

DEGRADASI DASAR SUNGAI

Oleh : Imam Suhardjo

Abstraksi

Degradasi dasar sungai umumnya merupakan akibat adanya erosi dan sebagai perantara utama adalah air yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Studi ini bertujuan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab degradasi dasar sungai yang dilengkapi dengan permodelan matematis.

Kata kunci: degradasi dasar sungai, model matematik.

A. PENDAHULUAN

Degradasi dasar sungai umumnya merupakan akibat adanya erosi dan sebagai perantara utama adalah air yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran.

Sungai adalah suatu aliran drainase yang terbentuk secara alamiah, akan tetapi disamping fungsinya tersebut dengan adanya air yang mengalir didalamnya, sungai menggerus tanah dasarnya secara terus menerus (degradasi) sepanjang waktu.

Volume sedimen yang sangat besar yang dihasilkan di daerah pegunungan dari dasar sungai tersebut terangkut ke hilir oleh aliran sungai. Karena di daerah pegunungan atau pada daerah dengan kemiringan dasar sungai yang curam, maka dengan kecepatan aliran cukup besar, gaya tarik aliran airnya cukup besar, tetapi setelah aliran sungai mencapai daerah dataran, maka gaya tariknya menurun, karena itu ukuran butir sedimen yang terangkut dan mengendap di bagian hulu sungai lebih besar daripada di bagian hilirnya.

Tindak pengatasan terjadinya penurunan dasar sungai (degradasi) dapat dibangun bendung / ambang (*ground sill*), dan usahakan penempatannya di sebelah hilir dari ruas sungai.

Apabila ruas sungai tersebut cukup panjang, maka diperlukan beberapa buah *ground sill* yang dibangun secara berurutan membentuk terap-terap, sehingga bendung yang lebih hulu tertimbun oleh tumpukan sedimen yang tertahan oleh bendung di hilirnya. Tujuan pembangunan *ground sill* ini adalah pelandaian dasar sungai yang semula curam dengan kecepatan aliran cukup besar menjadi kecepatan yang lebih kecil (aliran super kritik menjadi aliran sub kritik).

B. PEMBAHASAN

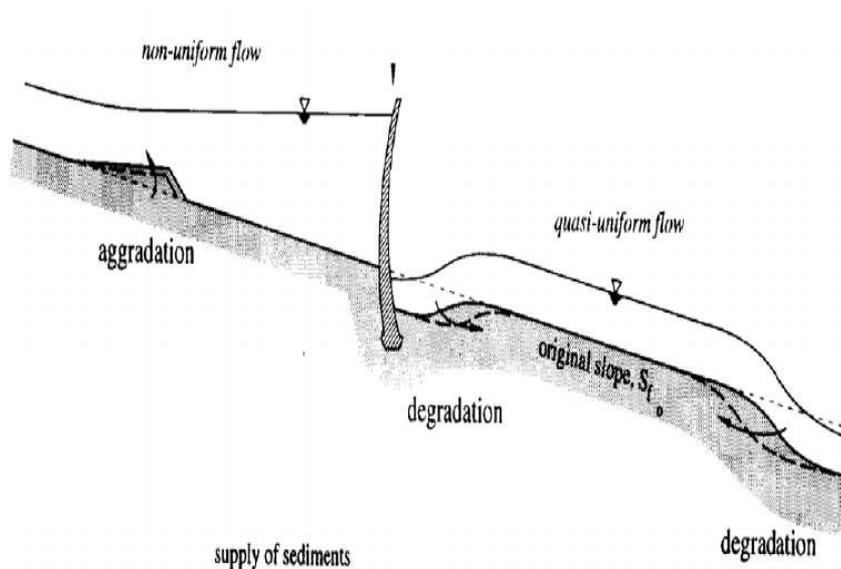
1. Umum

Degradasi dasar sungai dapat terjadi apabila :

- Debit solid (pasokan sedimen) yang datang lebih kecil daripada kemampuan transpor sedimen
- Dasar sungai tererosi
- Dasar sungai turun

Beberapa contoh degradasi :

- Pasokan sedimen (*solid discharge*) dari hulu berhenti atau berkurang, misal akibat dibangunnya bendungan (dam) maka dibagian hilir terjadi degradasi.
- Debit aliran air bertambah, misal saat terjadi banjir maka kedalaman air bertambah yang berimplikasi kecepatan aliran lebih besar.
- Penurunan dasar sungai di suatu titik di hilir, misalnya pada kemiringan dasar sungai yang curam atau pada aliran yang super kritis.



