

PEMROGRAMAN SLOPE MINIMUM DAN KONSENTRASI SEDIMEN MAKSIMUM SEBAGAI ALTERNATIF PENDIMENSIONAN SALURAN

Setiyadi¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia

Email: setiyadi@yahoo.com

Masuk:28-02-2020, revisi: 9-03-2020, diterima untuk diterbitkan: 22-04-2020

ABSTRAK

Pendimensionan saluran dapat menggunakan metode Slope minimum dan Konsentrasi Sedimen maksimum. Slope minimum adalah kemiringan memanjang saluran, dimana pada kondisi ini aliran yang terjadi minimum, sehingga saluran dikatakan pada kondisi stabil. Metode Konsentrasi Sedimen maksimum, suatu pendekatan yang digunakan adalah prinsip kapasitas pengangkutan sedimen, hambatan dan pengoptimalannya. Kedua metode tersebut memberi hasil dimensi saluran yang relatif sama.

Kata kunci: *Dimensi saluran; Metode slope minimum; Metode konsentrasi sedimen maksimum; Energi aliran; Stabil*

ABSTRACT

Design of dimension channel can use Minimum Slope and Maximum Concentration Sediment method. Minimum Slope is slope of channel, where is condition it the energy of flow is minimum, so channel condition is stabile. Maximum Sediment Concentration is method of sediment transport capacity, resistant and optimum it. Two methods are to produce of the same dimension of channel.

Keywords: *Dimension channel; Minimum Slope method; Maximum Concentration Sediment method; Energy of flow; Stabile.*

1. PENDAHULUAN

Aliran suatu sungai (saluran alami) termasuk aliran dalam saluran terbuka. Salah satu ciri utama dari aliran terbuka adalah adanya permukaan bebas (Free surface flow). Salah satu faktor yang sangat penting dalam mempelajari aliran pada sungai adalah masalah Debit aliran dan Angkutan sedimen. Pola aliran suatu sungai tergantung dari kondisi topografi, geologi, iklim, vegetasi yang terdapat didalam DAS yang bersangkutan yang secara keseluruhan kondisi tersebut akan menentukan karakteristik sungai di dalam bentuk dan pola alirannya.

Keterkaitan dengan hal tersebut tentunya tidak terlepas dari debit yang mengalir di sungai. Debit sungai dapat dicari dengan menggunakan banyak metode. Seperti diketahui bahwa saluran alluvial adalah saluran dengan dasar bergerak yang terdiri dari material non kohesif granular. Aliran air yang membawa sedimen adalah salah satu proses yang sangat rumit dan tidak eksak, kerumitan ini dikarenakan faktor-faktor bebas. Material ini biasanya berupa lanau (silts), pasir maupun kerikil. Tebing saluran pada umumnya terdiri dari lempung, lanau maupun pasir. Kajian mengenai saluran alluvial, dengan anggapan mempunyai beberapa variabel bebas yakni kedalaman, lebar, kemiringan serta sedimen, maka saluran akan memperoleh suatu nilai untuk kondisi aliran tertentu.

Kajian mengenai kecepatan dan debit aliran, sudah dirumuskan dengan pendekatan (Persamaan Manning, Chezy, dan Darcy Wesbach) yang telah digunakan dimasa sekarang. Penulisan makalah ini adalah untuk melihat dan mengkaji Metode Slope Minimum dan Metode Konsentrasi Sedimen Maksimum yang terjadi pada suatu sungai/saluran. Pada kasus ini, kajian yang kami pakai adalah kajian pustaka dan Pemrograman Komputer dengan bahasa Fortran. Pada pembahasan akhir, diperlihatkan/ditunjukkan grafik Hubungan antara B (lebar saluran) dengan Slope memanjang saluran (S).

2. DASAR TEORI

2.1. Dasar teori Metode Slope Minimum

Slope minimum adalah kemiringan memanjang pada suatu saluran dimana pada kondisi ini energi aliran yang terjadi adalah minimum. Sehingga saluran dapat dikatakan pada kondisi yang paling stabil. Konsep energi minimum ini banyak digunakan untuk menentukan geometri optimal saluran alluvial. Saluran alluvial adalah saluran dengan dasar yang bergerak (movable/mobile bed) jadi dasar saluran merupakan moving boundary, terdiri dari material-material non-cohesive granular. Material seperti ini misalnya lanau (silt), pasir dan kerikil. Tebing dari saluran jenis ini masih ada kemungkinan tetap berupa cohesive material.

