

GEOMETRIC MATHEMATICS MODEL OF RIVER TO BASE FLOW DISCHARGE

KAJIAN GEOMETRI SUNGAI BERDASARKAN MODEL MATEMATIKA MENGUNAKAN DATA DEBIT ALIRAN

Hari Wibowo¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak

ABSTRACT

A river can be definition as a channel system formed naturally, instead of flowing water. It also transporting sediment and erotion. The erotion cause ferfile soil surface get peeled off (top soil). decreasing land production. The erotion level can be controlled. In order to prevent enviroment destruestion. So that it is nesaccary to know how the erotion allowed. Predected from observing the condition an area that can endure production declined and damage of the soil surface. Besides sedimentation problems to estimate the dischange of the river can be done used a simple model. That represented through the regresion correlation between dischange (Q) with element geometry moist section. That is area (A) ,width (W), height (D), ratio width to height (W/D) and slope surface water (S) .As done in the reseach trying to use the simple model for Citanduy River in West Java, in four observing post location with 45 dischange datas used to design the model and tested the measured dischange in withing river at Pataruman. Concerning with the statisticed accuracy criteria. It showed that the model selected to be used to estimate the dischange.

Keywords : mathematics model, river, flow dischange

ABSTRAK

Sungai dapat didefinisikan sebagai suatu sistem saluran yang dibentuk oleh alam. Disamping mengalirkan air juga mengangkut sedimen yang terkandung didalamnya, serta erosi lahan disekitarnya. Disamping masalah sedimen untuk mengestimasi debit pada suatu sungai dapat dilakukan dengan model sederhana yang dinyatakan melalui hubungan regresi antara debit (Q), terhadap unsur geometri penampang basah. Yakni luas (A), lebar (W), kedalaman (D) ,rasio lebar terhadap kedalaman (W/D) serta kemiringan muka air (S) seperti yang dilakukan pada penelitian ini yang mencoba menggunakan model sederhana tersebut. Pada sungai Citanduy di Jawa Barat, di 4 (empat) lokasi pos pengamatan dengan 45 buah data debit yang digunakan untuk merancang model dan uji terhadap debit terukur pada Sungai Citanduy di daerah Pataruman. Hasil pemodelan pada Sungai Citanduy adalah sebagai berikut : $A = 7.0998Q^{0.638}$; $D = 0.3366Q^{0.3840}$; $W = 8.7268\ln(Q)+20.786$; $Q = 0.11925A^{1.470} (W/D)^{-0.120}$. Estimasi Debit Sungai Citanduy dapat digunakan model $Q = 13.667 A^{1.00} D^{0.667} S^{0.500}$, $Q = 14.216 A^{0.329} D^{1.352} W^{0.653} S^{0.493}$. Berdasarkan kriteria akurasi secara statistik menunjukkan bahwa model yang dipilih mampu dipakai untuk mengestimasi debit.

Kata-kata kunci : model matematika, sungai, debit aliran

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber air yang menampung dan mengalirkan aliran air. Daerah dimana sungai memperoleh air merupakan daerah tangkapan hujan yang disebut dengan daerah tangkapan sungai atau Daerah Aliran Sungai (DAS). Anak sungai yang ada didalam semua DAS akan mengikuti suatu aturan, yakni bahwa aliran tersebut dihubungkan oleh suatu jaringan. Salah satu arah dimana cabang dan anak sungai mengalir kedalam sungai induk yang lebih besar dan membentuk suatu pola aturan tertentu.

Pola ini tergantung dari kondisi topografi, geologi, iklim, vegetasi yang terdapat didalam DAS yang bersangkutan yang secara keseluruhan kondisi tersebut akan menentukan karekeristik sungai didalam bentuk polanya. Tentunya tidak terlepas dari debit yang mengalir dari sungai tersebut.

Debit sungai tersebut dapat dicari dengan menggunakan banyak metode. Salah satunya dengan menggunakan data lapangan yang kemudian dimodelkan dengan rumusan matematik. Seperti diketahui bahwa saluran alluvial adalah saluran dengan dasar bergerak yang terdiri dari material non kohesif granular. Material ini biasanya berupa lanau

(*silts*), pasir maupun kerikil, tebing saluran pada umumnya terdiri dari lempung, lanau maupun pasir. dan sungai yang merupakan saluran alam merupakan kategori yang termasuk dalam jenis ini.

Kajian mengenai saluran *alluvial*, dengan menganggap mempunyai beberapa variabel tak bebas yakni lebar, kedalaman dan kemiringan serta sedimen, yakni saluran akan memperoleh untuk suatu nilai untuk kondisi aliran tertentu. Oleh karena itu kajian mengenai morfologi sungai yakni pengetahuan yang mempelajari mengenai geometri (bentuk dan ukuran). Jenis dan sifat serta perilakunya sungai tersebut dengan segala aspek perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu sangat diperlukan.

