



Fakultas Teknik

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL #3

“Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru
untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)”

UJI EKSPERIMENTAL KEKASARAN BATU KAPUR SEBAGAI Lapis Dasar Saluran

Wa Ode Zulia Prihatini¹, Asep Huddiankuwera², Rezky Aprilyanto Wibowo³

¹Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Dayanu Ikhwanuddin

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

¹zuliatitin@gmail.com, ²asephuddiankuwera@gmail.com, ³rezkyaprilyantowibowo@gmail.com.

ABSTRAK

Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan yang berbeda yaitu udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dibanding kerapatan air. Hambatan terhadap aliran pada saluran-saluran alam adalah penting dalam mengatasi masalah-masalah teknik hidrolik dan sedimentasi. Kesulitan terbesar dalam pemakaian Rumus Manning adalah menentukan koefisien kekasaran n, sebab tidak ada cara yang tertentu untuk pemilihan nilai n. Banyak saluran alam mempunyai material lapisan bawah permeabel seperti batu kerikil, batu kapur dan lain-lain. Dari hasil pengujian dan analisis data di dapatkan dasar saluran menggunakan batu kapur dengan kemiringan 0.25 %, 0.50% , 0.75% , 1.00% diperoleh nilai kekasaran untuk lapisan dasar batu kapur berturut-turut adalah 0.0115, 0.0124 , 0.0123, dan 0.0120.

Kata kunci: Saluran Terbuka, Hidrolik, Koefisien Manning.

ABSTRACT

Flow in an open channel is flow that has a free surface. The free surface is a meeting of two fluids with different densities, namely air and water, where the density of air is much smaller than the density of water. Obstacles to flow in natural channels are important in overcoming engineering problems of hydraulics and sedimentation. The biggest difficulty in using the Manning Formula is determining the roughness coefficient n, because there is no specific way to select the n value. Many natural channels have permeable bottom layer materials such as gravel, sand and others. From the test results and data analysis, it was found that the channel base used sand with a slope of 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%. The roughness values for the sand base layer were 0.0115, 0.0124, 0.0123, and 0.0120, respectively.

Keywords: Open Channel, Hydraulics, Manning Coefficient.

1. PENDAHULUAN

Saluran dimana air mengalir dengan permukaan air bebas disebut juga saluran terbuka. Aliran air yang melalui saluran terbuka memiliki kecepatan dengan bentuk aliran yang berubah sesuai dengan hambatan (dipengaruhi kekasaran dinding saluran), kemiringan dan penampang saluran. Pengaruh besarnya kekasaran pada saluran dapat dinyatakan dalam suatu nilai yang disebut dengan koefisien kekasaran. Bentuk dan besar kecilnya partikel di permukaan saluran akan mempengaruhi besarnya kekasaran, semakin besar butiran penyusun permukaan di saluran maka nilai kekasarannya relatif besar dan sebaliknya. Kekasaran permukaan ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luasan basah yang menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan ρ (density) yang berbeda yaitu udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dibanding kerapatan air. Aliran saluran dibuat variasi kemiringan dasar saluran 0,0087; 0,0175; 0,0349 dan 0,0524 dengan debit bervariasi 1-4,5 liter/detik. Tujuan dari penelitian ini yakni melakukan percobaan guna menggambarkan terjadinya perbedaan angka koefisien kekasaran Manning (n) dari bahan saluran yang sama dari kemiringan dan debit yang berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Terbuka

Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka



Fakultas Teknik

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL #3

“Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)”

bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*). Sungai, saluran irigasi, selokan, estuari merupakan saluran terbuka, sedangkan terowongan, pipa, aqueduct, gorong-gorong, dan siphon merupakan saluran tertutup. Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Dalam buku ini keduanya mempunyai arti yang sama atau sinonim. Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfir. Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas dan aliran dalam saluran penuh, aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Aliran dalam pipa tidak mempunyai tekanan atmosfir akan tetapi tekanan hidraulik

2.2 Aliran Laminer dan Turbulen

Partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang paralel, maka alirannya disebut aliran laminer. Sebaliknya jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang maupun waktu, maka alirannya disebut aliran turbulen. Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas dominan, alirannya laminer, jika gaya inersia yang dominan, alirannya turbulen.

$$R_e = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (1)$$

dengan :

- V = Kecepatan aliran (m/det),
- L = Panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas
- R = Jari-jari hidraulik saluran,
- ν = Kekentalan kinematik (m^2/det).