Gambar 1. Degradasi Dasar Sungai

Proses terjadi degradasi

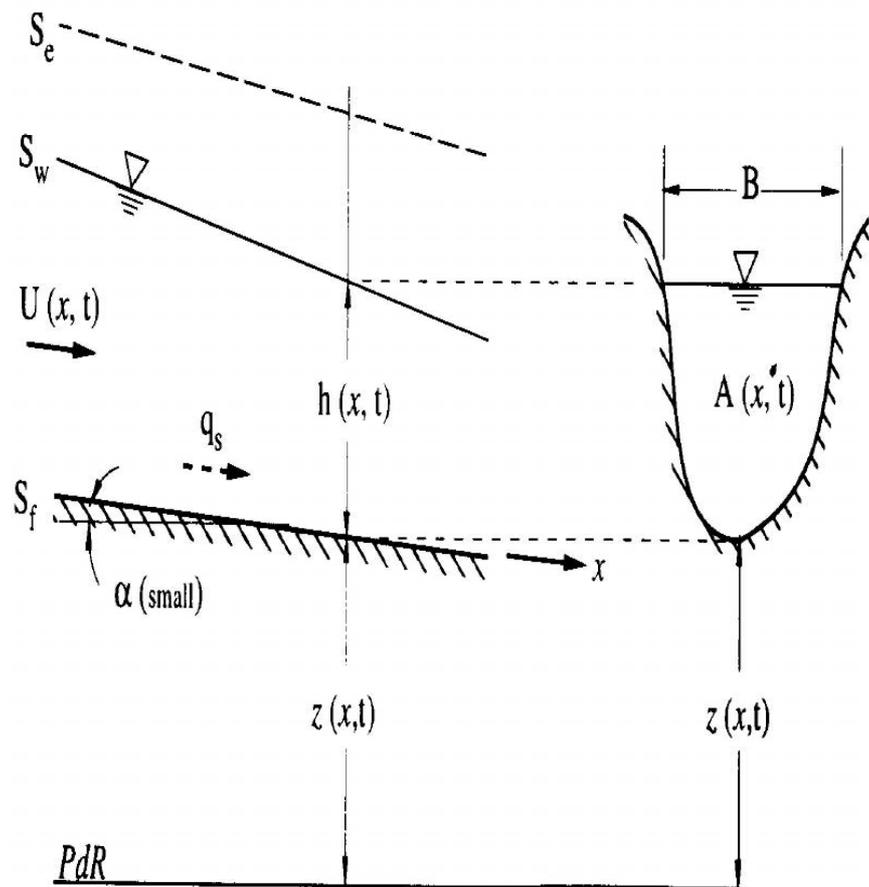
- Merupakan proses jangka panjang evolusi dasar sungai, $Z(x,t)$
- Aliran sungai pada awal dan akhir proses berupa aliran permanen dan seragam (*steady and uniform flow*)
- Selama proses, aliran sungai berupa aliran permanen semu (*quasi unsteady*) dan tak seragam (*non uniform*)

2. Metode Analisis Degradasi

Asumsi untuk penyederhanaan

- Aliran dianggap seragam (quasi uniform), $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$
- Sehingga dapat dipakai model parabolik, yang memungkinkan dilakukannya penyelesaian analitik

Persamaan Saint – Venant - Exner



Gambar 2. Kemiringan Garis Energi

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} = -g \cdot S_e \quad (2)$$

$$S_e = f(f, u, h) \quad (3)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-p} \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

$$q_s = f(u, h, \text{sedimen}) \quad (5)$$

Unknowns

- $u(x, t)$ = kecepatan rata-rata aliran campuran air + sedimen
- $h(x, t)$ = kedalaman aliran campuran
- $z(x, t)$ = elevasi dasar sungai
- S_e = kemiringan garis energi
→ persamaan empirik
- q_s = debit solid / bagian padat persatuan lebar → persamaan empirik