Pada penelitian ini akan dilihat berapa besarnya pengaruh debit model hidrologi penampang geometri yang dinyatakan dengan hubungan regresi antara debit sungai (Q) terhadap unsur penampang geometri penampang basah yakni luas (A), lebar (W), kedalaman (D) rasio lebar terhadap kedalaman (W/D) serta kemiringan muka air (S). Dengan melakukan pendekatan secara statistik pada analisis debit tersebut. Serta besarnya Sedimen yang terjadi. dalam hal ini sungai yang diamati yakni Sungai Citanduy yang berada di Propinsi Jawa Barat. Dalam model matematika ini banyak variabel yang dilibatkan sehingga sulit untuk membuat rumusan matematikanya, oleh karena ini penulis mencoba untuk membuat suatu program komputer yang sederhana dengan menggunakan bahasa Fortran untuk membuat program tersebut.

Perumusan Masalah

Debit suatu sungai dapat diestimasi dengan menggunakan beberapa metode misalkan metode *Routing Flood*, Model curah hujan-debit atau menggunakan model regresi. Penerapan tiap model tidaklah sederhana, cukup rumit diperlukan waktu yang cukup untuk mengumpulkan data lapangan dan pengolahannya. Dalam penerapan model matematikanya banyak variabel yang dilibatkan, oleh karena diperlukan suatu rumusan yang sederhana dengan menggunakan program komputer dalam membuat model tersebut, sehingga nantinya dapat digunakan dengan mudah penerapannya, sehingga semua orang dalam menggunakannya, terutama dalam kaitannya mengkaji model matematik pada suatu penampang sungai.

Maksud dan Tujuan Penelitian

Kajian ini dimaksudkan untuk mencari atau merancang model hidrologi yang sederhana, guna menentukan debit sembarang penampang basah pada suatu sungai dan model matematik sungai berdasarkan data sedimen. Serta merumuskanya dalam suatu program komputer.

Pengertian Model

Model adalah menyusun gambaran dari keadaan nyata. Dalam praktek-praktek permodelan, biasanya selalu diadakan penyederhanaan, Hal ini tidak berarti bahwa model selalu sederhana. Model terbagi atas : model fisik, model grafis dan model matematis.

Simulasi model diartikan sebagai proses pengamatan tingkah laku dari tata model yang sedang dipelajari atau direncanakan, cara ini sangat berguna untuk analisis ataupun sintesa dari tata model tersebut. Model juga mampu membuat aliran keluar selama periode yang panjang (beberapa tahun) yang berarti kondisi daerah aliran pada waktu sebelumnya yang mempengaruhi aliran sesudahnya, tentu saja model semacam ini menggunakan periode waktu terbatas dan perhitungan serta aliran-aliran yang terhitung merupakan titik yang waktunya terputus. Selain itu pula model digunakan untuk satu daerah aliran saja dan mempunyai karekteristik-karekteristik daerah yang sesuai dengan didalamnya.

Untuk penelitian ini digunakan model matematis berdasarkan metode statistik yang disederhanakan dengan program komputer.

Perancangan Model

Pada debit sungai yang amati, beberapa parameter yang ditentukan dengan bentuk penampang geometrinya, dalam hal ini kemiringan, kedalaman dan lebar serta sedimen yang terdapat di dalam alur sungai tersebut dapat diformulasikan dalam bentuk matematik. Interaksi antara debit dalam geometri itu dapat disimulasikan dalam bentuk model sebagai berikut :

1. Model berbentuk persamaan empiris yang dirancang dari:

$$Q = a W^b, Q = c D^d, Q = e A^f \quad (1)$$

$$Q = g A^h (W/D)^I, Q_s = a Q^b \quad (2)$$

2. Data pengukuran geometri penampang dan kemiringan muka air sungai.

$$Q = j A^k S^l, Q = m A^n D^o S^p \quad (3)$$

$$Q = q A^f W^s D^t S^u \quad (4)$$

dengan:

Q = debit sungai ($m^3/detik$)

Q_s = debit sedimen

W = lebar penampang basah (m)

A = luas penampang basah (m^2)

D = A/W

S = kemiringan muka air

a, c, e, g, j, m, q = koefisien

$b, d, f, h, i, k, l, m, o, p, s, t, u$ = eksponen

Model Persamaan Regresi

1. Model Regresi Eksponensial

Dari pasangan data variabel hidrologi

$\{(X_i, Y_i), i = 1, 2, 3, \dots, N\}$

Apabila dihitung dengan persamaan regresi eksponensial, maka modelnya adalah :

$$\hat{Y} = b e^{ax} \quad (5)$$

dengan :

Y = regresi eksponensial Y terhadap X , merupakan variabel bebas.