- Perencanaan Geometri Saluran Terbuka

Pembentukan sungai merupakan proses yang rumit, melibatkan banyak variabel. Secara garis besar merupakan proses gabungan antara aliran air dan transportasi sediment. Dalam perkembangan baru dari morfologi sungai secara analitis di dasarkan pada :

- Sediment transport
- Flow resistance
- Pembentukan channel-widht
- Aliran pada tikungan

Di dalam perencanaan geometri saluran terbuka dikenal adanya variabel bebas (independent variables) dan variabel tidak bebas (dependent variables).

Variabel bebas adalah merupakan masukan, terdiri dari :

1. Debit air
2. Debit sediment
3. Diameter partikel dasar

Variabel tak bebas adalah merupakan hasil dari perhitungan, terdiri dari :

1. Lebar
2. Kedalaman
3. Bank slope
4. Channel slope
5. Meandering pattern

Sebenarnya variabel bebas bervariasi dari satu ke lain sungai, tergantung type sungai yang paling sederhana atau sungai alluvial yang lurus dan stabil. Dalam kasus sungai yang lurus dan stbil hanya ada 4 variabel tak bebas, yaitu :

- Lebar (B atau b)
- Kedalaman (D)
- Bank slope (1:Z)
- Channel slope (S)

2.2. Dasar Teori Konsentrasi Sedimen Maksimum

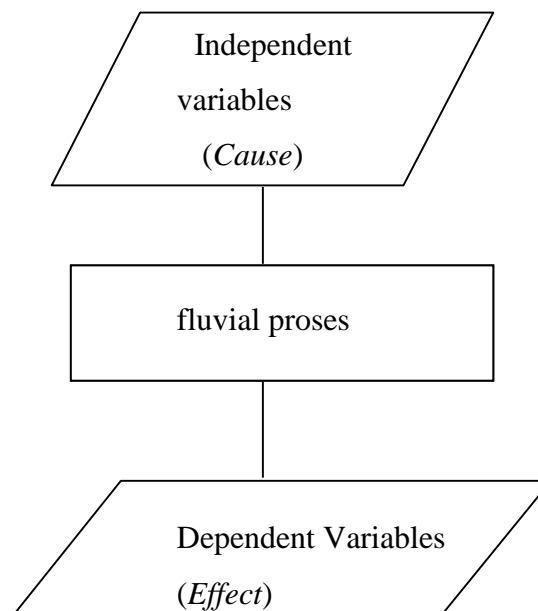
Dalam perencanaan geometri saluran alluvial dengan metode konsentrasi sedimen maksimum pendekatan yang digunakan adalah prinsip kapasitas pengangkutan sedimen, hambatan dan pengoptimalan sesuatu (Dr.Ir. Indratmo S,1992). Sesuatu ini oleh White (1982) membuat hipotesa bahwa untuk suatu debit (Q) dan kemiringan tertentu (S), maka lebar saluran (B) akan menyesuaikan dirinya agar mendapat laju pengangkutan sedimen maksimum (konsentrasi sedimen maksimum). Dengan kata lain bila kapasitas pengangkutan sedimen dimaksimumkan dan kemiringan saluran di minimalkan maka akan mendapatkan lebar saluran yang sama.

3. ANALISIS

3.1. Analisis Metode Slope Minimum

Analisis suatu morfologi sungai terdiri dari 3 langkah, yaitu:

1. Identifikasi variabel bebas (variabel pengontrol)
2. Penerapan hubungan antar variabel di fluvial proses
3. Perhitungan geometri yang baru saja ditetapkan