Variabel bebas (*Independent Variables*)

- x = jarak, posisi
- t = waktu

Dengan

- g = percepatan gravitasi = 9,81 m/d²
- p = porositas, rasio antara volume rongga udara yang terisi air dengan volume total

3. Penyelesaian Analitik Model Parabolik

Berdasarkan persamaan Saint-Venant-Exner, metode penyelesaian

Penyelesaian

- Cara analitik → kasus sederhana
- Cara numerik → kasus kompleks

Kenyataannya dalam bentuk aslinya, penyelesaian analitik persamaan tersebut sulit dilakukan, sehingga persamaan perlu disederhanakan :

- aliran dengan angka Froude (=Fr) kecil
- aliran permanen/tetap (*quasi steady*)
- pembenaran (justifikasi)
 - variasi debit aliran; fenomena jangka pendek
 - variasi dasar sungai → fenomena jangka panjang
 - sehingga dalam tinjauan variasi dasar sungai $\partial z/\partial t$, dan aliran dianggap konstan $\partial u/\partial t = 0$.

Persamaan model parabolik variasi dasar sungai

$$\frac{\partial z}{\partial t} - K(t) \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot b_s \cdot q_s \cdot \frac{1}{(1-p)} \cdot \frac{1}{S_{e_0}}$$

dengan :

K = koefisien difusi \rightarrow dianggap konstan (= q_s konstan)

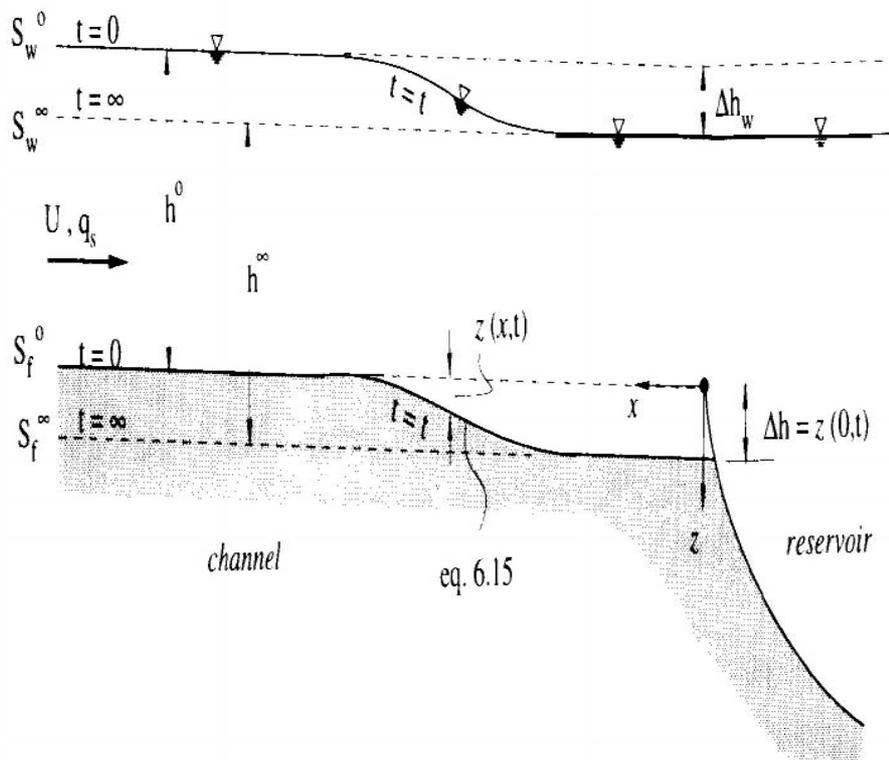
indek 0 \rightarrow menunjukkan aliran seragam (*uniform*)

$b_s = B$ = lebar dasar sungai

q_s = debit bagian padat (debit solid = transpor sedimen total)

Syarat model Parabolik :

- aliran *quasi steady*
- aliran *quasi uniform*
- $Fr < 0,60$
- $x > 3 h/S_e$
- $t > (40/30) \frac{R_h^2}{(S_e \cdot q_s)}$



