

Tahanan pada Aliran Air

Oleh : Ruzardi



Ruzardi, dilahirkan pada 29 September 1955 di Padang Pariaman. Menyelesaikan pendidikan S-1 pada Fakultas Teknik Ull Jurusan Teknik Sipil, dan S-2 di Institut Teknologi Bandung. Sekarang sebagai dosen tetap pada almamaternya Ull.

Pernah menangani beberapa pembangunan kampus dan pernah menjadi konsultan pada Departemen Pertanian Ditjen Perikanan untuk pembangunan irigasi tambak pada proyek ADB. Sekarang bergabung bersama konsultan Jepang pada proyek OECF dalam menangani penanggulangan bahaya banjir lahar Gunung Kelud, Jawa Timur.

I. Pendahuluan

Aliran air

Aliran air yakni perpindahan air dari suatu tempat ke tempat lain. Aliran tersebut dapat disebabkan oleh gaya gravitasi bumi, perbedaan tinggi tekanan atau dengan pertolongan tenaga luar seperti pompa. Dalam pengalirannya air dapat berupa saluran terbuka ("open channel flow"), maupun aliran pipa ("pipe flow"). Aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas ("free surface") sehingga dipengaruhi oleh tekanan udara tetapi pengaruh yang umum adalah akibat gaya gravitasi. Aliran pada pipa terkurung dalam saluran tertutup tidak dipengaruhi oleh perbedaan tinggi tekanan. Bentuk kedua jenis ini dapat dilihat pada gambar 1.1.



Aliran pipa



Aliran saluran terbuka

Gambar 1.1 Perbandingan aliran pipa dengan aliran saluran terbuka.

Keterangan Gambar :

- Z = Jumlah tinggi tempat diukur terhadap perbandingan tertentu.
- Y = p/γ = tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang, disebut juga tinggi tekanan.
- $V^2/2g$ = tinggi kecepatan.
- hf = energi yang hilang ketika air mengalir dari penampang 1 ke penampang 2.

Pengertian tahanan

Energi yang hilang akibat pengaliran air dari suatu tampang ketampang

berikutnya sangat bergantung pada bentuk permukaan saluran. Bentuk permukaan yang kasar akan memberikan energi hilang yang besar karena mempunyai nilai tahanan yang besar dan sebaliknya bentuk permukaan yang halus. Faktor tekanan ini juga dipengaruhi antara lain oleh kecepatan air dalam saluran, kedalaman air, luas tampang basah dan lain sebagainya. Sejak abad ke 18 telah banyak insinyur yang mencoba mencari besarnya nilai tahanan pada saluran aliran seragam, tetapi tidak banyak dari penemuan-penemuan tersebut yang memenuhi syarat.

Rumus yang banyak dipakai dan terkenal sampai saat ini adalah rumus-rumus yang ditemukan oleh "Chezy" dan "Manning", ada juga rumus yang dikemukakan oleh "Einstein".

Besarnya tahanan ini diturunkan dari rumus-rumus aliran seragam teoritis. Bentuk persamaan yang mendasari rumus tahanan pada aliran seragam yaitu :

$$U/U^* = f(Re, D/d, 1/Rw, t/gS'D)$$

Dengan :

$$U/U^* = \text{Suatu ukuran tahanan} = U / \sqrt{g Re}$$

Re = Bilangan Reynolds = UR/V

D/d = Kekasaran relatif

Rw = Bilangan Reynolds dari partikel (berhubungan dengan kecepatannya yaitu = wD/v)

$T/\gamma_s D$ = Bilangan Froud

γ_s' = Berat spesifik partikel

w = kecepatan jatuh

Berdasarkan faktor-faktor tersebut di atas maka dapat dijabarkan tahanan aliran untuk aliran seragam tunak ("steady uniform flow").

Dewasa ini ada beberapa rumusan yang cukup dikenal untuk mencari nilai hambatan pada aliran, yaitu :

1. Rumus "Darcy-Weisbach" dengan faktor gesekan f.
2. Rumus "Chezy" dengan faktor tahanan C.
3. Rumus "Manning" dengan koefisien kekasaran n.
4. Rumus "Pendekatan Einstein".