X = variabel tak bebas

a, b = parameter

$e = 2,7183$, dimana $Y_i > 0$

Persamaan di atas dapat ditransformasikan menjadi persamaan linear fungsi (ln) sebagai berikut :

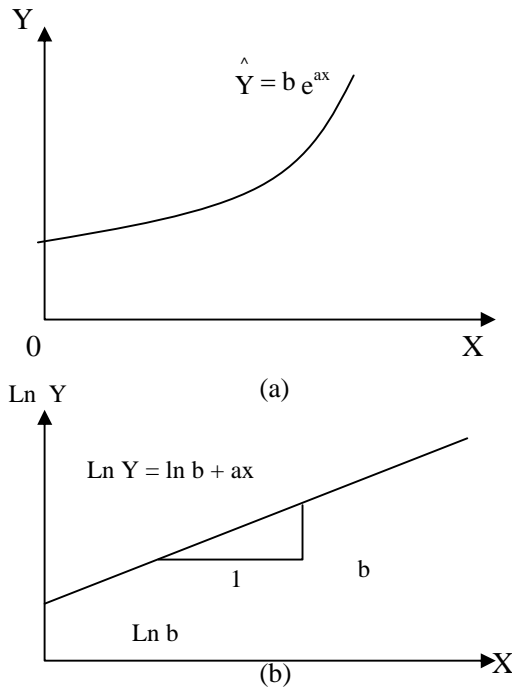
$$\text{Ln } Y = \text{Ln } (b e^{ax})$$

$$\text{Ln } Y = \text{Ln } b + e^{ax}$$

$$\text{Ln } Y = \text{Ln } b + aX \text{ Ln } e$$

$$\text{Ln } Y = \text{Ln } b + aX \text{ karena } \text{Ln } e = 1$$

Persamaan di atas merupakan persamaan fungsi semi Logaritmik antara $\text{Ln } Y$ dengan X , dan merupakan garis lurus dengan kemiringan (a) dan memotong sumbu $\text{Ln } Y$ di $\text{Ln } b$.



Gambar 1. Transformasi persamaan logaritmis ke persamaan linier

Untuk menyederhanakan persamaan maka dapat dilakukan transformasi sebagai berikut :

$$P = \text{Ln } Y$$

$$A = a$$

$$X = X$$

$$B = \text{Ln } b$$

Sehingga persamaan di atas menjadi $P = AX + B$

Persamaan ini identik dengan persamaan regresi linear sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\hat{P} = \bar{P} + R \left(\frac{\sigma_P}{\sigma_X} \right) (X - \bar{X}) \quad (6)$$

Koefisien korelasinya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(P_i - \bar{P})}{\left[\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (7)$$

Deviasi standart residue X , σ_X dan Deviasi standart residue P , σ_P

$$\sigma_P = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$\sigma_X = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad (9)$$

Kesalahan standar dari perkiraan nilai P , SEP

$$SEP = \dagger_p (1 - R)^{1/2} \quad (10)$$

Selanjutnya digunakan untuk mencari model matematika, untuk peristiwa hidrologi., hubungan tersebut dijabarkan dalam mencari hubungan antara Debit Sungai (Q_s) dan sedimen Layang (q). Bentuk umum :

$$q = b e^{aQ_s} \quad (11)$$

2. Model Regresi Berpangkat

Dari pasangan data variabel hidrologi

$\{(X_i, Y_i), i = 1, 2, 3, \dots, N\}$

Apabila dihitung dengan persamaan regresi eksponensial, maka modelnya adalah :

$$\hat{Y} = b X^a \quad (12)$$

dengan :

Y = regresi eksponensial Y terhadap X, merupakan variabel bebas.
 X = variabel tak bebas
 a,b = parameter.

Apabila persamaan 12 di atas ditransformasikan dalam bentuk persamaan linear fungsi (log) akan menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= \text{Log } (bX^a) \\ \text{Log } Y &= \text{Log } b + a \text{Log } X \\ \text{Dimana } Y_i &> 0 \text{ dan } X_i > 0 \end{aligned}$$

Selanjutnya dalam ditransformasikan menjadi persamaan linear sederhana sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= \text{Log } Y \\ A &= a \\ B &= \text{Log } b \\ p &= \text{Log } X \end{aligned}$$

Sehingga persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi $P = Ap + B$

Persamaan diatas merupakan persamaan logaritma yang menghubungkan log Y dan Log X, bentuknya garis lurus dengan kemiringan (a) dan memotong sumbu log Y di log b.

Persamaan diatas $P = Ap + B$ ini identik dengan persamaan regresi linear sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\hat{P} = \bar{P} + R \left(\frac{P}{X} \right) (X - \bar{X}) \quad (13)$$

Selanjutnya digunakan untuk mencari model matematika, untuk peristiwa hidrologi dijabarkan dalam penerapan mencari hubungan antara Debit Sungai (Qs) dan sediment Layang (q), bentuk umum :

$$q = b Q_s^a \quad (14)$$

Selain hubungan antara sedimen layang dan debit sungai akan dicari pula hubungan lainnya, dengan cara yang sama, yaitu :

- debit sungai Q dan lebar penampang basah W, model matematikanya : $Q = a W^b$, dimana Q ($m^3/detik$) sebagai X_i , W (m) sebagai Y_i
- debit sungai Q dan kedalaman aliran rata-rata D (meter), model matematikanya $Q = a D^b$, dimana : Q ($m^3/detik$) = X_i , D (m) = Y_i
- debit sungai Q dan Luas penampang basah A, dimana : Q ($m^3/detik$) = X_i , A (m^2) = Y_i , model matematikanya : $Q = a A^b$
- debit sungai Q dan Debit Sedimen layang Qs (suspended), dimana : Qs ($m^3/detik$) = X_i , Q