2.3 Kemiringan saluran (S)

Kemiringan dasar saluran adalah kemiringan arah memanjang saluran yang diatur untuk mendapatkan kecepatan aliran yang diizinkan. Kemiringan normal (S_n) adalah kemiringan dasar saluran prismaatis pada aliran seragam. Nilai kemiringan normal dapat dihitung bila nilai-nilai debit (Q), angka Manning (n), lebar saluran (B), dan kedalaman normal (h_n) diketahui.

$$S_n = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (2)$$

dengan :

- S_c = Kemiringan kritis.
- n = Angka kekasaran Manning
- Q = Debit
- A_c = Luas tampang pada aliran kritis.
- R_c = Jari-jari hidraulik pada aliran kritis.

2.4 Debit Saluran

Investigasi air permukaan memerlukan evaluasi besarnya debit aliran. Dengan kata lain, adalah ketersediaan air (permukaan) dengan segala variasi atau fluktuasi besarnya air permukaan tersebut seiring dengan perubahan musim. Debit adalah jumlah aliran air (volume) yang mengalir melalui suatu penampang dalam waktu tertentu.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

dengan :

- Q = Debit aliran (m^3/dtk)
- V = jumlah aliran air yang mengalir (m^3)
- t = Luas tampang pada aliran kritis.

2.5 Dimensi Saluran

Besarnya luas permukaan (A), keliling Basah (P), dan jari-jari hidrolik (R) secara berturut-turut dapat



Fakultas Teknik

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL #3

“Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)”

dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$A = b \times h \quad (4)$$

$$P = b + 2h \quad (5)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (6)$$

dengan :

A = Luas penampang aliran (m^2)

P = Keliling Basah (m)

R = Jari-jari hidrolik (m)

b = Lebar saluran (m)

h = Kedalaman saluran (m)

2.6 Formula Manning

Formula Manning pada dasarnya adalah suatu cara menduga kecepatan aliran dengan pendekatan kekasaran saluran (channel roughness). Dari hasil-hasil pengukuran sejumlah besar saluran – saluran dengan berbagai ukuran yang berbeda .

$$V = \frac{1}{n_1} R_1^{2/3} S^{1/2} \quad (7)$$

Dimana n dikenal sebagai koefisien kekasaran Manning. Perlu dicatat bahwa n bukan bilangan nondimensional, tetapi berdimensi $TL^{-1/3}$. Dari kedua rumus kecepatan Chezy dan Manning dapat ditarik suatu korelasi antara koefisien Chezy dan koefisien Manning.

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (8)$$

dengan :

V = Kecepatan m/det

C = Koefesien Chezy M^2/det

R = Jari – jari hidrolis (m)

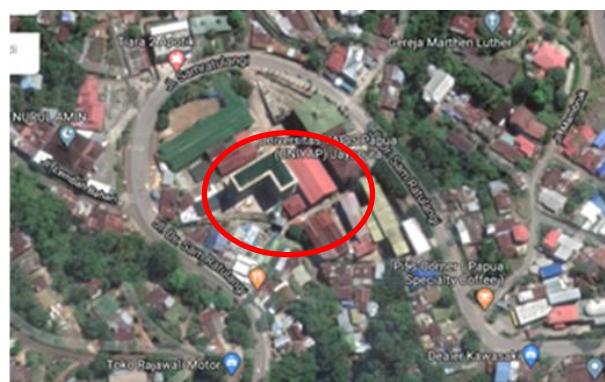
S = Kemiringan dasar

n = Kekasaran koefisien manning

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlangsung dari bulan maret sampai september 2023. lokasi penelitian dilaksanakan di laboratorium Universitas Yapis Papua Kota Jayapura Provinsi Papua.



Gambar 1. Laboratorium Universitas Yapis Papua
Sumber : Google Earth



Fakultas Teknik

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL #3

“Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)”

3.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan adalah eksperimental, dimana kondisi dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada penelitian terdahulu dan literature yang berkaitan serta peralatan yang digunakan untuk pengujian karakteristik dan sifat fisik pengujian yang tersedia di Laboratorium.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Persiapan Penelitian

- a. Alat
- b. bahan.