Rumus "Darcy-Weisbach" digunakan untuk saluran tertutup (pipa), rumus "Chezy" dan "Manning" digunakan untuk saluran terbuka dengan dasar tak tererosi, dan rumus "Pendekatan Einstein" untuk saluran terbuka dengan dasar tererosi.

Batasan Masalah

Bahasan selanjutnya akan membicarakan rumus "Chezy" dan "Manning" untuk saluran turbulen dengan dasar tak tererosi.

Rumus-rumus ini hanya berlaku untuk aliran seragam tunak yaitu kedalaman muka air aliran tiap penampang saluran dalam waktu tertentu tidak berubah.

Aliran ini mempunyai ciri-ciri :

1. Kedalaman, luas tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap penampang pada bagian saluran yang luas adalah tetap.
2. Garis energi, muka air dan kemiringan dasar saluran sejajar, ini berarti kemiringan sama atau :
Sf = Sw So = S

II. Tahanan aliran pada dasar saluran Tinjauan Rumus "Chezy"

Pada tahun 1769 seorang insinyur Perancis Antoine Chezy telah membuat rumusan besarnya koefisien tahanan untuk aliran pada aliran terbuka. Bersama temannya Lion Rodolp Derronet mereka telah mempelajari sebuah saluran di

Perancis dan merumuskan besarnya gaya pada saluran sebagai berikut :

$$\tau_o = f \rho U^2 / 8 \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

τ_o = Gaya geser pada saluran

f = Faktor gesekan

ρ = Rapat massa air

U = Kecepatan rata-rata.

g = Percepatan gravitasi

Kecepatan geser rata-rata :

$$U_* = \sqrt{\tau_o} / \rho \dots\dots\dots (2.2)$$

$$U_* = \sqrt{gRS} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dari rumus 2.1, 2.2, dan 2.3 maka didapatkan :

$$U = \sqrt{8\gamma / f\rho} \sqrt{RSe} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$U = C \sqrt{RSe} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

C = Koefisien tahanan Chezy

Se = Kemiringan garis energi.

γ = Berat spesifik air.

R = Jari-jari hidrolis.

Untuk menghitung kemiringan garis energi (Se) digunakan rumus :

$$Se = Sw - Fr^2 (Se - Sb) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

Sw = Kemiringan muka air

$Fr^2 = U^2/gd$

U = Kecepatan rata-rata

d = Tinggi muka air

Sb = Kemiringan dasar saluran.

Penentuan faktor tahanan Chezy

Ada tiga rumus penting untuk menentukan koefisien Chezy (C), yaitu :

(1) Rumus Ganguilet Kutter.

Pada tahun 1869 dua orang insinyur Swiss, Ganguillet dan Kutter menemukan rumus yang menyatakan besarnya nilai C berhubungan dengan kemiringan S, jari-jari R dan koefisien kekasaran n. Rumus ini dalam satuan Inggris adalah :

$$C = \frac{41,65 + (0,00281 / S) + (1,811 / n)}{1 + (41,65 + 0,00281 / S) (n\sqrt{R})} \dots\dots (2.7)$$

Koefisien n dalam rumus ini dikenal dengan n dari Kutter dan besarnya bervariasi dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Nilai koefisien kekasaran n*

Tipe saluran	kekasaran n*
B a j a	0,010
Logam beralur	0,024
K a c a	0,010
Beton dipoles	0,013
Beton tidak dipoles	0,014
K a y u	0,017
Lempung	0,013
Batu dilapis semen	0,015

*dikutip dari "Ven Te Chow" Hidrolika saluran terbuka.

(2) Rumus Bazin

Bazin adalah seorang ahli hidrolika Perancis yang pada tahun 1897 mengusulkan rumus koefisien C dari Chezy yang merupakan fungsi dari R dan S.

Rumus ini dalam satuan Inggris dinyatakan sebagai berikut :

$$C = \frac{157,6}{1 + (m / \sqrt{R})} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan m merupakan koefisien kekasaran yang oleh Bazin nilainya diberikan seperti tabel (2.1) di bawah ini.