($m^3/detik$) = Y_i , model matematikanya : $Q_s = a Q^b$

- debit sungai Q dan Sediment dasar Qb (bed load), dimana : Qb ($m^3/detik$) = X_i , Qb (m^3/s) = Y_i , model matematikanya : $Q_s = a Q_b^b$

3. Model Regresi Polinomial

Persamaan regresi polinom orde ke m yang menyatakan hubungan dua data variabel hidrologi { (X_i, Y_i); $i = 1, 2, 3, \dots, n$ } dapat disajikan sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_m X^m \quad (15)$$

Nilai : $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$ dicari dengan :

$$\begin{aligned} [n \quad \sum x_i \quad \sum x_i^2 \quad \dots \quad \sum x_i^m] [b_0] &= [\sum y_i] \\ [\sum x_i \quad \sum x_i^2 \quad \sum x_i^3 \quad \dots \quad \sum x_i^{m+1}] [b_1] &= [\sum x_i y_i] \\ [\sum x_i^2 \quad \sum x_i^3 \quad \sum x_i^4 \quad \dots \quad \sum x_i^{m+2}] [b_2] &= [\sum x_i^2 y_i] \\ [\sum x_i^m \quad \sum x_i^{m+1} \quad \sum x_i^{m+2} \quad \dots \quad \sum x_i^{m+m}] [b_n] &= [\sum x_i^m y_i] \end{aligned}$$

Dalam persmaan orde ke - 2 persamaan umumnya diberikan sebagai berikut :

$$Y = a + bx + cx^2 \quad (16)$$

Nilai - nilai a, b, c di cari sebagai berikut :

$$\begin{aligned} [n \quad \sum x_i \quad \sum x_i^2] [a] &= [\sum y_i] \\ [\sum x_i \quad \sum x_i^2 \quad \sum x_i^3] [b] &= [\sum x_i y_i] \\ [\sum x_i^2 \quad \sum x_i^3 \quad \sum x_i^4] [c] &= [\sum x_i^2 y_i] \end{aligned}$$

Sehingga penyelesaiannya dapat dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} an + b \sum x_i + c \sum x_i^2 &= \sum y_i \\ a \sum x_i + b \sum x_i^2 + c \sum x_i^3 &= \sum x_i y_i \\ a \sum x_i^2 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^4 &= \sum x_i^2 y_i \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{\sum x_i \sum x_i^2 y_i}{(\sum x_i^2)^2 - n \sum x_i^4} \quad (17)$$

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (18)$$

$$c = \frac{-na}{\sum x_i^2} \quad (19)$$

Untuk mempermudah perhitungannya digunakan program komputer yang disajikan dalam bahasa fortran untuk penyelesaian solusi di atas. Penerapan persamaan dalam penelitian meliputi sebagai berikut :

- debit sungai Q, Luas penampang basah A serta (W/D), dimana Q ($m^3/detik$) = Y_i , A (m^2) = X_1 , (W/D) = X_2 , model matematikanya $Q = g A^h (W/D)^i$
- debit sungai Q dan Luas penampang, A, dengan kemiringan dasar sungai S, dimana Q

- (m³/detik) = Yi, A (m²) = X₁, S = X₂, model matematikanya $Q = j A^k S^i$
- c. debit sungai Q dan Luas penampang A, kedalaman aliran rata-rata D, dan kemiringan S, dimana : Q (m³/s) = Yi, A (m²) = X₁, D (m) = X₂, S = X₃, model matematikanya $Q = m A^n D^o S^p$
- d. debit sungai Q dan luas penampang basah A, kedalaman aliran rata-rata D, dan Lebar penampang saluran W serta kemiringan S, dimana Q (m³/detik) = Yi, A (m²) = X₁, W (m) = X₂, D (m) = X₃, S = X₄, model matematikanya $Q = q A^r W^p D^t S^u$

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder diperlukan sebagai data pendukung dalam melaksanakan survai berupa data topografi, data aliran sungai dan data studi yang pernah ada.

Pengumpulan Data Primer

1. Sampel Sedimen
Sampel sedimen yang digunakan bersumber dari sungai Citanduy, Pengambilan sampel sedimen ini menggunakan peralatan dan tatacara khusus untuk analisis dilakukan di Laboratorium di Pusat Air di Proyek Citanduy di Jawa Barat.
2. Lokasi Pengambilan data Geometri Penampang
Pengambilan data di lapangan di dahului dengan survey lapangan, guna menentukan lokasi pengambilan sampel. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan sampel yang dilaksanakan pada hari kemarau dan hari hujan. Adapun lokasi pengambilan sampel adalah Daerah Pataruman, Daerah Karang Pucung, Daerah Karang Sari Dan Daerah Rajagosi.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data geometri penampang dilakukan dengan cara, pengukuran hidrometri sungai yakni dengan cara pengukuran kecepatan air. Pengukuran kecepatan air ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar debit sungai tersebut, didalam pengukuran kecepatan air ini menggunakan alat current meter dengan menggunakan metode kalibrasi.