Gambar 1. Analisis Morfologi Sungai

- Aplikasi Pada Saluran Alluvial

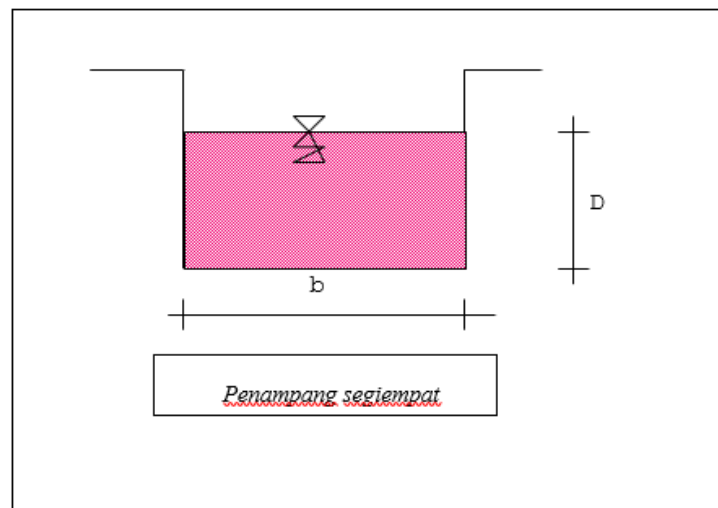
Di dalam perhitungan untuk menentukan geometri optimal saluran alluvial dengan cara konsep energi minimum (slope minimum) ini diperlukan masukan (input) berupa variabel bebas (Q , Q_s , dan d_{50}). Pendekatan perencanaan geometri saluran alluvial digunakan prinsip kapasitas pengangkutan sedimen, hambatan dan pengoptimalan sesuatu (Dr.Ir. Indratmo S,1992). Sesuatu ini oleh White (1982) membuat hipotesa bahwa untuk suatu debit dan kemiringan tertentu, maka lebar saluran akan menyesuaikan dirinya agar mendapat laju pengangkutan sedimen maksimum

(dikenal dengan metode konsentrasi sedimen maksimum). Perkembangan lebih lanjut telah mengubah pandangan kita terhadap merencanakan geometri saluran alluvial, bahwa dengan debit air (Q) tertentu, debit angkutan sedimen (Q_s) tertentu dan ukuran partikel sedimen (d_{50}) tertentu pula, maka lebar saluran (B) serta kemiringan memanjang saluran (S) akan menyesuaikan diri sehingga didapatkan suatu kondisi yang stabil (metode slope minimum). Perhitungan selanjutnya digunakan rumus-rumus:

- Flow resistance: untuk menghitung kecepatan (U) yang terjadi.
- Bed load transport: untuk menghitung kemiringan memanjang (S).
- Minimum stream power: untuk menentukan geometrik optimal saluran.
- Rumus-rumus Dasar

Rumus-rumus dasar yang digunakan antara lain:

1. Penampang empat persegi panjang (jarang digunakan)



Gambar 2. Penampang Segi Empat

$$A = b \cdot D$$

$$P = b + 2D$$

$$R = A/P$$

Kecepatan aliran (U) dicari dengan rumus flow resistance

$$U = 1.346 \cdot 1/N \cdot D^{1/4} \cdot R^{1/2} \cdot S^{1/2} \text{ (feet/det)}$$

$$Q = U \cdot A$$

Kemiringan memanjang (S) dasar saluran dicari dengan rumus bed load transport

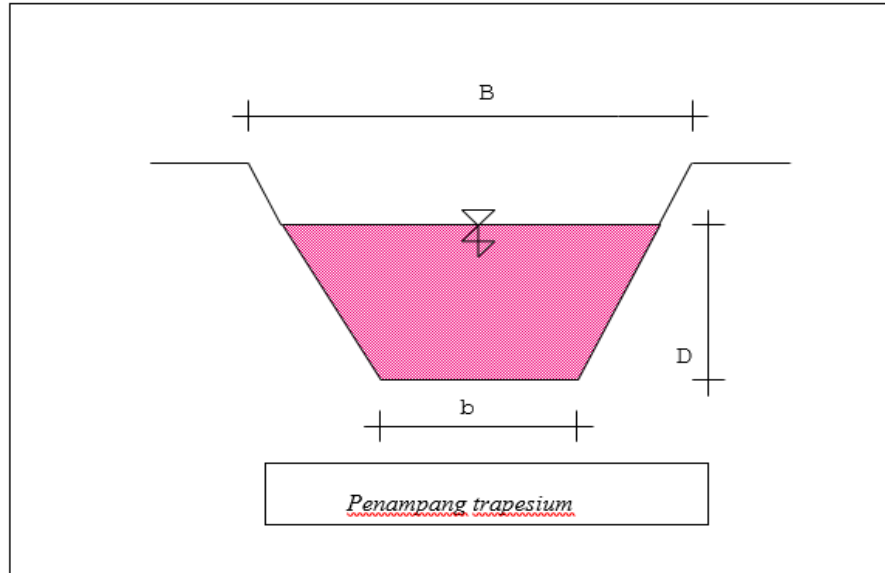
$$C1 = \gamma^2 \cdot R^2$$

$$C2 = \gamma \cdot R \cdot \tau_c$$

$$C3 = (Q_s \cdot d^{3/4}) / 0.173 \cdot B$$

$$S = (C2 + (C2^2 + 4C1 \cdot C3)^{1/2}) / 2C1$$

2. Penampang trapesium (yang sering digunakan)



Gambar 3. Penampang trapesium (yang sering digunakan)