Gambar 3. Penurunan Muka Air Saluran

Model degradasi dasar sungai (parabolik)

- a. Penurunan muka air di titik kontrol (*reservoir*) sebesar Δh_w
 - dasar sungai di titik kontrol turun Δh
 - dalam jangka panjang, dasar dan muka air sungai di sepanjang sungai akan turun.
- b. Aliran dianggap permanen dan seragam (beraturan)
 - model parabolik dapat dipakai
 - karena debit konstan, maka koefisien K konstan
- c. Diskripsi matematis
 - sumbu x : sepanjang dasar sungai awal, positif ke arah hulu
 - sumbu z : variasi dasar sungai relatif terhadap kemiringan dasar sampai awal S_0 .
 - Syarat awal dan syarat batas
 $z(x,0) = 0; z(0,t) = \Delta h; \lim_{x \rightarrow \infty} z(x,t) = 0$
- d. Penyelesaian analitik

$$z(x,t) = \Delta h \cdot \text{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{Kt}} \right]$$

erfc (*error function*) = dapat dihitung dengan bantuan tabel matematik, dan tersedia pula dalam Ms Excel.

Debit solid (transpor sedimen) dapat dihitung persamaan menurut Graf (*total load*).

$$\frac{C_s \cdot U \cdot R_h}{\sqrt{(S_s - 1)g \cdot d_{50}^3}} = 10,39 \left[\frac{(S_s - 1)d_{50}}{S_e \cdot R_h} \right]^{-2,52}$$

$$q_s = C_s \cdot U \cdot h = C_s \cdot U \cdot R_h \cdot \frac{h}{R_h}$$

dengan :

C_s = konsentrasi, rasio antara volume bagian padat (*solid*) dengan volume total campuran (*mixture*)

S_s = rapat masa relatif

$$= \frac{\rho_s}{\rho}$$

S_e = kemiringan garis energi

- R_h = radius hidrolis
- U = kecepatan ($u \sim U_0$) rata-rata
- d_{50} = diameter rata-rata
- g = percepatan gravitasi bumi
= 9,81 m/s²
- h = kedalaman air

e. Prosedur penyelesaian hitungan

- Tetapkan diskripsi matematis
- Hitung parameter aliran : Fr, U dan sebagainya
- Hitung debit solid total q_s
- Hitung koefisien difusi K
- Pakai model parabolik dan penyelesaian analitik untuk mencari
 - Waktu yang dibutuhkan t, untuk mencapai nilai degradasi yang ditetapkan di titik tinjauan (kontrol)
 - Besar degradasi dasar sungai di sepanjang ruas sungai pada waktu t tersebut untuk menggambarkan profil dasar sungai.
 - Variasi dasar sungai terhadap waktu z (x,t)
 - Estimasi elevasi dasar sungai dengan syarat batas baru

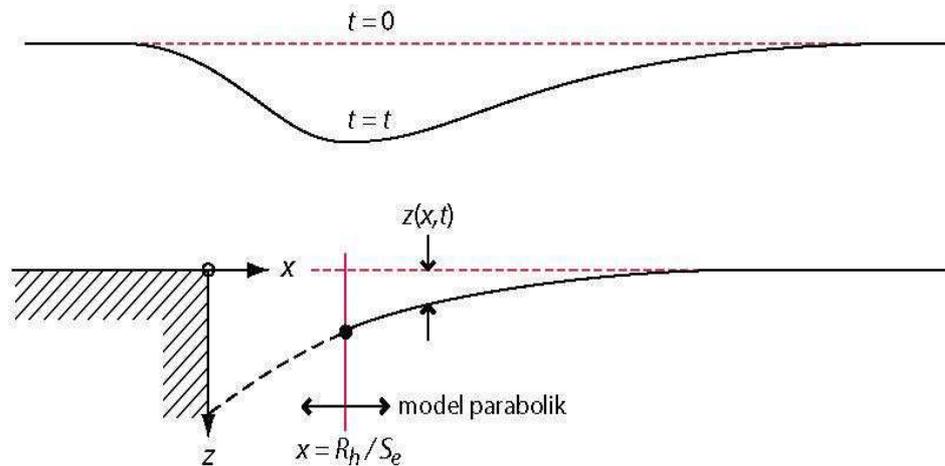
4. Aplikasi Hitungan Degradasi Dasar Sungai