Adapun pelaksanaan kalibrasi di lapangan meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan lokasi pengamatan

2. Patok atau beri tanda dengan menggunakan kayu tampang yang akan diukur.
3. Berilah tanda dalam hal ini tali untuk menandai penampang melintang saluran
4. Ukur penampang melintang saluran tersebut.
5. Bagi penampang Aliran tersebut dalam beberapa segmen atau bagian. Misalkan tiap 1 (satu) meter, disini penulis membagi penampang aliran tiap satu segmen.
6. Pada titik tengah pias (segmen) diletakan alat current meter yang akan digunakan.
7. Untuk letak putaran kincir tergantung pada kedalaman aliran (h).
8. Pada Kalibrasi ini digunakan kedalaman 0,2h dan 0,8h

Analisis Perhitungan Luasan Tampang

Untuk pengukuran luasan digunakan metode trapesium seperti pada Gambar 3. Maka perhitungan luasan sebagai berikut :

$$A = \frac{a+b}{2} \cdot L \quad (20)$$

Perhitungan segmen lainnya sama.

ANALISIS DATA

Kajian Model matematika Geometri Penampang Sungai

Data lapangan digunakan untuk membentuk model. Luas penampang terukur berkisar antara 8,513 m² sampai 260.850 m², Lebar aliran terukur berkisar antara 58 m sampai 80 m dan kemiringan muka air terukur antara 0,00001 – 0,01055.

Dengan basis data geometri penampang diperoleh persamaan sebagai berikut :

- a. Daerah Pataruman.