$$\text{Lebar dasar}(b) = B - 2Z * D$$

$$A = b * D + ZD^2$$

$$P = b + 2(1 + Z^2 * D) / 2$$

$$R = A / P$$

Kecepatan aliran (U) dicari dengan rumus flow resistance

$$U = 1.346 * 1 / N * D^{1/4} * R^{1/2} * S^{1/2} \text{ (feet/det)}$$

$$Q = U * A$$

Kemiringan memanjang (S) dasar saluran dicari dengan rumus bed load transport

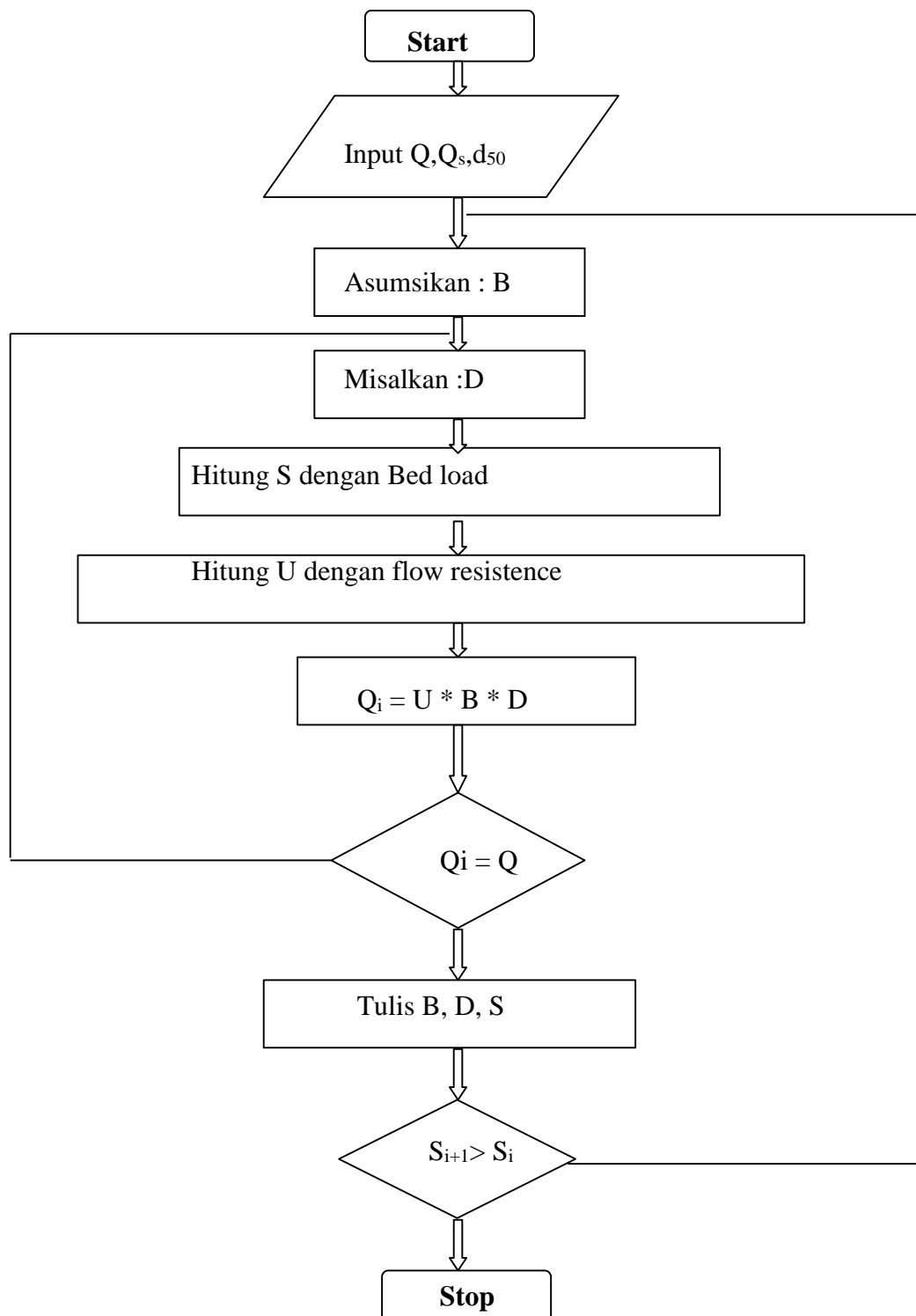
$$C1 = \gamma^2 * R^2$$

$$C2 = \gamma * R * \tau_c$$

$$C3 = (Qs * d^{3/4}) / 0.173 * B$$

$$S = (C2 + (C2^2 + 4C1 * C3)^{1/2}) / 2C1$$

Proses perhitungan dapat di lihat dari flow chart berikut ini:



