TAMPANG SALURAN EFISIEN

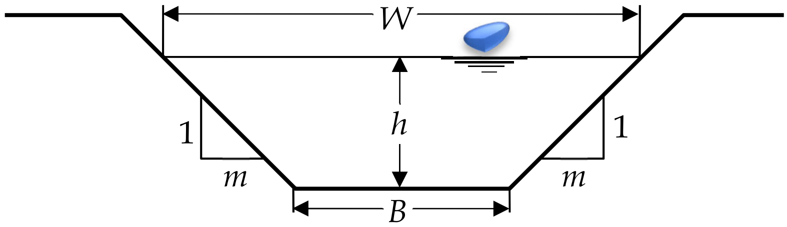
Daftar Isi

I. Pengertian

Sebuah saluran terbuka dikatakan secara hidraulis efisien jika gaya gesek yang dialami selama pengaliran adalah minimum, sehingga debit yang dihasilkan menjadi maksimum. Dengan perkataan lain: dengan luas tampang basah (*A*) yang sama, nilai keliling basah (*P*) diusahakan menjadi minimum. Dengan syarat ini maka dengan luas tampang basah yang sama, kecepatan akan menjadi maksimum (karena keliling basah (*P*) diusahakan menjadi minimum), sehingga debit aliran maksimum pula.

II. Tampang trapesium dengan nilai *m* ditentukan

Sebagai penjelasan pendahuluan, akan digunakan tampang trapesium umum yang mempunyai lebar dasar, B, kemiringan tebing/lereng saluran, m, dan kedalaman air, h, seperti disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Tampang lintang trapesium

Dimensi saluran trapesium yang secara hidraulis efisien adalah saluran dengan luas basah (A) sama, mempunyai keliling basah (P) paling minimum, dapat dijabarkan sbb:

$$A = (B + mh)h \tag{1}$$

$$P = B + 2h\sqrt{1 + m^2} \tag{2}$$

dengan B adalah lebar dasar saluran, m adalah kemiringan tebing saluran (*horisontal*:*vertikal*), h adalah kedalaman air saluran.

Pada nilai A konstan, diperoleh nilai P sebagai berikut:

$$B = \frac{A}{h} - mh \rightarrow P = \frac{A}{h} - mh + 2h\sqrt{1 + m^2} \tag{3}$$

agar diperoleh nilai P minimum, maka

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0 \tag{4}$$

$$-\frac{A}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

$$-\frac{(B + mh)h}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

$$-\frac{B}{h} - m - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0 \tag{5}$$

sehingga diperoleh nilai

$$B = 2h\left(\sqrt{1 + m^2} - m\right) \tag{6}$$

Dari nilai B tersebut, diperoleh nilai A dan P sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
A &= \left(2h\sqrt{1+m^2} - 2mh + mh\right)h \\
&= \left(2h\sqrt{1+m^2} - mh\right)h \\
&= \left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)h^2
\end{aligned}
\tag{7}
$$

$$
P = 2h\left(\sqrt{1+m^2} - m\right) + 2h\sqrt{1+m^2} = 2h\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)
\tag{8}
$$

II.A. Tampang saluran: *B*, *A*, *P*, dan *R*

Jadi tampang trapesium dengan dinding tetap yang paling efisien mempunyai karakteristik:

$$
\boldsymbol{B = 2h\left(\sqrt{1+m^2} - m\right)}
\tag{9}
$$

$$
\boldsymbol{A = \left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)h^2}
\tag{10}
$$

$$
\boldsymbol{P = 2h\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)}
\tag{11}
$$

$$
\boldsymbol{R = \frac{A}{P} = 0,5h}
\tag{12}
$$

III. Menghitung kedalaman air saluran

Untuk menghitung lebar bawah, *B*, luas tampang basah, *A*, keliling basah, *P*, dan radius hidraulik, *R*, sebuah saluran, terlebih dahulu dihitung kedalaman air saluran, *h*. Hitungan kedalaman saluran, *h*, baik dengan rumus Manning maupun Chezy dijelaskan dalam paragraf selanjutnya.