$$Q = 12,837 A^{0,5412}, R^2 = 0,775$$

$$Q = 0,4148 D^{0,5639}, R^2 = 0,761$$

$$Q = 30,601 W^{0,1723}, R^2 = 0,540$$

$$Q = 0,4342 A^{1,309} W/D^{-0,381}, R^2 = 0,818$$

- b. Daerah Karangpucung

$$Q = 3,3998 A^{0,7424}, R^2 = 0,880$$

$$Q = 0,572 D^{0,0059}, R^2 = 0,406$$

$$Q = 23,803 W^{0,1718}, R^2 = 0,438$$

$$Q = 0,2863 A^{1,196} W/D^{0,050}, R^2 = 0,859$$

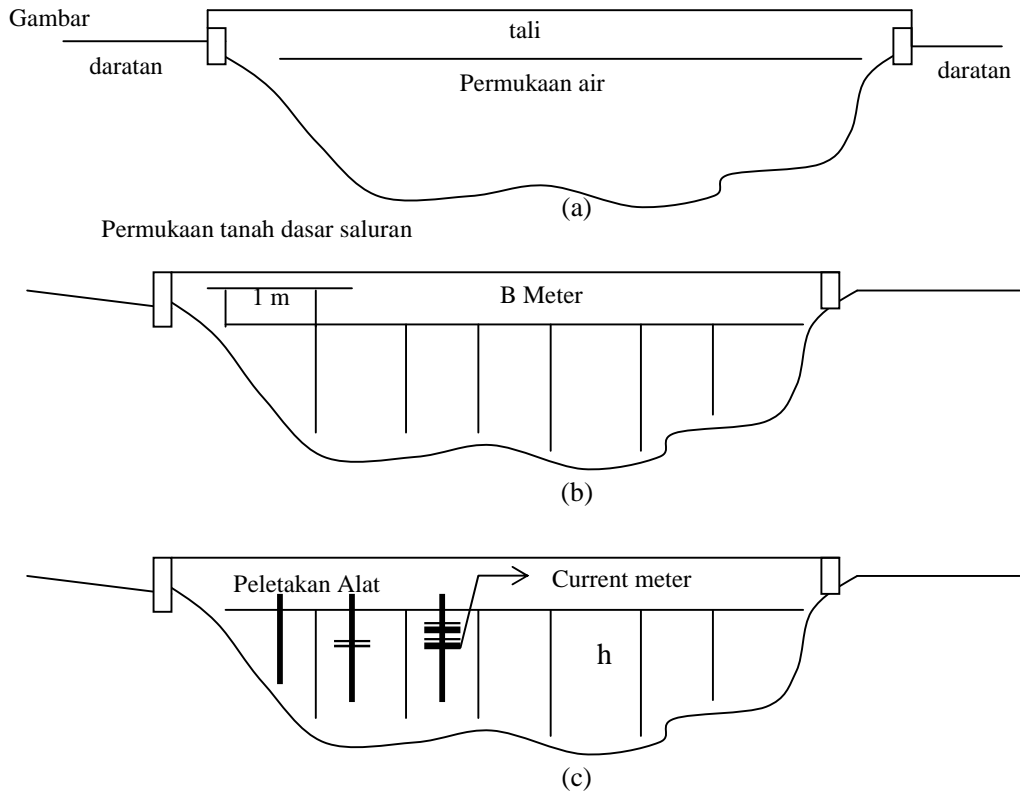
- c. Daerah Karangsari

$$Q = 7,0998 A^{0,6384}, R^2 = 0,961$$

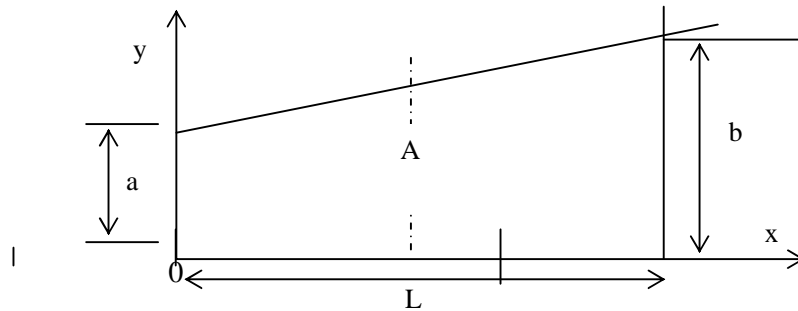
$$Q = 0,3366 D^{0,3840}, R^2 = 0,818$$

$$Q = 27,842 W^{0,1929}, R^2 = 0,728$$

$$Q = 0,11925 A^{1,470} W/D^{-0,0120}, R^2 = 0,983$$



Gambar 2. Sketsa pelaksanaan kalibrasi



Gambar 3. Perhitungan luasan penampang dengan menggunakan metode trapesium

- d. Daerah Rajagosi
- $Q = 4,8426 A^{0,7069}, R^2 = 0,935$
 - $Q = 0,7343 D^{0,1494}, R^2 = 0,108$
 - $Q = 35,002 W^{0,1032}, R^2 = 0,196$
 - $Q = 0,1547 A^{1,323} W/D^{0,002}, R^2 = 0,977$

Contoh untuk daerah Pataruman, model untuk menghitung debit berbasis data lebar (W) ternyata mempunyai R^2 kurang dari 0,75 dan oleh karenanya tidak dapat digunakan untuk menganalisis lebih lanjut. Dengan demikian estimasi debit Sungai Citanduy tidak dapat dilakukan hanya berdasarkan data lebar saja. Persamaan alirnya ternyata mempunyai F hitung = 42 dan 63 dan nilai itu lebih besar dari F tabel pada kepercayaan 5% dengan $F_{0,05}$

= 2,576 dan $F_{0,025} = 1,960$ Oleh karena itu H_0 ditolak dan menerima hipotesa alternatif. berarti variabel luas (A) untuk persamaan serta luas (A) dan (W/D) untuk persamaan lainnya secara bersama mempengaruhi debit.

Dari persamaan lainnya mempunyai $R^2 = 0,775$ hal ini berarti 77,5% debit Sungai Citanduy dapat dijelaskan oleh variasi luas penampang basah, sedangkan sisanya 22,5% dijelaskan oleh variasi lainnya misalkan lebar, kedalaman dan kemiringan muka air. Dengan kata lain luas penampang adalah faktor yang dominan yang mempengaruhi debit Sungai Citanduy.

Tabel 1. Uji - F dan Uji – t model debit berbasis geometri penampang sungai Citanduy

a. Daerah Pataruman

No	Model	F-hitung	F _{0,05}	VB	t-hitung	F _{0,025}	R ²
1	Q =f(A)	63,993	2,576	A	2,157	1,960	0,775
2	Q=f(A,W/D)	42,608	2,576	A, W/D	6,468	1,960	0,818

b. Daerah Karangpucung

No	Model	F-hitung	F _{0,05}	VB	t-hitung	F _{0,025}	R ²
1	Q =f(A)	141,216	2,576	A	3,445	1,960	0,880
2	Q=f(A,W/D)	62,411	2,576	A,W/D	1,787	1,960	0,859

c. Daerah Karangsari

No	Model	F-hitung	F _{0,05}	VB	t-hitung	F _{0,025}	R ²
1.	Q =f(A)	475,95	2,576	A	5,583	1,960	0,960
2.	Q=f(A,W/D)	554,50	2,576	A,W/D	4,526	1,960	0,983

d. Daerah Rajagosi

No	Model	F-hitung	F _{0,05}	VB	t-hitung	F _{0,025}	R ²
1.	Q =f(A)	102,270	2,576	A	6,424	1,960	0,836
2.	Q=f(A,W/D)	439,979	2,576	A, W/D	10,332	1,960	0,977

Dari data pada tabel di atas menggunakan uji-t dua sisi pada derajat kepercayaan 5% ternyata nilai t-hitung setiap variabel bebas selalu lebih besar dari 1,98 Oleh karena itu Ho di tolak dan menerima Hipotesa alternatif. Dengan demikian variabel bebas luas (A) pada persamaan di atas atau variabel luas (A) dan (W/D) dapat dinyatakan masing-masing mempengaruhi debit secara signifikan.