Gambar 4. *Flowchart* perhitungan slope minimum

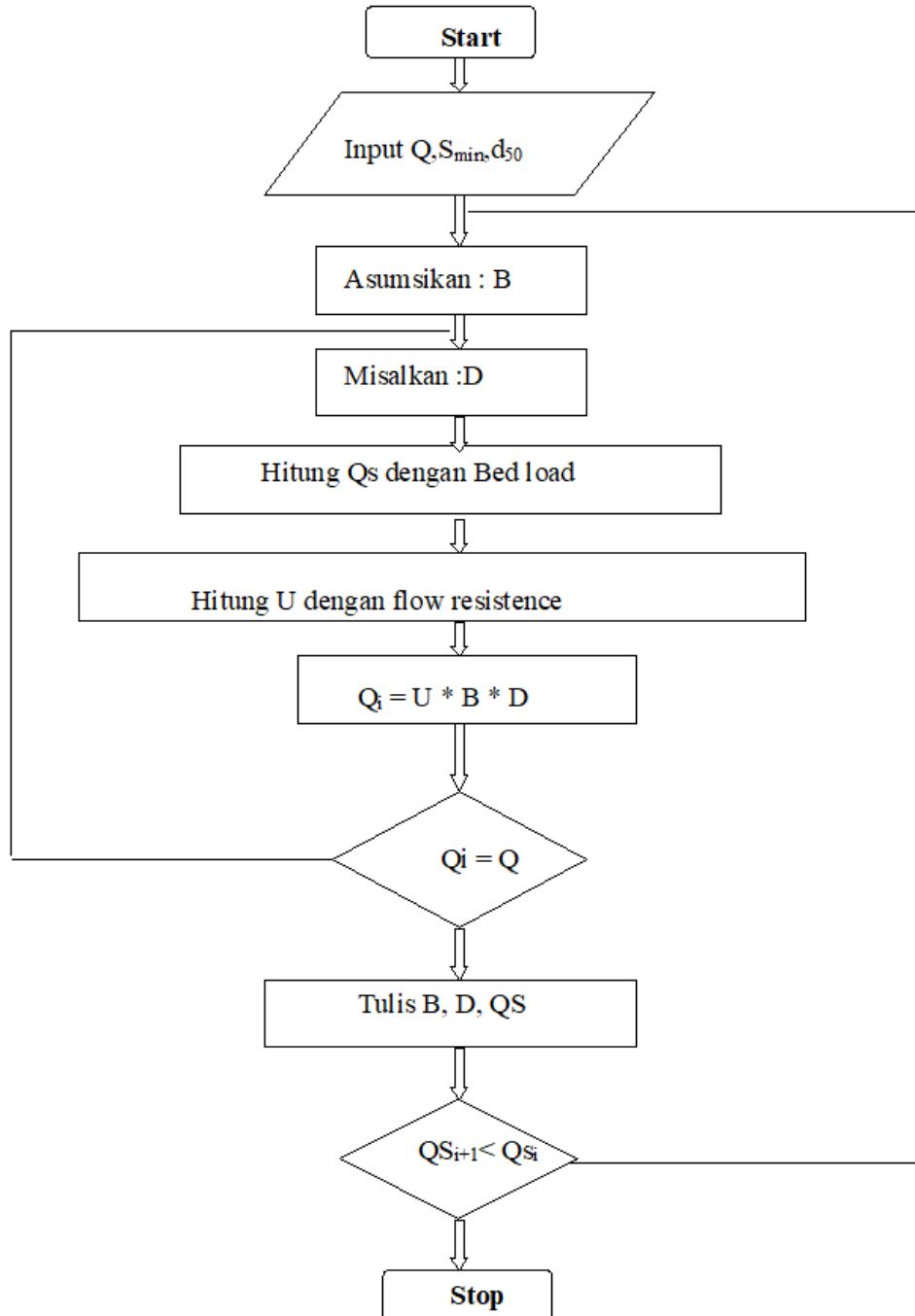
3.2. Analisis Metode Konsentrasi Sedimen Maksimum

Dalam perencanaan geometri saluran alluvial dengan metode konsentrasi sedimen maksimum pendekatan yang digunakan adalah prinsip kapasitas pengangkutan sedimen, hambatan dan pengoptimalan sesuatu (Dr.Ir. Indratmo S,1992). Sesuatu ini oleh White (1982) membuat hipotesa bahwa untuk suatu debit (Q) dan kemiringan tertentu (S), maka lebar saluran (B) akan

menyesuaikan dirinya agar mendapat laju pengangkutan sedimen maksimum (konsentrasi sedimen maksimum). Dengan kata lain bila kapasitas pengangkutan sedimen dimaksimumkan dan kemiringan saluran di minimalkan maka akan mendapatkan lebar saluran yang sama.