Suatu sungai dengan lebar $B = 5\text{m}$. Di salah satu ruas sungai tersebut, dasar berupa *fixed bed* dan dianggap tidak ada transpor sedimen di ruas ini. Di sisi hilir setelah bagian *fixed bed*, ruas sungai berupa *mobile bed* dengan material dasar sungai yang memiliki diameter rata-rata $d_{50} = 1\text{ mm}$, rapat masa relatif $S_s = 2,6$, dan porositas $p = 0,3$.

Debit aliran $Q = 15\text{ m}^3/\text{s}$ dengan kedalaman $h = 2,2\text{m}$, keduanya dianggap tetap, tampang sungai dianggap bentuk segi empat.

Pengamatan menunjukkan bahwa degradasi dasar sungai telah terjadi, yang berawal di pertemuan bagian *fixed* dan *mobile bed*.

Perkirakanlah waktu yang diperlukan sampai terjadi degradasi dasar sungai sebesar $\Delta z/\Delta h = 0,40$ di titik sejauh $L = 6 R_h/S_e$, serta gambar profil dasar sungai.



Gambar 4. Model Parabolik Degradasi Dasar Sungai

Sumber : Istiarto (2007)

a. Diskripsi Matematis

Model Parabolik didasarkan pada penyelesaian persamaan :

$$\frac{\partial z}{\partial t} - K \cdot t \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0$$

Sumbu x : mengikuti dasar sungai awal dan positif ke arah hilir

Sumbu z : variasi dasar sungai dan positif ke arah bawah

Syarat awal dan syarat batas

$$z(x, 0); \lim z(x, t) \text{ dan } z(0, t) = \Delta h(t)$$

$$z(x, t) = \Delta h \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Kt}} \right)$$

$$\text{Syarat : } Fr < 0,6; x > 3 R_h / S_e$$

b. Hitungan aliran

Menghitung kemiringan garis energi S_e , dengan persamaan Manning-Strickler

$$U = \frac{Q}{b \cdot h} = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot S_e^{1/2}$$

$$\rightarrow d_{50} = 1 \text{ mm} = 1.10^{-3} \text{ m}$$

$$K_s = \frac{21,1}{d_{50}^{1/6}} = \frac{21,1}{(1.10^{-3})^{1/6}} = 6,67 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$$

$$h = 2,2 \text{ m}, B = b = 5 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{5 \cdot 2,20}{5 + 2 \cdot 2,20} = 1,17 \text{ m}$$

$$Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}; q = Q/B = 15/5 = 3 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$U = q/h = 3/2,20 = 1,36 \text{ m/s}$$

Angka Froude

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}} = \frac{1,36}{\sqrt{9,81 \cdot 2,20}} = 0,293 < 0,6$$

Memenuhi syarat berlaku model parabolik

Kemiringan garis energi

$$S_e = \left[\frac{U}{K_s \cdot R_h^{2/3}} \right]^2 = \left[\frac{1,36}{66,7 \cdot (1,17)^{2/3}} \right]^2 = 3,372 \cdot 10^{-4}$$

$$= 3,4 \cdot 10^{-4}$$

c. Hitungan transpor sedimen

Persamaan Graf

$$\frac{C_s \cdot U \cdot R_h}{\sqrt{[(\rho_s - \rho) / \rho] g \cdot d_{50}^3}} = 10,39 \left\{ \frac{[(\rho_s - \rho) \rho] d_{50}}{S_o \cdot R_h} \right\}^{-2,52}$$

$$S_s = \frac{\rho_s}{\rho_{air}} \Rightarrow \rho_s = \rho_w - S_s \quad (\rho_w = \rho = 1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$\rho_s = 2,60 \text{ t/m}^3$$