Model dengan Basis Data Geometri Penampang dan Kemiringan Muka Air

Dengan berbasis data penampang geometri dan kemiringan muka air diperoleh model dengan persamaan :

a. Daerah Pataruman.

$$Q = 2,5928 A^{1,437} S^{0,502}, R^2 = 0,996$$

$$Q = 13,667 A^{1,00} D^{0,667} S^{0,500}, R^2 = 0,999$$

$$Q = 14,216 A^{0,329} D^{1,352} W^{0,653} S^{0,493}, R^2 = 0,986$$

b. Daerah Karangpucung.

$$Q = 2,0738 A^{1,279} S^{0,365}, R^2 = 0,784$$

$$Q = 13,667 A^{1,00} D^{0,667} S^{0,500}, R^2 = 0,999$$

$$Q = 14,216 A^{0,329} D^{1,352} W^{0,653} S^{0,493}, R^2 = 0,999$$

c. Daerah Karangsari.

$$Q = 0,1279 A^{1,421} S^{0,388}, R^2 = 0,986$$

$$Q = 13,548 A^{1,004} D^{0,660} S^{0,500}, R^2 = 0,999$$

$$Q = 13,769 A^{1,006} D^{0,661} W^{0,550} S^{0,055}, R^2 = 0,997$$

d. Daerah Rajagosi.

$$Q = 1,9425 A^{1,217} S^{0,311}, R^2 = 0,950$$

$$Q = 2,494 A^{1,183} D^{0,105} S^{0,331}, R^2 = 0,927$$

$$Q = 5,4990 A^{1,217} D^{0,17} W^{-0,262} S^{0,318}, R^2 = 0,928$$

Model persamaan di atas mempunyai nilai R²>0.60 Oleh karena itu layak untuk diuji lebih lanjut menggunakan uji-F dan Uji-t. Tabel menunjukkan

nilai F-hitung setiap model selalu lebih besar dari F-tabel oleh karena itu Ho ditolak dan menerima hipotesa alternatif, berarti bersama-sama variabel bebas setiap model mempengaruhi debit.

Perbedaan Debit Estimasi terhadap Debit Terukur

Kalibrasi dan perbedaan debit model yang dihitung dengan mengukur perbedaannya terhadap debit terukur, nilai rata-rata perbedaan debit adalah sebagai berikut :

a. Daerah Pataruman

Q = f(A) beda rata-rata : -22,911%

Q = f(A,W/D) beda rata-rata : -20,429%

Q =f(A,S) beda rata-rata : -1,044%

Q =f(A,S,D) beda rata-rata : -0,572%

Q =f(A,S,D,W) beda rata-rata : 7,673%

b. Daerah Karangpucung

Q = f(A) beda rata-rata : -23,563%

Q = f(A,W/D) beda rata-rata : -15,668%

Q =f(A,S) beda rata-rata : -3,0822%

Q =f(A,S,D) beda rata-rata : -0,602%

Q =f(A,S,D,W) beda rata-rata : -27,177%

c. Daerah Karangsari

Q = f(A) beda rata-rata : 31,504%

Q = f(A,W/D) beda rata-rata : -7,272%

Q =f(A,S) beda rata-rata : -3,365%

Q =f(A,S,D) beda rata-rata : 0,040%

Q =f(A,S,D,W) beda rata-rata : 9,560%

d. Daerah Rajagosi

Q = f(A) beda rata-rata : 43,420%

Q = f(A,W/D) beda rata-rata : -13,283%

Q =f(A,S) beda rata-rata : -5,286%

Q =f(A,S,D) beda rata-rata : -2,971%

$Q = f(A, S, D, W)$ beda rata-rata : -1,453%
 Dengan perbedaan rata-rata kurang dari 10% maka model yang dipilih cukup baik untuk diuji lebih

lanjut terhadap debit dari pos duga air yang tidak dilibatkan untuk membentuk model.

Tabel 2. Uji F dan Uji T model debit berbasis geometri penampang dan kemiringan muka air Sungai Citanduy a. Daerah Pataruman

No	Model	F-hitung	$F_{0,05}$	VB	t-hitung	$F_{0,025}$	R^2
1.	$Q = f(A, S)$	2411,59	2,576	A, S	5.057	1.960	0.996
2.	$Q = f(A, D, S)$	351410	2,576	A, D, S	127.675	1.960	0.999
3.	$Q = f(A, D, W, S)$	723,872	2,576	A, D, W, D	7.166	1.960	0.986

b. Daerah Karangpucung

No	Model	F-hitung	$F_{0,05}$	VB	t-hitung	$F_{0,025}$	R^2
1.	$Q = f(A, S)$	36,806	2,576	A, S	0,840	1,960	0,789
2.	$Q = f(A, D, S)$	212767,7	2,576	A, D, S	99,544	1,960	0,999
3.	$Q = f(A, D, W, S)$	31,551	2,576	A, D, W, D	1,712	1,960	0,858

c. Daerah Karangsari

No	Model	F-hitung	$F_{0,05}$	VB	t-hitung	$F_{0,025}$	R^2
1.	$Q = f(A, S)$	690,766	2,576	A, S	5,573	1,960	0,986
2.	$Q = f(A, D, S)$	33870864	2,576	A, D, S	1,121	1,960	0,999
3.	$Q = f(A, D, W, S)$	1968,201	2,576	A, D, W, D	10,060	1,960	0,997

d. Daerah Rajagosri

No	Model	F-hitung	$F_{0,05}$	VB	t-hitung	$F_{0,025}$	R^2
1.	$Q = f(A, S)$	190,898	2,576	A, S	4,778	1,960	0,950
2.	$Q = f(A, D, S)$	78,549	2,576	A, D, S	0,983	1,960	0,927
3.	$Q = f(A, D, W, S)$	57,372	2,576	A, D, W, D	1,149	1,960	0,926

Uji Penerapan dan Penentuan Model

Langkah berikutnya adalah menghitung RMS untuk melakukan uji rancangan model terhadap data debit yang dikur dari lokasi pos duga air yang tidak dilibatkan untuk membentuk model. RMS dihitung dengan menggunakan rumus sebelumnya.