- Aplikasi pada saluran Alluvial

Untuk konsep ini, caranya sama dengan konsep energi minimum, tetapi disini konsentrasi sedimen maksimal yang menjadi output. Data input Q_s diganti dengan slope S_{min} . Variabel-variabel yang lain sama dengan konsep energi minimum. Proses perhitungan dapat dilihat pada flow chart berikut ini.



Gambar 5. Flow chart perhitungan konsentrasi sedimen maksimum

3.3. Contoh Studi Kasus

Suatu saluran/sungai mempunyai data sebagai berikut:

$$\text{Debit air (Q)} = 200 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Debit sedimen (Qs)} = 0.005 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Partikel diameter 50 mm (d50)} = 0.014 \text{ mm}$$

$$\text{Spesific Gravity partikel(Gs)} = 2.65 \text{ (pasir)}$$

Diminta :

Rencanakan dimensi saluran tersebut, dengan metode slope minimum / energi minimum.

Penyelesaian:

Saluran direncanakan dengan penampang trapesium

Kemiringan talud diambil 1.5. Perhitungan dilakukan dengan komputer dalam bahasa Fortran.

Data diubah dalam satuan imperial

- Debit air (Q)

$$\begin{aligned} Q &= 200 \text{ m}^3/\text{det} \times 35.315 \\ &= 7063 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Debit sedimen (Qs)

$$\begin{aligned} Q_s &= 0.005 \text{ m}^3/\text{det} \times 35.315 \\ &= 0.1766 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Partikel diameter 50 mm (d50)

$$d_{50} = 0.014 \text{ mm (satuan tetap)}$$

- Berat jenis air (γ)

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.0 \text{ t/m}^3 \times 1000 \times 9.8 \times 0.00636 \\ &= 62.5 \text{ lbf/ft}^3 \end{aligned}$$

- Gaya geser kritis partikel (τ_c)

$$\begin{aligned} \tau_c &= 0.0125 + 0.019 \times d_{50} \\ &= 0.0125 + 0.019 \times 0.014 \\ &= 0.128 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

- Ketetapan Lacey (Na)

$$\begin{aligned} fL &= 1.6 \times d_{50}^{1/2} \\ &= 1.6 \times 0.014^{1/2} \\ &= 0.1893 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_a &= 0.0225 (fL)^{1/4} \\ &= 0.0225 \times 0.1893^{1/4} \\ &= 0.0148 \end{aligned}$$

Listing program dan perhitungan, dipakai bahasa fortraan (lihat daftar pustaka)

Output Program sebagai berikut:

