

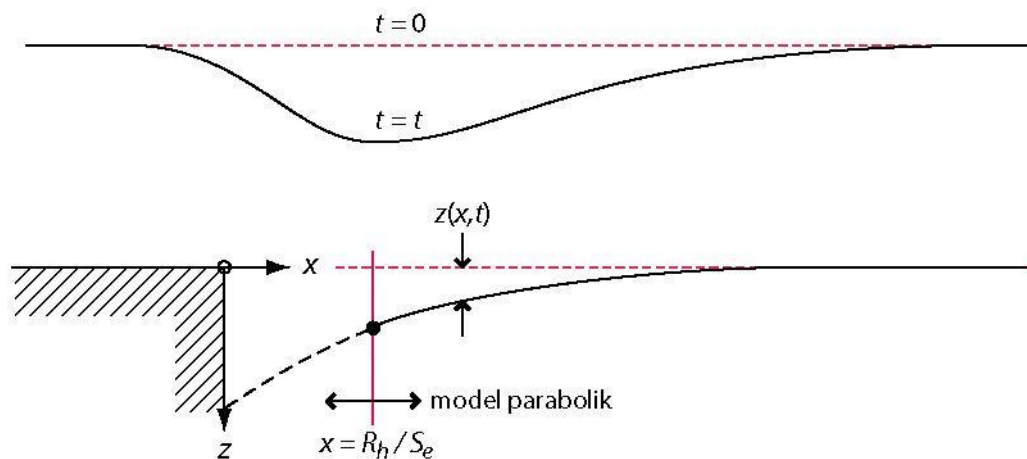
## TRANSPOR SEDIMEN: DEGRADASI DASAR SUNGAI

### SOAL A

Suatu sungai (tampang dianggap berbentuk segiempat) dengan lebar  $B = 5$  m. Di suatu tempat di sungai tsb, terdapat dasar sungai yang berupa *fixed bed* dan dianggap tidak ada transpor sedimen di ruas ini. Di sisi hilir setelah bagian *fixed bed* tsb, ruas sungai berupa *erodible bed* dengan material dasar sungai yang memiliki diameter rata-rata  $d_{50} = 1$  mm, rapat massa relatif  $s_s = 2.6$ , dan porositas  $p = 0.3$ . Debit aliran adalah  $Q = 15$  m<sup>3</sup>/s dengan kedalaman  $h = 2.2$  m; keduanya dianggap tetap.

Pengamatan menunjukkan bahwa degradasi dasar sungai telah terjadi, yang berawal di pertemuan bagian *fixed* dan *mobile bed* (Gambar 1). Perkirakanlah waktu yang dibutuhkan sampai terjadinya degradasi dasar sungai sebesar  $\Delta z/\Delta h = 0.4$  di titik sejauh  $L = 6R_h/S_e$ , serta gambarlah profil dasar sungai pada keadaan ini. Tunjukkanlah grafik variasi dasar sungai sebagai fungsi waktu di pertemuan tersebut.

Apabila di suatu stasiun yang berada 90 km ke arah hilir terdapat titik kontrol dengan dasar sungai tetap (*fixed bed*), perkirakanlah profil dasar sungai yang akan terjadi.



Gambar 1: Degradasi dasar sungai di hilir struktur hidraulik

## PENYELESAIAN

### 1. DESKRIPSI MATEMATIS

Kedalaman degradasi dasar sungai dapat dihitung dengan model parabolik apabila aliran dianggap permanen dan seragam (semu). Model parabolik didasarkan pada penyelesaian persamaan:

$$\frac{\partial z}{\partial t} - K \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

Dalam permasalahan degradasi seperti soal di atas, sumbu  $x$  mengikuti dasar sungai awal dan positif ke arah hilir. Sumbu  $z$  menunjukkan variasi dasar sungai dan positif ke arah bawah. Perlu diingat bahwa model parabolik berlaku untuk Angka Froude  $Fr < 0.6$  dan jarak  $x > 3R_h/S_e$ .

Syarat awal dan syarat batas pada Pers. (1) di atas adalah:

$$z(x,0) = 0 ; \lim_{x \rightarrow \infty} z(x,t) = 0 ; z(0,t) = \Delta h(t) \quad (2)$$

Penyelesaian Pers. (1) dengan syarat awal dan syarat batas menurut Pers. (2) adalah:

$$z(x,t) = \Delta h \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{Kt}} \right) \quad (3)$$

### 2. HITUNGAN ALIRAN

Dengan anggapan aliran seragam, maka Persamaan Manning-Strickler berikut dapat dipakai untuk menghitung kemiringan garis energi.

$$U = Q/Bh = K_s R_h^{2/3} S_e^{1/2} \quad (4)$$

dalam hal ini,

$$K_s = 21.1/d_{50}^{1/6} = 66.7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$h = 2.2 \text{ m}$$

$$B = 5 \text{ m}$$

$$R_h = 1.17 \text{ m}$$

$$Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$U = q/h = 1.36 \text{ m/s.}$$

Dengan demikian, kemiringan garis energi pada aliran seragam tersebut adalah  $S_e = 3.4 \times 10^{-4}$  dan Angka Froude  $Fr = 0.29 (< 0.6, \text{ memenuhi syarat berlaku model parabolik})$ .