Pengumpulan Data

- a. Ketinggian air pada saluran
 - b. Kecepatan aliran
 - c. Dimensi Saluran
- Analisis data
- a. Menghitung luas penampang
 - b. Menghitung keliling basah
 - c. Menghitung jari-jari hidrolik
 - d. Menghitung kekasaran batu kapur

Hasil Pengamatan

- a. koefisien kekasaran (nh)

3.4 Teknik Analisis Data

Untuk memperoleh informasi dan data yang akurat dilapangan maka pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

a.Data Primer

Data primer diperoleh dengan pengukuran langsung di laboratorium.

b.Data sekunder

Data sekunder adalah literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lapisan Dasar Saluran

Lapisan dasar saluran yang dievaluasi pada penelitian ini digunakan lapis dasar saluran menggunakan batu kapur. Koefisien kekasaran manning untuk batu kapur adalah 0,022. Lapisan dasar yang digunakan untuk evaluasi terbuat dari bahan akrilik dengan ukuran lebar 14 cm dan panjang saluran yaitu 400 cm. lapisan dasar berupa batu kapur dibuat dengan memberi lem silicon pada permukaan akrilik kemudian batu kapur dengan ukuran 0,6 mm diletakan pada permukaan akrilik yang telah diberi lem silicon. Selanjutnya lapisan dasar berupa batu kapur dipasang pada saluran buatan dengan ukuran panjang 400 cm, lebar 14 cm dan tinggi 25 cm .





Gambar 2. Lapisan Dasar Saluran Batu kapur
Sumber : Data Pribadi, 2024

4.2 Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran pada penelitian ini dilakukan dengan memberi perubahan pada tinggi saluran, yaitu dengan menaikan bagian ujung saluran dengan cara memutar tuas pada ketinggian 1 cm, 2 cm, 3 cm,dan 4 cm sehingga perubahan kemiringan dasar saluran berturut turut yaitu, 0,0025; 0,0050; 0,0075; 0,0100 seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis kemiringan dasar saluran

| x (cm) | y (cm) | % | S |
|--------|--------|-------|--------|
| 1 | 400 | 0,25% | 0,0025 |
| 2 | 400 | 0,50% | 0,0050 |
| 3 | 400 | 0,75% | 0,0075 |
| 4 | 400 | 1,00% | 0,0100 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

Kemiringan saluran yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,25% - 1,0%,dimana untuk mendapatkannya digunakan perhitungannya sebagai berikut:

$$S = \frac{X}{Y} \times 100\%$$

$$S = \frac{1}{400} \times 100\% = 0,25\%$$

Untuk kemiringan 0,5 ; 0,75 ; dan 1,0% dapat dilihat ditabel 1.



Gambar 2. Tuas pengatur kemiringan saluran
Sumber : Data Pribadi, 2024

4.3 Hasil Pengujian

Menghitung ketinggian rata-rata air di dalam saluran untuk setiap kemiringan. Pengukuran ketinggian air



Fakultas Teknik

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL #3

“Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)”

dilakukan sebanyak lima kali pengukuran di bagian tengah sepanjang saluran. Dari hasil pengukuran diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil pengukuran ketinggian air pada setiap kemiringan

| Kemiringan dasar saluran | Ketinggian air(cm) | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|--------|-----------|
| | h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | hr(cm) | hr(meter) |
| 0,0025 0,25% | 4,5 | 4,1 | 4,5 | 3,9 | 3,8 | 4,16 | 0,0416 |
| 0,005 0,50% | 3,0 | 3,3 | 4,1 | 3,6 | 3,5 | 3,50 | 0,0350 |
| 0,0075 0,75% | 3,5 | 2,8 | 3,4 | 3,1 | 3,0 | 3,16 | 0,0316 |
| 0,01 1,00% | 2,8 | 2,6 | 3,4 | 3,2 | 2,8 | 2,96 | 0,0296 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

Menghitung ketinggian air rata-rata (hr) pada kemiringan 0,25% adalah

$$h \text{ rata - rata} = \frac{4,5 + 4,1 + 4,5 + 3,9 + 3,8}{5} = 4,16 \text{ cm}$$

untuk kemiringan 0,5 ; 0,75 dan ; 1 % dapat dilihat pada tabel 3. Menghitung Kecepatan Aliran Rata-Rata Air Didalam Saluran Untuk Setiap Kemiringan Pengukuran kecepatan aliran air dilakukan sebanyak lima kali pengukuran dengan menggunakan penampang bola ping-pong di sepanjang saluran. Dari hasil pengukuran diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengukuran kecepatan aliran air pada setiap kemiringan

| Kemiringan dasar saluran | Pengukuran waktu tempuh L1 -L2 (t, detik) | | | | | | | | V (m/dtk) |
|--------------------------|---|------|------|------|------|------|------------------------|-----|-----------|
| | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | tr | V ₀ (m/dtk) | Kp | |
| 0,0025 0,25% | 7,8 | 7,94 | 7,75 | 8 | 8,34 | 7,97 | 0,428 | 0,9 | 0,384 |
| 0,005 0,50% | 6,94 | 6,51 | 6,69 | 6,24 | 6,51 | 6,58 | 0,518 | 0,9 | 0,465 |
| 0,0075 0,75% | 5,86 | 5,53 | 5,5 | 5,83 | 5,51 | 5,59 | 0,609 | 0,9 | 0,547 |
| 0,01 1,00% | 4,74 | 4,8 | 4,93 | 5 | 4,86 | 4,87 | 0,700 | 0,9 | 0,629 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