Diketahui Data Sungai

Debit $Q = 7063.0 \text{ ft}^3/\text{sec}$

Debit Sedimen $QS = .1766 \text{ ft}^3/\text{sec}$

Ukuran Butiran Sedimen $D50 = .0140 \text{ mm}$

Kemiringan Talud (H:V) $Z = 1.5$

HASIL HITUNGAN

| B | D | b | A | P | R | C1(xE+4) | C2 | C3(xE-3) | S(xE-4) | D | U | Q | n | F |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|--------|----------|---------|-------|------|-------|---------|-----|
| 240. | 10.49 | 208.5 | 2353. | 246.4 | 9.55 | 35.622 | 7.619 | .199 | .3665 | 9.80 | 3.00 | 7063. | .013524 | .17 |
| 230. | 10.84 | 197.5 | 2318. | 236.6 | 9.80 | 37.491 | 7.817 | .210 | .3631 | 10.08 | 3.05 | 7063. | .013489 | .17 |
| 220. | 11.23 | 186.3 | 2281. | 226.8 | 10.06 | 39.513 | 8.025 | .223 | .3599 | 10.37 | 3.10 | 7063. | .013451 | .17 |
| 210. | 11.65 | 175.1 | 2243. | 217.1 | 10.33 | 41.704 | 8.244 | .237 | .3571 | 10.68 | 3.15 | 7063. | .013413 | .17 |
| 200. | 12.11 | 163.7 | 2202. | 207.3 | 10.62 | 44.077 | 8.475 | .254 | .3547 | 11.01 | 3.21 | 7063. | .013372 | .17 |
| 190. | 12.63 | 152.1 | 2160. | 197.6 | 10.93 | 46.647 | 8.719 | .273 | .3528 | 11.37 | 3.27 | 7063. | .013329 | .17 |
| 180. | 13.20 | 140.4 | 2115. | 188.0 | 11.25 | 49.422 | 8.975 | .296 | .3518 | 11.75 | 3.34 | 7063. | .013283 | .17 |
| 170. | 13.85 | 128.5 | 2066. | 178.4 | 11.58 | 52.407 | 9.242 | .323 | .3518 | 12.15 | 3.42 | 7063. | .013236 | .17 |
| 160. | 14.58 | 116.3 | 2014. | 168.8 | 11.93 | 55.591 | 9.518 | .357 | .3532 | 12.59 | 3.51 | 7063. | .013185 | .17 |
| 150. | 15.43 | 103.7 | 1957. | 159.3 | 12.28 | 58.936 | 9.800 | .401 | .3568 | 13.05 | 3.61 | 7063. | .013131 | .18 |
| 140. | 16.42 | 90.7 | 1894. | 149.9 | 12.63 | 62.350 | 10.080 | .458 | .3636 | 13.53 | 3.73 | 7063. | .013073 | .18 |
| 130. | 17.60 | 77.2 | 1823. | 140.7 | 12.96 | 65.637 | 10.343 | .538 | .3758 | 14.03 | 3.87 | 7063. | .013012 | .18 |
| 120. | 19.03 | 62.9 | 1740. | 131.5 | 13.23 | 68.393 | 10.557 | .660 | .3974 | 14.50 | 4.06 | 7063. | .012948 | .19 |
| 110. | 20.78 | 47.6 | 1638. | 122.6 | 13.36 | 69.766 | 10.663 | .872 | .4381 | 14.89 | 4.31 | 7063. | .012883 | .20 |
| 100. | 22.87 | 31.4 | 1502. | 113.8 | 13.20 | 68.029 | 10.529 | 1.324 | .5252 | 15.02 | 4.70 | 7063. | .012828 | .21 |
| 90. | 24.73 | 15.8 | 1308. | 105.0 | 12.46 | 60.681 | 9.944 | 2.630 | .7454 | 14.54 | 5.40 | 7063. | .012812 | .25 |
| 80. | 24.78 | 5.6 | 1061. | 95.0 | 11.17 | 48.748 | 8.913 | 7.354 | 1.3231 | 13.27 | 6.65 | 7063. | .012871 | .32 |

