

Hitungan Profil Muka Air Sungai

Daftar Isi

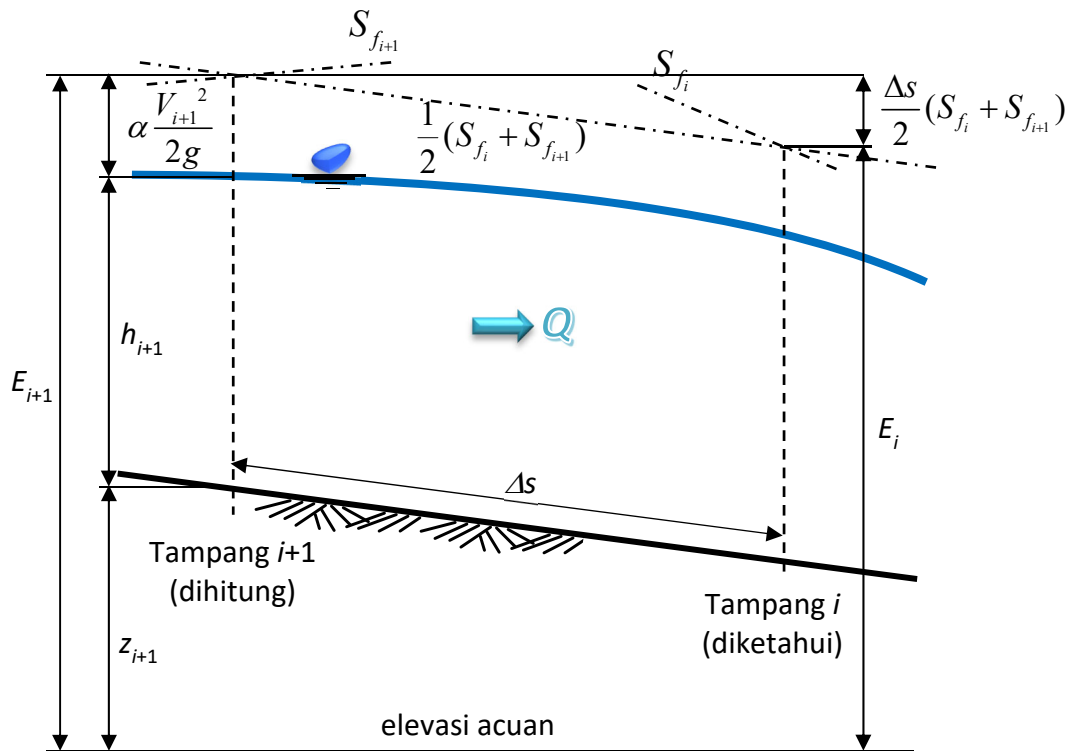
Daftar Gambar	1
Metode <i>Standard Step</i>	2
Persamaan Manning	3
Persamaan Chezy	4
Nilai <i>dPdh</i> untuk berbagai tampang sungai	4
Langkah Hitungan	4
Permulaan Hitungan	5

Daftar Gambar

Gambar 1. Konsep hitungan <i>standard step</i>	2
Gambar 2. Perubahan keliling basah (P) karena perubahan kedalaman air (dh)	4

Metode Standard Step

Pada metode ini selain dapat digunakan pada saluran yang prismaatik, dapat pula digunakan pada sungai alami. Pada metode sebelumnya, jika kedalaman air telah diketahui, maka hitungan jarak Δs (jarak antar h_i dan h_{i+1}) lebih mudah dilakukan. Pada metode ini, jika Δs sudah ditentukan, maka penentuan h_{i+1} dapat dilakukan dengan cara *trial and error*.



Gambar 1. Konsep hitungan *standard step*

Dalam proses hitungan profil muka air dalam sebuah saluran, hitungan selalu dimulai dari sebuah tampang yang telah diketahui kedalaman airnya atau tinggi energinya. Tinggi energi pada Tampang $i+1$ dapat dinyatakan dengan parameter setempat sebagai

$$E_{i+1} = z_{i+1} + h_{i+1} + \alpha \frac{V_{i+1}^2}{2g} \quad (1)$$

namun demikian tinggi energi pada Tampang $i+1$ dapat pula diprediksi/dihitung dari Tampang i yang telah diketahui kedalaman airnya (h_i).

$$E_{i+1} = E_i + \frac{\Delta s}{2}(S_{f_i} + S_{f_{i+1}}) = z_i + h_i + \alpha \frac{V_i^2}{2g} + \frac{\Delta s}{2}(S_{f_i} + S_{f_{i+1}}) \quad (2)$$

Karena yang dihitung adalah tinggi energi di lokasi yang sama, maka seharusnya nilai yang diperoleh dari kedua persamaan di atas harus sama. Namun demikian akan terdapat perbedaan dari kedua cara hitungan di atas yang seharusnya tidak terjadi. Oleh karena itu bila terdapat perbedaan harus dikoreksi sehingga perbedaan tersebut makin lama mengecil atau mendekati nol.