Dimana, $l = 3,4 \text{ m}$. Menghitung kecepatan aliran rata rata (tr) pada kemiringan 0,25% adalah adalah t rata-rata= $(7,8+7,94+7,75+8+8,34)/5= 7,97 \text{ detik}$. Dari data diatas V₀ didapatkan, $V_0=3,4/7,97=0,428 \text{ m/detik}$. Debit (Q) Dari hasil pengukuran diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil perhitungan debit air pada setiap kemiringan

| Kemiringan dasar saluran | hr(m) | Lb.Puncak b (meter) | A(m ²) | V(m/detik) | Q=(m ³ /detik) |
|--------------------------|--------|---------------------|--------------------|------------|---------------------------|
| 0,0025 0,25% | 0,0416 | 0,14 | 0,0058 | 0,384 | 0,00224 |
| 0,005 0,50% | 0,0350 | 0,14 | 0,0049 | 0,465 | 0,00228 |
| 0,0075 0,75% | 0,0316 | 0,14 | 0,0044 | 0,547 | 0,00242 |
| 0,01 1,00% | 0,0296 | 0,14 | 0,0041 | 0,629 | 0,00261 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

4.4 Perhitungan Koefisien Kekasarhan Saluran Batu kapur

Dari hasil pengukuran diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil perhitungan keliling basah dan jari jari hidraulik pada setiap kemiringan

| Kemiringan dasar saluran | Lebar dasar (cm) | Lebar Puncak (m) | L. Pemnpg (m ²) | Kel. Basah (m) | Jari Hidraulik (m) |
|--------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|
| | | | | | |



| | | b | b | A = b.hr | P = b + 2hr | R = A/P |
|--------|-------|----|------|----------|-------------|---------|
| 0,0025 | 0,25% | 14 | 0,14 | 0,0058 | 0,223 | 0,026 |
| 0,005 | 0,50% | 14 | 0,14 | 0,0049 | 0,210 | 0,023 |
| 0,0075 | 0,75% | 14 | 0,14 | 0,0044 | 0,203 | 0,022 |
| 0,01 | 1,00% | 14 | 0,14 | 0,0041 | 0,199 | 0,021 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

Tabel 6. Hasil perhitungan koefisien kekasaran manning (n) lapisan dasar batu kapur.

| Kemiringan dasar saluran | v (m/dtk) | 1/v | R ^{2/3} | S ^{1/2} | N |
|--------------------------|-----------|-------|------------------|------------------|-------|
| 0,0025 | 0,25% | 0,284 | 2,603 | 0,088 | 0,050 |
| 0,005 | 0,50% | 0,465 | 2,150 | 0,082 | 0,071 |
| 0,0075 | 0,75% | 0,547 | 1,827 | 0,078 | 0,087 |
| 0,01 | 1,00% | 0,629 | 1,590 | 0,076 | 0,100 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

pengujian dengan lapisan dasar saluran batu kapur, dilakukan pengujian saluran tanpa lapisan dasar sebagai kontrol, dikarenakan saluran terbuat dari bahan akrilik maka kekasaran saluran (n) digunakan nilai koefisien kaca sebagai kekasaran (Manning) yaitu antara 0,009 – 0,013. Dari hasil pengujian dengan lapisan dasar kaca dengan kemiringan 0,0025; 0,0050; 0,0075; 0,01, diperoleh nilai koefisien kaca mendekati atau sama dengan nilai kekasaran dari Manning seperti terlihat pada tabel 4.7. Dengan demikian alat atau saluran dapat digunakan untuk menguji lapisan dasar lainnya dalam hal ini lapisan dasar berupa batu kapur.