III.A. Menggunakan rumus Manning

Untuk debit aliran, koefisien Manning, dan kemiringan dasar saluran tertentu, serta kemiringan dinding saluran tertentu, maka kedalaman air dan tampang trapesium efisien dapat dihitung dengan pengaliran permanen beraturan.

$$
Q = \mathrm{AV} = \mathrm{A}\frac{1}{n}R^{2/3}I^{1/2} \rightarrow A^2R^{4/3} = \frac{n^2Q^2}{I}
$$

$$
A^2\left(\frac{h}{2}\right)^{4/3} = \frac{n^2Q^2}{I} \rightarrow \left\{\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)h^2\right\}^2 \frac{h^{4/3}}{2^{4/3}} = \frac{n^2Q^2}{I}
$$

$$
h^{16/3} = \frac{2^{4/3}n^2Q^2}{\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)^2 I} \rightarrow h = 2^{1/4}\left(\frac{n^2Q^2}{\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)^2 I}\right)^{3/16}
\tag{13}
$$

$$
B = 2^{5/4}\left(\sqrt{1+m^2} - m\right)\left(\frac{n^2Q^2}{\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)^2 I}\right)^{3/16}
\tag{14}
$$

III.B. Menggunakan rumus Chezy

Untuk debit aliran, koefisien Chezy, dan kemiringan dasar saluran tertentu, serta kemiringan dinding saluran tertentu, maka kedalaman air dan tampang trapesium efisien dapat dihitung:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{AV} = \mathrm{AC}\sqrt{RI} \rightarrow A^2 R = \frac{Q^2}{C^2 I}$$

$$\left\{\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)h^2\right\}^2 0{,}5h = \frac{Q^2}{C^2 I} \rightarrow \left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)^2 \frac{h^5}{2} = \frac{Q^2}{C^2 I}$$

$$h = 2^{1/5}\left\{\frac{Q^2}{\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)^2 C^2 I}\right\}^{1/5} \tag{15}$$

$$B = 2^{6/5}\left(\sqrt{1+m^2}-m\right)\left(\frac{Q^2}{\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)^2 C^2 I}\right)^{1/5} \tag{16}$$

IV. Tampang empat persegi panjang (*m* = 0)

Tampang empat persegi panjang, sama dengan tampang trapesium, dengan nilai $m = 0$. Dengan menggunakan Pers. (13) sampai dengan (16) maka akan diperoleh korelasi berikut ini.

IV.A. Menggunakan rumus Manning

Untuk debit aliran, koefisien Manning, dan kemiringan dasar saluran tertentu, serta kemiringan dinding saluran tertentu, maka kedalaman air dan tampang trapesium efisien dapat dihitung dengan pengaliran permanen beraturan.

$$h^{16/3} = \frac{2^{4/3} n^2 Q^2}{4I} \rightarrow h = \frac{1}{2^{2/16}}\left(\frac{n^2 Q^2}{I}\right)^{3/16} \rightarrow h = \frac{1}{2^{1/8}}\left(\frac{n^2 Q^2}{I}\right)^{3/16} \tag{17}$$

$$B = 2^{5/4}\left(\frac{n^2 Q^2}{4I}\right)^{3/16} = 2^{7/8}\left(\frac{n^2 Q^2}{I}\right)^{3/16} \tag{18}$$

IV.B. Menggunakan rumus Chezy

Untuk debit aliran, koefisien Chezy, dan kemiringan dasar saluran tertentu, serta kemiringan dinding saluran tertentu, maka kedalaman air dan tampang trapesium efisien dapat dihitung:

$$h = \left\{\frac{Q^2}{2C^2 I}\right\}^{1/5} \tag{19}$$

$$B = \left(\frac{16Q^2}{C^2 I}\right)^{1/5} \tag{20}$$

V. Nilai kemiringan tebing (*m*) hasil optimasi

Jika nilai luas tampang basah, A, dari Pers. (10) dimasukkan ke nilai keliling basah, P, pada Pers. (11) akan diperoleh

$$P = 2\sqrt{\frac{A}{2\sqrt{1+m^2}-m}}\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)$$

$$P = 2\sqrt{A\left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)} \qquad (21)$$