Akan diselidiki perubahan selisih tersebut terhadap perubahan h_{i+1} . Perlu diingat bahwa setiap variabel pada Tampang i telah diketahui sehingga:

$$\Delta E_{i+1} = \underbrace{z_{i+1} + h_{i+1} + \alpha \frac{V_{i+1}^2}{2g}}_{H_2} - \underbrace{\left(z_i + h_i + \alpha \frac{V_i^2}{2g} + \frac{\Delta s}{2} (S_{f_i} + S_{f_{i+1}}) \right)}_{H_1} \tag{3}$$

diperoleh korelasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dE_{i+1}}{dh_{i+1}} &= \frac{d}{dh_{i+1}} \left(h_{i+1} + \alpha \frac{V_{i+1}^2}{2g} - \frac{\Delta s}{2} S_{f_{i+1}} \right) \\ \frac{dE_{i+1}}{dh_{i+1}} &= 1 + \alpha \frac{V_{i+1}}{g} \frac{dV}{dh_{i+1}} - \frac{\Delta s}{2} \frac{dS_{f_{i+1}}}{dh_{i+1}} = 1 + \alpha \frac{V_{i+1}}{g} \frac{d(QA^{-1})}{dh_{i+1}} - \frac{\Delta s}{2} \frac{dS_{f_{i+1}}}{dh_{i+1}} \\ &= 1 - \alpha \frac{V_{i+1}}{g} \frac{Q}{A^2} \frac{dA}{dh_{i+1}} - \frac{\Delta s}{2} \frac{dS_{f_{i+1}}}{dh_{i+1}} = 1 - \alpha \frac{V_{i+1}}{g} \frac{Q}{A^2} W - \frac{\Delta s}{2} \frac{dS_{f_{i+1}}}{dh_{i+1}} \\ \frac{dE_{i+1}}{dh_{i+1}} &= 1 - Fr_{i+1}^2 - \frac{\Delta s}{2} \frac{dS_{f_{i+1}}}{dh_{i+1}} \text{ dengan } Fr_{i+1}^2 = \left(\frac{V^2}{g \frac{A}{\alpha W}} \right)_{i+1} \end{aligned} \tag{4}$$

dengan E adalah energi total (m), h adalah kedalaman air (m), α adalah koefisien koreksi tenaga kinetik, V adalah kecepatan rerata tampang (m/d), Δs adalah jarak antar tampang (m), S_f adalah kemiringan garis energi, Q adalah debit saluran (m³/d), A adalah luas tampang basah (m²), W adalah lebar muka air (m), Fr adalah bilangan Froude.

Nilai S_f pada persamaan di atas tergantung oleh persamaan kecepatan yang digunakan.

Persamaan Manning

Untuk persamaan Manning, $Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S_f} \rightarrow S_f = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} = n^2 Q^2 \frac{P^{4/3}}{A^{10/3}}$, kemudian

$$\begin{aligned} \frac{dS_f}{dh} &= n^2 Q^2 \frac{d}{dh} \left(\frac{P^{4/3}}{A^{10/3}} \right) = n^2 Q^2 \left(\frac{\frac{4}{3} A^{10/3} P^{1/3} \frac{dP}{dh} - \frac{10}{3} A^{7/3} P^{4/3} \frac{dA}{dh}}{A^{20/3}} \right) \\ &= n^2 Q^2 \frac{P^{4/3}}{A^{10/3}} \left(\frac{4A^{10/3} P^{-1} \frac{dP}{dh} - 10A^{7/3} W}{3A^{10/3}} \right) \\ &= S_f \left(\frac{4R \frac{dP}{dh} - 10W}{3A} \right) = -S_f \left(\frac{10W - 4R \frac{dP}{dh}}{3A} \right) \\ \frac{dE_{i+1}}{dh_{i+1}} &= 1 - Fr_{i+1}^2 + \frac{\Delta s}{2} S_f \left(\frac{10W - 4R \frac{dP}{dh}}{3A} \right) = 1 - Fr_{i+1}^2 + \left(\frac{5W - 2R \frac{dP}{dh}}{3A} \right)_{i+1} S_{f_{i+1}} \Delta s \end{aligned} \tag{5}$$