Tabel 7. Hasil perhitungan koefisien kekasaran manning (n) lapisan dasar kaca.

| Kemiringan dasar saluran | v | 1/v | R ^{2/3} | S ^{1/2} | N |
|--------------------------|-------|-------|------------------|------------------|-------|
| 0,0025 | 0,25% | 0,471 | 2,124 | 0,084 | 0,050 |
| 0,005 | 0,50% | 0,639 | 1,565 | 0,079 | 0,071 |
| 0,0075 | 0,75% | 0,790 | 1,265 | 0,073 | 0,087 |
| 0,01 | 1,00% | 0,862 | 1,161 | 0,068 | 0,100 |

Sumber : Data Pribadi, 2024

Hasil perhitungan dari pengujian koefisien kekasaran Manning (tabel 5), terlihat bahwa terdapat hubungan kemiringan suatu saluran terhadap koefisien kekasaran Manning. Pada tabel Maning, koefisien untuk semen batu kapur diketahui adalah 0,011 sampai dengan 0,015 sedangkan dari hasil pengujian dengan berbagai variasi kemiringan diperoleh koefisien sebesar 0,0115 sampai dengan 0,012 (tabel 5). Nilai Kekasaran Manning terbesar yang diperoleh dari hasil pengujian pada saluran batu kapur yaitu 0,0124 sedangkan nilai terkecil koefisien kekasaran saluran batu kapur yaitu 0,0115. Dari hasil-hasil penelitian diatas bahwa nilai koefisien kekasaran Manning hasil evaluasi menunjukkan keseuaian.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan



Fakultas Teknik

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL #3

“Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)”

Dari hasil pengujian dan analisis data dapat disimpulkan sebagai berikut : Dasar saluran menggunakan batu kapur dengan kemiringan 0,25 % ; 0,50% ; 0,75% ; 1,00% diperoleh nilai kekasaran untuk lapisan dasar batu kapur berturut-turut adalah 0,0115 ; 0,0124 ; 0,0123 ; 0,0120. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien kekasaran Manning hasil evaluasi seuai dengan tabel referensi dari Robert Manning (koefisien Manning).

DAFTAR PUSTAKA

- Akan, A. O., 2006, Open Channel Hydraulics. First Edition, Butterworth-Heinemann, Burlington.
- Azmon, B., 1992, Manning Coefficient of Roughness –a Case Study Along Soreq Stream, 1971-1981.Journal of Hydrology, Vol 132, pp. 361-377
- Bender, D. L.,(1956), Suspended Sediment Transport in Alluvial Irrigation Channels, Report CER No. 56DLB7, Colorado Agricultural and Mechanical College, Civil Engineering Dept
- Cahyono, M., 2000, Catatan Kuliah Hidraulika Lanjut,Pemodelan Hidraulik Aliran dan Angkutan Polutan di Saluran dan Sungai, Penerbit ITB.
- Chow, V.T., 1959, Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Kogakusha.
- Chow VT,Rosalina EVN.1997. Hidrolika Saluran Terbuka, Erlangga, Jakarta
- Chow, V.T., Maidment, D.R. dan Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology, Mc Graw-Hill Book Company, International Edition, Singapore, xiii+572p.
- Chow, Ven Ten, dkk,(1985), Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics) , Penerbit Erlangga
- Das Gupta, A.., and Utairant, W.(1988), Experiments On Resistance to Flow in Channels With Permeable Bed , Research Associate Division Of water Resources Engineering, Thailand
- Djajadi, R., 2009, Comparative Study of Equivalent Manning Roughness Coefficient for Channel with Composite, Civil Engineering Dimension, Vol. 11, No. 2, pp. 113-118.
- Ding, Y. dan Wang, S. S. Y., 2005. Identification of Manning’s Roughness Coefficient in Channel Network Using Adjoint Analysis, International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol. 19, No. 1, pp. 3–13.
- Dingman, S. L., 2009, Fluvial Hydraulics, Oxford University Press, New York
- Djoko Legono,(1991/1992), Model Fisik Sungai, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada , Yogyakarta
- Featherstone, R. E. dan Nalluri C., 1995, Civil Engineering Hydraulics, Third Edition, Blackwell Science, London.
- French, R. H., 1986, Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- F.M. Henderson,(1966), Open Channel Flow, Macmillan Publishing Co., Inc. New York, Collier macmillan Publishers., London
- KG. Ranga Raju, (1986), Aliran Melalui Saluran Terbuka, Penerbit Erlangga
- Mays, L.W., 2001, Water Resources Engineering, McGraw Hill-Inc, USA.
- Munson, B. R. dkk, 2009, Fundamental Of Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., USA
- Soewoto, R.(1987/1988), Perilaku Gerakan Sedimen Pada Saluran Aluvial, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Gadjah Mada, Yogyakarta
- Triatmodjo B .2003.Hidrolika II. Yogyakarta (ID):Beta Offset.
- Triadmodjo, B., 2008, Hidrologi Terapan, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.