Pada nilai A konstan, nilai P akan minimum jika:

$$\frac{P^2}{4A} = 2\sqrt{1+m^2}-m$$

$$f = 2\sqrt{1+m^2}-m$$

$$\frac{df}{dm} = \frac{2m}{\sqrt{1+m^2}} - 1 = 0$$

$$2m = \sqrt{1+m^2} \rightarrow 4m^2 = 1+m^2$$

$$3m^2 = 1 \rightarrow m = \frac{1}{\sqrt{3}} = tan\ 30° \qquad (22)$$

V.A. Tampang saluran: *B*, *A*, dan *P*

Jadi tampang trapesium dengan dinding tetap yang paling efisien mempunyai karakteristik:

$$B = 2h\left(\sqrt{1+m^2}-m\right) = 2h\left(\sqrt{1+\tfrac{1}{3}}-\tfrac{1}{\sqrt{3}}\right) = \tfrac{2h}{\sqrt{3}} \qquad (23)$$

$$A = \left(2\sqrt{1+m^2}-m\right)h^2 = \left(2\sqrt{1+\frac{1}{3}}-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)h^2 = h^2\sqrt{3} \qquad (24)$$

$$P = 2\sqrt{A(2\sqrt{1+m^2}-m)} = 2\sqrt{h^2\sqrt{3}\left(2\sqrt{1+\frac{1}{3}}-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)} = 2h\sqrt{3} \qquad (25)$$

V.B. Menghitung kedalaman air saluran

Untuk menghitung lebar bawah, B, luas tampang basah, A, keliling basah, P, dan radius hidraulik, R, sebuah saluran, terlebih dahulu dihitung kedalaman air saluran, h. Hitungan kedalaman saluran, *h*, baik dengan rumus Manning maupun Chezy dijelaskan dalam paragraf selanjutnya.

a) Menggunakan rumus Manning

Untuk debit aliran, koefisien Manning, dan kemiringan dasar saluran tertentu, maka kedalaman air dan tampang trapesium efisien dapat dihitung:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{AV} = \mathrm{A}\frac{1}{n}R^{2/3}I^{1/2} \rightarrow \frac{A^{10/3}}{P^{4/3}} = \frac{n^2Q^2}{I} \tag{26}$$

$$\frac{h^{20/3}3^{5/3}}{h^{4/3}2^{4/3}3^{2/3}} = \frac{n^2Q^2}{I} \rightarrow \frac{3h^{16/3}}{2^{4/3}} = \frac{n^2Q^2}{I} \tag{27}$$

$$h^{16/3} = \frac{2^{4/3}n^2Q^2}{3I} \rightarrow h = \frac{2^{1/4}}{3^{3/16}}\left(\frac{n^2Q^2}{I}\right)^{3/16} \tag{28}$$

$$B = \frac{2}{\sqrt{3}}h \rightarrow B = \frac{2^{5/4}}{3^{11/16}}\left(\frac{n^2Q^2}{I}\right)^{3/16} \tag{29}$$

b) Menggunakan rumus Chezy

Untuk debit aliran, koefisien Chezy, dan kemiringan dasar saluran tertentu, maka kedalaman air dan tampang trapesium efisien dapat dihitung:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{AV} = \mathrm{AC}\sqrt{RI} \rightarrow \frac{A^3}{P} = \frac{Q^2}{C^2I} \tag{30}$$

$$\frac{h^6 3^{3/2}}{2h3^{1/2}} = \frac{Q^2}{C^2I} \rightarrow \frac{3h^5}{2} = \frac{Q^2}{C^2I} \tag{31}$$

$$h = \left(\frac{2}{3}\frac{Q^2}{C^2I}\right)^{1/5} \tag{32}$$

$$B = \frac{2}{\sqrt{3}}h = \frac{2^{6/5}}{3^{7/10}}\left(\frac{Q^2}{C^2I}\right)^{1/5} \tag{33}$$