Z)$$

$$dU_z = (gl/\nu) \cdot (h - Z) \cdot dZ$$

$$U_z = \int (gl/\nu) \cdot (h - Z) \cdot dZ$$

$$= (gl/\nu) \cdot (h \cdot Z - \frac{1}{2} Z^2) + C$$

Batas integrasi ; untuk  $Z = 0 \rightarrow U_z = 0 \rightarrow C = 0$

$$U_z = \frac{gI}{\nu} \cdot (hz - 1/2Z^2) \rightarrow \text{Parabola}$$

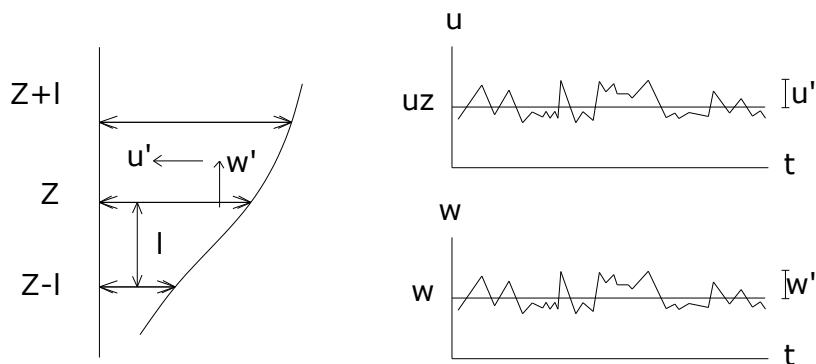
Distribusi kecepatan, berlaku untuk aliran laminar

Kecepatan rerata vertical

$$\bar{U} = \frac{\int_0^h uz \cdot dz}{\int_0^h dz} = \frac{gI}{\nu} \cdot \frac{(\frac{h^3}{2} - \frac{h^3}{6})}{h}$$

$$\bar{U} = \frac{gI}{3\nu} \cdot h^2$$

Distribusi Kecepatan aliran Turbulen



Di dekat dasar, tegangan geser total,  $\tau_0$  dapat didekati dengan tegangan geser turbulen (Reynolds)

$$\tau_t = -\rho \cdot \bar{u'w'} \rightarrow \text{bar} = \text{rata-rata selama selang waktu pengukuran}$$

$u'$  = fluktuasi searah aliran

$w'$  = fluktuasi vertical

$$\Delta \bar{u} = \bar{u}(z) - \bar{v}(z - \ell) \approx \ell \cdot \frac{d\bar{u}}{dz} \dots (\text{seri Taylor})$$

$$|\bar{u}| \cdot f \cdot \ell \cdot \left| \frac{d\bar{u}}{dz} \right|$$

$$|\bar{w}| \cdot f \cdot |\bar{u}|$$

$$\tau_t = \rho \cdot \ell^2 \left( \frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2 = \rho \cdot \ell^2 \cdot \left| \frac{d\bar{u}}{dz} \right| \cdot \frac{d\bar{u}}{dz}$$

Dibuat harga mutlak untuk menghindari tanda (-) misal ada aliran balik

$\ell$  = panjang campur (mixing length)

= jarak tempuh rata-rata dari partikel/ gumpalan zat cair dalam proses pencampuran

$$\tau = \rho \cdot \ell^2 \cdot \left| \frac{d\bar{u}}{dz} \right| \cdot \frac{d\bar{u}}{dz} = \rho \cdot g \cdot h \cdot I = \tau_o$$

$\ell = K \cdot Z \rightarrow \text{berlsku.didekat.dasar}$

$K = 0,4$

$$K \cdot Z \cdot \frac{d\bar{u}}{dz} = \sqrt{g \cdot h \cdot I} = u_* \rightarrow u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}$$

$$d\bar{u} = \frac{u_*}{K} \cdot \frac{dz}{z} \rightarrow U_z = \int_{z_o}^z duz$$

$$U_z = \int_{z_o}^z \frac{u_*}{K} \cdot \frac{dz}{z} = \frac{u_*}{K} [\ln \cdot z]_{z_o}^z + C = \frac{u_*}{K} \ln \cdot z - \frac{u_*}{K} \ln \cdot z_o$$

$$\bar{U}_z = \frac{u_*}{K} \ln \cdot \frac{z}{z_o}$$

Logaritmik  $z_o$  = batas bawah dimana hukum logaritmis masih berlaku

Merupakan persamaan pembagian distribusi vertical kecepatan untuk aliran turbulen baik dengan dasar licin maupun kasar