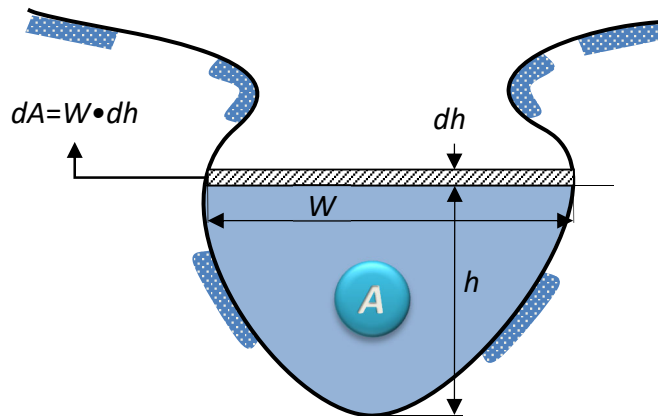
Persamaan Chezy

Untuk persamaan Chezy, $Q = AC\sqrt{RS_f} \rightarrow S_f = \frac{Q^2}{C^2 A^2 R} = \frac{Q^2 P}{C^2 A^3}$, kemudian

$$\begin{aligned} \frac{dS_f}{dh} &= \frac{Q^2}{C^2} \frac{d}{dh} \left(\frac{P}{A^3} \right) = \frac{Q^2}{C^2} \left(\frac{A^3 \frac{dP}{dh} - 3A^2 P \frac{dA}{dh}}{A^6} \right) \\ &= \frac{Q^2}{C^2 A^3} \left(\frac{A \frac{dP}{dh} - 3PW}{A} \right) = \frac{Q^2 P}{C^2 A^3} \left(\frac{R \frac{dP}{dh} - 3W}{A} \right) \\ \frac{dS_f}{dh} &= S_f \left(\frac{R \frac{dP}{dh} - 3W}{A} \right) = -S_f \left(\frac{3W - R \frac{dP}{dh}}{A} \right) \\ \frac{dE_{i+1}}{dh_{i+1}} &= 1 - Fr_{i+1}^2 + \frac{\Delta s}{2} S_f \left(\frac{3W - R \frac{dP}{dh}}{A} \right)_{i+1} = 1 - Fr_{i+1}^2 + \left(\frac{3W - R \frac{dP}{dh}}{2A} \right)_{i+1} S_{f_{i+1}} \Delta s \end{aligned} \quad (6)$$

Nilai $\frac{dP}{dh}$ untuk berbagai tampang sungai

Untuk sungai alami dianggap nilai $\frac{dP}{dh} \approx 2$, untuk persegi panjang nilai $\frac{dP}{dh} = 2$, untuk tampang trapesium nilai $\frac{dP}{dh} = 2\sqrt{1+m^2}$, dengan m adalah kemiringan tebing saluran $h:v$.



Gambar 2. Perubahan keliling basah (P) karena perubahan kedalaman air (dh)

Langkah Hitungan

Rumus di atas dapat ditulis menjadi lebih sederhana sebagai berikut:

$$dh_{i+1} = \frac{dE_{i+1}}{1 - Fr_{i+1}^2 + G_{i+1} S_{f_{i+1}} \Delta s} \quad (7)$$

dengan nilai G_{i+1} untuk persamaan Manning adalah

$$G_{i+1} = \left(\frac{5W - 2R \frac{dP}{dh}}{3A} \right)_{i+1} \quad (8)$$

untuk persamaan Chezy adalah

$$G_{i+1} = \left(\frac{3W - R \frac{dP}{dh}}{2A} \right)_{i+1} \quad (9)$$

Menurut Henderson¹ persamaan yang digunakan dapat disederhanakan menjadi

$$G_{i+1} = \left(\frac{3P}{2A} \right)_{i+1} \quad (10)$$

Hitungan dimulai dengan

1. Coba nilai h_{i+1} dan hitung $\Delta h = h_{i+1} - h_i$
2. Hitung A , W , P , R , Fr , S_f , dan G dari Tampang $i+1$ saluran
3. Hitung $\Delta h_{baru} = \frac{\Delta h_{lama}}{1 - Fr_{i+1}^2 + G_{i+1} S_{f_{i+1}} \Delta s}$
4. Hitung $h_{baru} = h_{lama} - \Delta h_{baru}$
5. Ulangi Langkah 2 sampai dengan 4 sampai $\Delta h \approx 0$

Permulaan Hitungan

Hitungan harus dimulai dari kondisi batas hulu maupun hilir yang sesuai dengan permasalahan di lapangan, kemudian dilanjutkan ke arah hilir maupun hulu sesuai dengan karakteristik profil permukaan air sepanjang sungai atau saluran.

¹ Lihat Per. (5-24), halaman 143, dalam buku *Open Channel Flow* oleh F.M. Henderson, 1966, MacMillan Publishing Co., Inc., New York.