Tabel 2.2 Nilai m yang diusulkan Bazin*

Tipe saluran	m
Papan diserut, disemen halus	0,11
Papan tidak diserut, beton atau bata	0,21
Batu tempel, pasangan batu pecah, plesteran batu kasar	0,83
Saluran tanah yang licin	1,54
Saluran tanah yang sedang	2,36
Saluran tanah yang kasar	3,17

*dikutip dari "Ven Te Chow" Hidrolika saluran terbuka.

(3) Rumus Powell

Pada tahun 1950 Powell mengusulkan suatu rumus logaritmis untuk kekasaran saluran buatan.

Rumus ini menyatakan fungsi C adalah :

$$C = -42 \log (C/4 R_1) + (e/R) \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan :

R = jari-jari hidraulis dalam inchi

R₁ = bilangan Reynold

e = ukuran kekasaran saluran.

Nilai e yang diusulkan oleh Powell sebagaimana dalam tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Nilai-nilai percobaan untuk e (Powell)*

Tipe saluran	Nilai e (Powell) baru lama
Permukaan disemen halus	0,0002 0,0004
Talang papan tak diserut	0,0010 0,0017
Saluran berlapis beton	0,0040 0,0060
Saluran tanah lurus dan seragam	0,0400
Saluran kerakan tanah	0,1000

*dikutip dari buku "Ven Te Chow" Hidrolika saluran terbuka.

Tinjauan rumus Manning

Rumus Manning pertama kali telah ditemukan pada tahun 1885 tetapi tidak dipublikasikan. Baru pada tahun 1889 Manning pertama kali mengungkapkan rumusnya dalam makalah yang dibacakan pada pertemuan insinyur sipil di Irlandia di "Institution of Civil Engineers of Ireland". Manning memperkenalkan suatu persamaan untuk memperkirakan kecepatan rata-rata dalam saluran terbuka. Rumus ini digunakan untuk menentukan tahanan pada aliran.

Bentuk rumus yang terkenal yaitu :

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \text{ (dalam satuan metrik)..... (2.11)}$$

$$U = \frac{1,49}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \text{ (dalam satuan Inggris).. (2.12)}$$

dengan :

U = kecepatan aliran rata-rata (m/dt., ft/dt).

R = jari-jari hidrolis (m, ft.)

S_e = kemiringan garis energi.

n = koefisien kekasaran manning.

Mengenai dimensi nilai n dapat dilihat sebagai berikut :

$$U_s = \sqrt{g R S_e} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dari rumus (2.11) dan (2.12) didapat :

$$\frac{U}{U_s} = \frac{1}{n} \frac{R^{2/3}}{\sqrt{g}} \frac{S_e^{1/2}}{R^{2/3} S_e^{1/2}} = \frac{R^{1/3}}{n \sqrt{g}} \dots\dots\dots (2.14)$$

dari rumus ini didapat dimensi n = TL^{-1/3} Dimensi ini adalah tidak mungkin untuk diterima karena koefisien kekasaran mengandung fungsi waktu. Untuk mengubah keganjilan ini maka dianggap : n = n / Vg, dan rumus ini disubstitusikan ke dalam persamaan 2.14 sehingga

menghasilkan dimensi $n = L^{1/6}$, dimensi ini lebih dapat diterima. Bila dipelajari lebih lanjut dalam buku-buku ternyata tidak diperoleh bahasan yang jelas mengenai dimensi n ini. Oleh karena itu untuk memudahkan maka dianggap n sebagai koefisien yang tidak berdimensi.