Daerah Pataruman

- $Q = f(A)$ beda rata-rata : 0,728%
- $Q = f(A, W/D)$ beda rata-rata : -3,550%
- $Q = f(A, S)$ beda rata-rata : -1,861%
- $Q = f(A, S, D)$ beda rata-rata : -0,572%
- $Q = f(A, S, D, W)$ beda rata-rata : 0,114%

Kajian model matematika transport sedimen

1. Perhitungan sedimen melayang dilakukan dengan mengukur debit harian (Q_w) yang dikombinasikan dengan konsentrasi dari angkutan sedimen melayang (C) dan menghasilkan muatan angkutan melayang Q_s , rumusnya dapat ditulis sebagai berikut :
 $Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w$ ton/hari
 Didapat Hubungan debit sungai dan debit sedimen layang pada Sungai Citanduy daerah Pataruman didapat model matematikanya
 $Q_{sus} = 0,00007 Q_w^{1,1236}$
2. Dari hasil perhitungan sedimen dasar dengan menggunakan metode Leo Van Rijn didapat

hubungan antara sedimen sungai dan sedimen dasar . pada penelitian 12 penampang yang diamati pada Sungai Citanduy didaerah pataruman didapat hasil model matematikanya :
 $Q_s = 0,1165 Q_w^{1,224}$ dengan $R^2 = 0,7176$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Model hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk menghitung debit (termasuk debit banjir) disembarang penampang melintang Sungai Citanduy yang lokasinya memenuhi ketentuan teknis.
2. Pengukuran geometri penampang sungai dan kemiringan muka air, dalam pelaksanaan teknis hidrologinya dapat memperkirakan debit sungai dengan mudah dan praktis. Untuk pengukuran berdasarkan data geometri untuk Sungai Citanduy adalah sebagai berikut :
 $A = 7,0998 Q^{0,6384}$
 $D = 0,3366 Q^{0,3840}$
 $W = 8,7268 \ln(Q) + 20,786$
 $Q = 0,11925 A^{1,470} (W/D)^{-0,120}$
 Estimasi Debit Sungai Citanduy dapat digunakan model
 $Q = 13,667 A^{1,00} D^{0,667} S^{0,500}$
 $Q = 14,216 A^{0,329} D^{1,352} W^{0,653} S^{0,493}$

3. Hubungan debit sungai dan debit sedimen layang pada Sungai Citanduy daerah Pataruman didapat model matematinya
 $Q_{sus} = 0,00007 Q_w^{1,1236}$
4. Luas penampang sungai merupakan faktor dominan yang berpengaruh terhadap debit aliran.

Saran

1. Model hasil penelitian ini harus dilakukan kalibrasi secara berkala dengan membandingkan debit terukur dengan alat kuat arus.
2. Perlu dilakukan pembuatan model serupa untuk sungai– sungai lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow V.T,dan Nenci Rosalina, 1987, *Hidraulika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta
- Chow, V.T., 1959, *Open Channel Hydraulics*, Mc Graw-Hill, Inc, Illinois.
- Ersin Seyhan, 1977, *Dasar – dasar Hidrologi* , Gajah Mada University Press.
- Sosrodarsono, S, Kensaku, Takeda, 1981, *Bendungan Tipe Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta,
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis Data*, Jilid 1 dan 2, Penerbit Nova, Bandung.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Pengukuran Dan Pengelohan Data Aliran Sungai (hidrometri)*, Penerbit Nova, Bandung.
- Soemarto,C.D., 1986, *Hidrologi Teknik*, Penerbit Usaha Nasional-Surabaya
- Sudjana, *Metode Statistik*, Penerbit Tarsito, Bandung.
- Van Rijn, L.C., 1982. *Equivalent Roughness of Alluvial Bed*, J. Hydraul. Div. ACE.108 (HY10), pp 1215 - 1218
- Van Rijn, L.C., 1984, *Sediment Transport, part I : Bed Load Transport*, J.Hydraul.Eng,Vol. 110, No.10 Oktober, ESCE,19220,pp 1431-1455
- Van Rijn, L.C., 1984, *Sediment Transport, part II : Suspended Load Transport*, J.Hydraul. Eng, Vol. 110, No.11 Nopember, ESCE,19277, pp 1613-1641
- Van Rijn, L.C., 1984, *Sediment Transport, part III : Bed Form and Alluvial Roughness*, J.Hydraul.Eng, Vol.110 No. 12.Desember, ESCE,19346,pp 1733-1754
- Van Rijn, L.C., 1987, *Mathematical Modelling of Morfological Processes in the Case Of Suspended Sediement Transport*.
- Van Rijn, L.C., 1993, *Principles of Sediment Transport In Rivers, Estuaries And Coastal Seas*, Aqua Publication