$$(\rho_s - \rho) / \rho = (2,60 - 1,00) / 1,00 = 1,6$$

$$d_{50} = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_o = S_e = 3,4 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{C_s \cdot U \cdot R_h}{\sqrt{1,6 \cdot 9,81 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^3}} = 10,39 \left\{ \frac{1,6 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{3,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1,17} \right\}^{-2,52}$$

$$C_s \cdot U \cdot R_h = 3,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Debit sedimen

$$q_s = C_s \cdot U \cdot h$$

$$= C_s \cdot U \cdot R_h \cdot \frac{h}{R_h} = 3,9 \times 10^{-5} \cdot \frac{2,20}{1,17}$$

$$= 7,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{Istiarto, 2007})$$

d. Koefisien difusi

$$K_o = K = \frac{1}{3} b_s \cdot q_s \cdot \frac{1}{(1-p)} - \frac{1}{S_e^0}$$

$$S_e^0 = 3,4 \times 10^{-4}, \text{ porositas } p = 0,30$$

$$(1-p) = 0,70$$

$$b_s = 2 \times \beta \quad (b_s = \text{konstanta})$$

$$= 2 \times 2,52 = 5$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 5 \cdot 7,3 \times 10^{-5} \cdot \frac{1}{0,70} \cdot \frac{1}{3,4 \times 10^{-4}} = 0,511 \text{ m}^2 / \text{s}$$

e. Waktu sampai dengan pencapaian degradasi $z = 0,4 \Delta h$ diperkirakan dengan memakai persamaan

$$\frac{z(x,t)}{\Delta h} = \text{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{K \cdot t}} \right] = 0,4$$

$$\text{erfc}(Y) = 0,4$$

Mencari nilai Y, sedemikian hingga *complementary error function* nilai y adalah 0,4.

Nilai Y tersebut dapat ditemukan dalam tabel erfc (matematik), atau fasilitas yang ada di dalam MS Excel

$$Y = 0,595133 = 0,6$$

$$\text{erfc}(0,6) = 0,4$$

$$Y = 0,6 = \frac{x}{2\sqrt{K \cdot t}} \rightarrow t = \frac{x^2}{4y^2 \cdot K} = \frac{x^2}{1,44 \cdot K}$$

$$\text{Dititik } x = L = 6 \cdot R_h / S_e$$

$$= 6 \cdot 1,17 / 3,4 \times 10^{-4} = 20.647,05 \text{ m}$$

$$= 20,647 \text{ km}$$

$$t = \frac{(20,667 \times 10^3)^2}{1,44 \times 0,511} = 579336010,3 \cdot \text{s}$$

$$= 5,8 \times 10^8 \cdot \text{s} = 18,63 = 19 \text{ tahun}$$

Kedalaman degradasi, Δh pada waktu $t = 5,8 \times 10^8$ s tersebut dihitung

$$\Delta h = \frac{q_s \cdot \Delta t}{1,13(1-p)\sqrt{K \cdot \Delta t}} = \frac{(7,3 \times 10^{-5})(5,8 \times 10^8)}{1,13 \times 0,7 \sqrt{0,511(5,8 \times 10^8)}}$$

$$= 3,109 \text{ m}$$

$$z = 0,4 \cdot \Delta h = 1,244 \text{ m}$$

C. Kesimpulan

Degradasi dasar sungai terjadi :

- dasar sungai dengan kemiringan curam atau aliran super kritik
- debit solid yang datang lebih kecil daripada kemampuan transport sedimen
- debit aliran bertambah

Pada analisis degradasi:

- titik kontrol di hilir (*reservoir*)
sumbu X, sepanjang dasar sungai awal positif ke arah hulu
- titik kontrol di hulu (*fixed bed/groundsill*)
sumbu X, sepanjang dasar sungai awal dan positif ke arah hilir
- sumbu Z, variasi dasar sungai dan positif ke arah bawah

D. Daftar Pustaka

Atiam, 2008, *Degradasi Dasar Sungai*, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta

Anonim, 1997, *Irigasi dan Bangunan Air*, Gunadarma, Jakarta

Istiarto, 2007, *Degradasi Agradasi Dasar Sungai*, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta

Sosrodarsono, S., Tominaga, M., 1984, *Pradnya Paramita*, Jakarta