Penentuan koefisien kekasaran Manning

Penentuan koefisien kekasaran Manning ini cukup sulit, karena tidak ada cara yang tertentu untuk pemilihan harga n . Memilih suatu harga n tertentu berarti memperkirakan hambatan aliran pada saluran yang sebetulnya sulit untuk dapat diperhitungkan. Ada dua cara yang dapat dipakai untuk penentuan kekasaran n ini yaitu :

a. Cara perkiraan

Cara ini lebih banyak berdasar pengalaman, yaitu dengan mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai n , memeriksa dan memahami sifat-sifat beberapa saluran yang koefisien kekasarannya telah diketahui. Nilai n yang diambil ini dicocokkan dengan tabel dari nilai-nilai n untuk berbagai tipe saluran. Kemudian baru dijatuhkan suatu pilihan nilai n yang sesuai.

b. Cara analitis

Cara ini berdasarkan pembagian kecepatan teoretis pada penampang saluran dan data pengukuran kecepatan maupun pengukuran kekasaran. Dari metoda pengukuran kecepatan dapat diuraikan sebagai berikut ini. Dari hukum pembagian kecepatan universal "Prandtl-Von Karman" diperoleh :

$$V = 5,75 V_f \log \frac{30 y}{k} \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan :

- V_f = kecepatan geser,
- y = kedalaman muka air,
- k = kekasaran pasir Nikuradse.

Besar kecepatan geser :

$$V_f = \sqrt{\tau_o / \rho} = \sqrt{g R S} \dots\dots\dots(2.16)$$

Misalkan diambil kecepatan pada $V_{0,2}$ dan $V_{0,8}$ yang berarti mempunyai jarak $y = 0,8 y$ dan $0,2 y$ dari muka air. Bila dimasukkan kedalam rumus (2.15) didapat :

$$V_{0,2} = 5,75 V_f \log \frac{24 y}{k} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$V_{0,8} = 5,75 V_f \log \frac{6y}{k} \dots\dots\dots(2.18)$$

Kedua persamaan di atas, nilai V_f dihilangkan, maka didapat :

$$\log \frac{y}{k} = \frac{0,778 x - 1,381}{1 - x} \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan : $x = V_{0,2} / V_{0,8}$,
Keulegan, mengajukan rumus teoritis untuk saluran seragam yaitu :

$$V = V_f \left(6,25 + 5,75 \log \frac{R}{k} \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan anggapan $R = y$, maka dari rumus (2.19) dan (2.20) didapat :

$$\frac{V}{V_f} = \frac{1,78(x + 0,95)}{x - 1} \dots\dots\dots(2.21)$$

dari hubungan rumus Chezy dan Manning didapatkan :

$$C \frac{1,49}{n} R^{2/3} \dots\dots\dots(2.22)$$

Rumus Chezy =

$$V = C\sqrt{RS} \text{ dan kecepatan geser } V_f = \frac{C}{\sqrt{g RS}}$$

didapat: $\frac{V}{V_f} = \frac{C}{\sqrt{g}}$ (2.23)

Dengan anggapan $R = y$, maka dari rumus (2.22) dan (2.23) didapat :

$$\frac{V}{V_f} = \frac{y^{1/6}}{3,81 n} \text{(2.24)}$$

Suku bagian kanan dari persamaan (2.21) disamakan dengan persamaan (3.24) sehingga menghasilkan :

$$n = \frac{(x - 1)y^{1/6}}{6,78(x + 0,95)} \text{ (2.25)}$$

Persamaan ini menghasilkan nilai n (kekasaran Manning) dengan pembagian kecepatan logaritmis.

c. Rumus Manning Strickler.

Strickler pada tahun 1923 menentukan n Manning sebagai suatu fungsi dari ukuran butir yaitu :

$$n = \frac{D^{1/6}}{21,1} \text{(2.26)}$$

Dengan D adalah butir pasir yang seragam dalam mm. Strickler melakukan percobaan ini pada suatu saluran kecil. Pada bagian dasar dan dinding saluran dipasang pasir yang diratakan. Oleh karena itu rumus ini hanya berlaku untuk dasar yang terdiri dari pasir dan tidak bergerak.

Dalam bentuk yang berbeda rumus Strickler diberikan sebagai berikut :

$$n = \frac{50_{50}^{1/6}}{31,3} = 0,0032 D_{50}^{1/6} (D_{50} \text{ dalam feet}) \text{(2.27)}$$

$$n = \frac{D_{65}^{1/6}}{75,75} = 0,0132 D_{65}^{1/6} (D_{65} \text{ dalam mm}) \text{(2.28)}$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi koefisien kekasaran Manning.

Faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap koefisien kekasaran baik saluran buatan maupun alam cukup banyak, faktor ini akan disinggung secara garis besar saja.

(a) Kekasaran permukaan

Kekasaran ini ditandai dengan ukuran bentuk butiran bahan yang membentuk luas tampang basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran.

(b) Tetumbuhan

Tetumbuhan dapat digolongkan dalam jenis kekasaran permukaan, tetapi hal ini juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.

(c) Ketidak teraturan saluran

Ketidak teraturan ini merupakan tambahan kekasaran yang ditimbulk oleh permukaan.

(d) Trace saluran

Kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang rendah dan begitu sebaliknya.

(e) Pengendapan dan penggerusan

Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang amat sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan sehingga memperkecil n , sedang penggerusan dapat membuat saluran tidak beraturan sehingga memperbesar n .

(f) Hambatan

Hambatan balok, sekat, pilar jembatan dan sejenisnya cenderung memperbesar n .

(g) Ukuran dan bentuk saluran

Saluran tampang segitiga mempunyai nilai n lebih besar bila dibandingkan dengan bentuk trapesium. Juga saluran sempit akan lebih besar nilai n dari pada saluran lebar.

(h) Debit aliran

Debit aliran yang kecil akan lebih nilai n daripada debit yang besar.

(i) Perubahan Musim

Musim ini mempengaruhi tetumbuhan pada saluran. Pada musim semi tetumbuhan akan banyak sehingga nilai n akan besar.

(j) Endapan melayang dan endapan dasar

Bahan-bahan yang melayang dan endapan dasar baik yang bergerak maupun tak bergerak akan menyerap energi dan menyebabkan kehilangan tinggi energi atau memperbesar kekasaran saluran.

Semua faktor diatas harus dipelajari dan dinilai dengan memperhatikan secara keseluruhan sehingga akan didapatkan suatu nilai n yang sesuai.

Hubungan rumus "Chezy" dan "Manning"

Dari rumus Chezy $U = C\sqrt{R}$

Dan rumus

Manning $U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ (satuan metrik)

$U = 1.486 / n R^{2/3} S^{1/2}$ (satuan Inggris)

Bila kedua rumus disamakan, maka koefisien C dapat disajikan sebagai suatu fungsi dari n , yaitu :

$$C\sqrt{RS} = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \text{ (satuan metrik)}$$

$$C\sqrt{RS} = 1.486 / n R^{2/3} S^{1/2}$$

$$C = 1.486 / n R^{1/6} \text{ (Satuan Inggris)}$$

Berkaitan dengan hubungan ini, rumus Manning kadang-kadang dianggap sebagai variasi dari koefisien Chezy.

Rumus Manning n memberikan hasil yang baik bila digunakan pada saluran yang kasar sampai dengan yang halus pada saluran lingkaran, tetapi kurang memuaskan untuk saluran alluvial. Dalam penyelesaian persoalan saluran terbuka faktor koefisien Manning ini lebih banyak digunakan.

Kesimpulan

1. Dari uraian tersebut diatas nampak bahwa rumus-rumus yang dikemukakan penemuannya sudah cukup lama dan sampai sekarang masih banyak digunakan oleh para praktisi lapangan dalam perencanaan saluran maupun sungai. Dan pada umumnya dalam penggunaan untuk perhitungan lebih disukai menggunakan rumus Manning.
2. Indonesia mempunyai keadaan iklim dan geografi yang berbeda dengan negara dimana rumus-rumus tersebut diteliti dan ditemukan, sehingga pemakaiannya untuk kondisi Indonesia masih perlu diteliti lebih lanjut apakah dapat dipakai dengan memuaskan dan cocok untuk kondisi disini.
3. Pengambilan nilai kekasaran ini berpengaruh sekali terhadap pengaliran air. Ketidaktapatan dalam pengambilan/analisis nilai dapat berakibat tidak mengalirnya air pada saluran atau bisa jadi tererosinya dasar saluran, sehingga berakibat tidak stabilnya kondisi saluran. Oleh karena itu dalam perencanaan dituntut pengalaman dan ketelitian.