Dubois: $TAU_C = 0.0125 + 0.019 * D50$ $Q = .0128 \text{ lb}/\text{ft}^2$

Lacey: $NA = 0.0225 * FL^{0.25}$ $= .0148$

$FL = 1.6 * SQRT(D50)$ $= .1893$

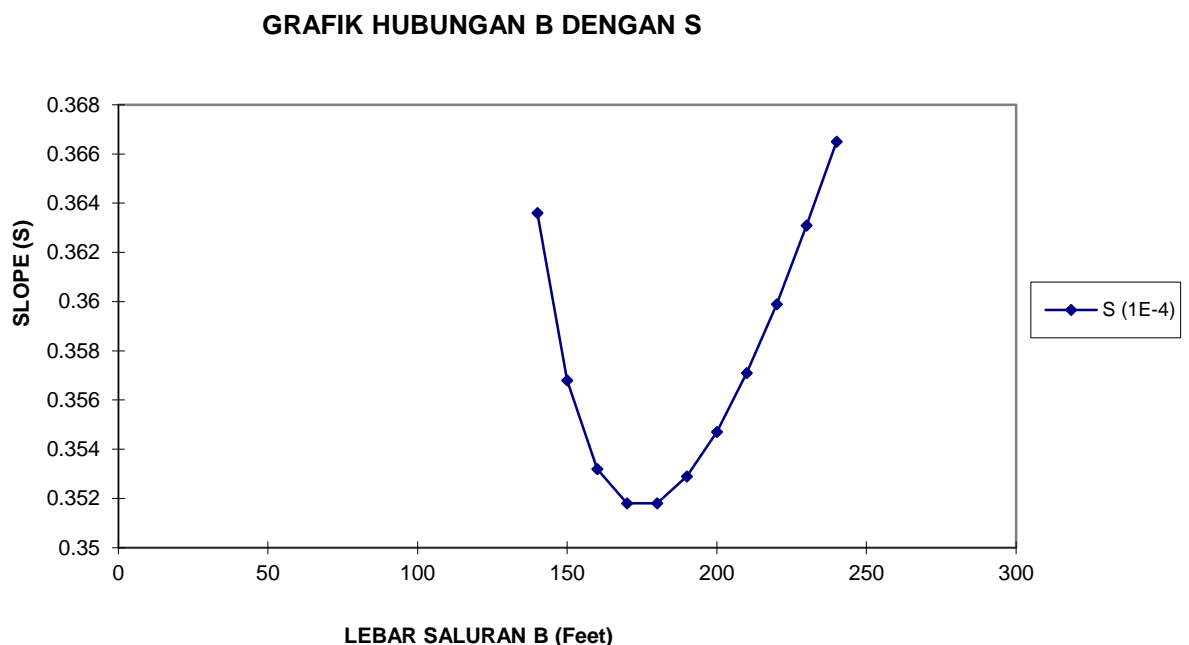
KETERANGAN TABEL

Kolom:

1. Lebar saluran dimisalkan

2. D diasumsikan
3. Lebar dasar(b)= $B - 2Z*D$
4. $A = b*D + ZD^2$
5. $P = b + 2(1 + Z^2*D)^{1/2}$
6. $R = A/P$
7. $C_1 = \gamma^2 * R^2$
8. $C_2 = \gamma * R * \tau_c$
9. $C_3 = (Q_s * d^{3/4}) / 0.173 * B$
10. $S = (C_2 + (C_2^2 + 4C_1 * C_3)^{1/2}) / 2C_1$
11. $D = A/B$
12. $U = 1.346 * 1/N * D^{1/4} * R^{1/2} * S^{1/2}$
13. $Q = U * A$
14. $n = f(R, S, U)$
15. $F = U * (g(A/B))^{1/2}$

3.4. Graafik Hubungan Lebar Saluran B Versus Kemiringan S



Dimensi Perencanaan:

Dari hasil perhitungan disimpulkan sebagai berikut:

harga slope minimum yaitu $S = 3.518 \times 10^{-4}$ pada kedalaman (D) = 13.20 ft, lebar permukaan (B) = 180 ft dan lebar dasar (b) = 140.4 ft.

4. KESIMPULAN

Suatu sungai alluvial mempunyai data sebagai berikut:

$$\text{Debit air (Q)} = 200 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$= 7063 \text{ ft}^3/\text{sec}$$

$$\text{Debit sedimen (Q)} = 0.005 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$= 0.1766 \text{ ft}^3/\text{sec}$$

$$\text{Partikel (D50)} = 0.0140$$

$$\text{Kemiringan talud (Z)} = 1.5$$

✓ Dengan metode kemiringan dasar (S) minimum (*slope minimum*), yaitu dengan mengambil dimensi saat kemiringan dasar minimum, didapat sebagai berikut:

- Kedalaman (D) = 13.20 feet
- Lebar atas (B) = 180 feet
- Lebar dasar (b) = 140.4 feet
- Kemiringan dasar (S) = 0.3518E-4
- Debit sedimen (Qs) = 0.1766 ft³/sec

✓ Dengan metode Konsentrasi sedimen maksimum, yaitu dengan mengambil dimensi saat debit sedimen maksimum (Qs maks), didapat sebagai berikut:

- Kedalaman (D) = 13.20 feet
- Lebar atas (B) = 180 feet
- Lebar dasar (b) = 140.4 feet
- Kemiringan dasar (S) = 0.3518E-4
- Debit sedimen (Qs) = 0.177 ft³/sec

Kesimpulan 1:

Disimpulkan bahwa perhitungan dengan 2 (dua) metode tersebut di atas memberikan hasil yang relatif sama.

Kesimpulan 2:

Pemrograman Slope Minimum dan Pemrograman Konsentrasi Sedimen Maksimum dapat dipakai sebagai alternatif Pendimensian Saluran.

DAFTAR PUSTAKA

Leo.C. Van Rijn, 1995 *Principle of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas, and Oceans*, Aqua Publication.

Indratmo Soekarno, 1997 *Morfologi Dan Hidraulika Sungai*, Fakultas Teknik Sipil, Rekayasa Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Howard H. Chang, 1987 *Fluvial Processes in River Engineering*, San Diego State University, San Diego California.