➔ Disebut hukum pembagian kecepatan universal prandate – von karman

Mencari nilai  $Z_o$

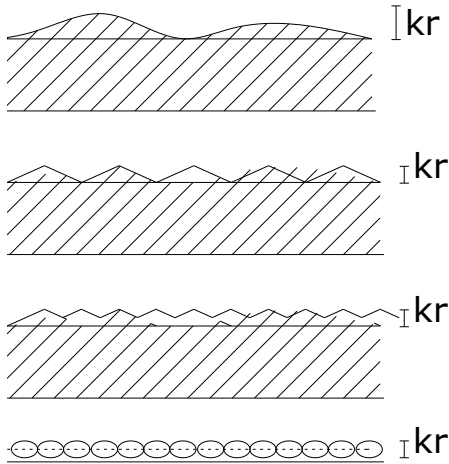
dari analisis dimensi, untuk dinding licin, persamaan berikut dapat diperoleh

$$Z_0 = \xi_L \cdot \frac{v}{u_*} \rightarrow [m] = \xi_L \frac{[m^2/s]}{[m/s]}$$

$$\bar{u} = \frac{u_*}{K} \cdot \ln\left(\frac{z \cdot u_*}{\xi_L \cdot v}\right)$$

$$\frac{\bar{u}}{u} = \frac{1}{K} \ln\left(\frac{z \cdot u_*}{v}\right) - \frac{1}{K} \ln \xi_L$$

Untuk dinding kasar, kekasaran dinding sering dinyatakan dengan menggunakan kekasaran ekuivalen dari Nikuradse, k atau ks.



$K = \text{constant} \times K_r$

$K_r = \text{tinggi kekasaran riil}$

$K$  mendekati  $d_{50}$

$K = \text{kekasaran standar atau kekasaran ekuivalen dari Nikuradse (dengan ukuran/bentuk pasir yang tertentu)}$

$$Z_0 = \xi_R \cdot K \cdot (\text{besaran yang dicari percobaan})$$

$$\bar{u} = \frac{u_*}{K} \cdot \ln\left(\frac{z}{\xi_R \cdot K}\right) \rightarrow \frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{K} \cdot \ln\left(\frac{z}{k}\right) - \frac{1}{K} \cdot \ln \xi_R$$

$\xi_L$  dan  $\xi_R$  diperoleh dari percobaan

Hasil percobaan Nikuradse :

$$-\left[\frac{1}{K} \cdot \ln(\xi_L)\right] = 5,5 \rightarrow \text{dinding hidraulik licin}$$

$$\xi_L = \frac{1}{9} \rightarrow Z_0 = \frac{v}{u_* \cdot 9}$$

Atau

$$\ln \xi_L = 2,2 \rightarrow \xi_L = \frac{1}{e^{2,2}}$$

$$-\left[\frac{1}{K} \cdot \ln(\xi_R)\right] = 8,5 \rightarrow \text{dinding hidraulik kasar}$$

$$\xi_L = \frac{1}{30} \rightarrow Z_0 = \frac{k}{30}$$

Hidraulik licin atau kasar tergantung dari nilai  $\delta = \frac{11,6 \cdot v}{u_*}$

Hasil percobaan Nikuradse:

- Dinding hidraulik licin  $\rightarrow (k \cdot u_* / v) < 5$  atau  $k < d$
- Dinding hidraulik kasar  $\rightarrow (k \cdot u_* / v) > 70$  atau  $k > d$
- Dinding hidraulik transisi  $5 < k \cdot u_* / v < 70$

## Design saluran

Persamaan yang menghubungkan antara lebar dan kedalaman aliran

Untuk saluran dengan batas rigid (non-erodible) direncanakan dengan ekonomis  $\rightarrow$  tampang ekonomis

Constraint:

- Kecepatan maks  $\rightarrow$  erosi
- Kecepatan minimal  $\rightarrow$  settlement of sediment

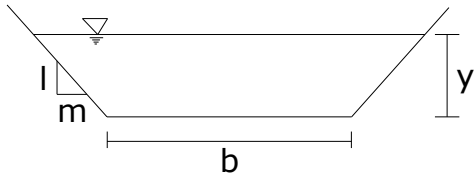
Untuk saluran erodible (natural ground: clay, silt, dan sebagainya), criteria design harus memperhitungkan tegangan geser pada batas dinding, fluida yang bergerak tidak melebihi "gaya seret kritis" dari material dasar dan ukuran material.

### 1. Saluran batas rigid

Penampang ekonomis menggunakan persamaan Darcy

$$Q = A \cdot \sqrt{\frac{8g}{\lambda} \cdot A_p \cdot S_0} = \frac{K \cdot A^{3/2}}{P^{1/2}}$$

$$A = f(y) ; P = f(y)$$



Qmax jika  $dQ/dy=0$ , yaitu  $(d/dy).(A^3/p)=0$

$$(3A^2/P).(dA/dy) - (A^3/p^2).(dp/dy)=0 \rightarrow x.(p^2/A^2)$$

$$3P.(dA/dy) - A.(dP/dy) = 0$$

Untuk luas yang diberikan  $dA/dy = 0$  dan untuk Qmax  $dp/dy = 0$ , ayitu perimeter adalah minimum

$$A = (b + my).y$$

$$P = b + 2y.\sqrt{l+m^2}$$

$$P = (A/y) - m.y + 2y.\sqrt{l+m^2}$$

$$\text{Untuk Qmax} \rightarrow dp/dy = (-A/y^2) - m + 2.\sqrt{l+m^2} = 0$$

$$= -(b + m.y) - my + 2y.\sqrt{l+m^2} = 0$$

$$\text{Atau, } b + 2my = 2y.\sqrt{l+m^2}$$

Untuk saluran persegi,  $m = 0$  dan  $b = 2y$