### 3. HITUNGAN TRANSPOR SEDIMEN

Debit sedimen,  $q_s = C_s U h$ , dihitung dengan Persamaan Graf:

$$\frac{C_s U R_h}{\sqrt{[(\rho_s - \rho)/\rho] g d_{50}^3}} = 10.39 \left\{ \frac{[(\rho_s - \rho)/\rho] d_{50}}{S_o R_h} \right\}^{-2.52} \quad (5)$$

Dalam persamaan tersebut,

$$\begin{aligned} (\rho_s - \rho)/\rho &= 1.6 \\ d_{50} &= 1 \text{ mm} \\ S_o \cong S_e &= 3.4 \times 10^{-4} \\ C_s U R_h &= 3.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Dengan demikian, debit sedimen adalah:

$$C_s U R_h \frac{h}{R_h} = 3.9 \times 10^{-5} \frac{2.2}{1.17} = 7.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

#### 4. KOEFISIEN DIFUSI

$$K_o \equiv K = \frac{1}{3} b_s q_s \frac{1}{1-p} \frac{1}{S_e^0} \quad (6)$$

Di dalam persamaan tersebut,

$$\begin{aligned} S_e^0 &= 3.4 \times 10^{-4} \\ (1-p) &= 0.7 \\ b_s &= 2 \times 2.52 \cong 5 \quad (\beta = 2.52) \end{aligned}$$

Dengan demikian koefisien difusi adalah  $K = 0.511 \text{ m}^2/\text{s}$ .

#### 5. WAKTU S.D. PENCAPAIAN DEGRADASI $z = 0.4 \Delta H$

Jangka waktu proses degradasi dari awal s.d.  $z/\Delta h = 0.4$  dapat diperkirakan dengan memakai Pers. 3.

$$\frac{z(x,t)}{\Delta h} = \text{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{Kt}} \right) = 0.4 \quad \Rightarrow \quad \text{erfc}(Y) = 0.4$$

Soal yang harus diselesaikan, dengan demikian, adalah mencari 'kebalikan erfc' (anti-erfc !?), yaitu mencari nilai Y sedemikian hingga *complementary error function* nilai Y adalah 0.4. Nilai Y tersebut dapat ditemukan dengan mudah dalam tabel erfc. Apabila tabel erfc tidak tersedia, fasilitas perintah "**ERFC(...)**" dan "**Goal Seek**" yang ada didalam MS Excel dapat pula dipakai dengan langkah hitungan seperti dipaparkan di bawah ini.

- Masukkan sembarang nilai numerik di cell A1, misal 1.
- Masukkan fungsi erfc nilai tersebut kedalam cell B1 dengan menulis **=ERFC(A1)** di cell B1.
- Cell B1 akan berisi nilai 0.157299, yaitu nilai erfc(1).
- Aktifkan **Goal Seek** didalam menu **Tools** dan lakukan pengisian data berikut ini pada window yang muncul:

- Set cell: B1
- To value: 0.4
- By changing cell: A1

e. Setelah beberapa saat nilai-nilai di cell A1 dan B1 akan berubah menjadi 0.595133 di cell A1 dan 0.3999986 di cell B1.

f. Nilai 0.595133 ( $\cong 0.6$ ) adalah nilai yang dicari; jadi  $\text{erfc}(0.6) = 0.4$ .

Dengan demikian, waktu antara proses awal degradasi sampai dengan dicapainya elevasi dasar sungai  $z = 0.4\Delta h$  adalah:

$$Y \cong 0.6 = \left( \frac{x}{2\sqrt{Kt}} \right) \Rightarrow t \cong \frac{x^2}{4Y^2K} \cong \frac{x^2}{1.44K}$$

Di titik  $x \cong L = 6R_h/S_e = 20.73$  km, elevasi dasar sungai  $z = 0.4\Delta h$  dicapai pada waktu:

$$t = \frac{(20.73 \times 10^3)^2}{1.44 \times 0.511} = 5.93 \times 10^8 \text{ s} \cong 19 \text{ tahun}$$

Kedalaman degradasi,  $\Delta h$ , pada waktu  $t = 19$  tahun tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta h = \frac{q \cdot \Delta t}{1.13(1-p)\sqrt{Kt}} = \frac{(7.3 \times 10^{-5}) \cdot (5.93 \times 10^8)}{(1.13) \cdot (1-0.3) \cdot \sqrt{(0.511) \cdot (5.93 \times 10^8)}} = 3.11 \text{ m}$$

Dengan demikian  $z = 0.4\Delta h = 1.23$  m.

## 6. PROFIL DASAR SUNGAI

Untuk menggambarkan profil dasar sungai pada saat  $t = 19$  tahun, perlu dihitung elevasi dasar sungai di beberapa titik di sepanjang ruas sungai,  $z(x, t = 19 \text{ tahun})$ . Fasilitas spreadsheet MS Excel sangat membantu dalam hitungan ini, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Perlu diingat bahwa metode hitungan yang dipakai dalam penyelesaian soal hanya berlaku pada jarak  $x > 3R_h/S_e$ ; kurang daripada jarak tersebut, hasil hitungan hanya menunjukkan profil dasar sungai secara kasar. Pada Tabel 1, ditunjukkan pula jarak  $x$  yang dinyatakan dalam besaran tak berdimensi,  $x \cdot S_e/R_h$ . Tampak bahwa degradasi pada jarak  $6R_h/S_e$  ( $x \cdot S_e/R_h = 6$ ) adalah  $z/\Delta h \cong 0.4$ .

Penggambaran profil dasar sungai dapat dilakukan tanpa kesulitan dengan memakai fasilitas pembuatan chart yang ada dalam MS Excel. Gambar profil tsb disajikan pada Gambar 2. Profil dasar sungai pada waktu-waktu yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti pada Tabel 1. Pada Gambar 3 ditampilkan profil dasar sungai pada saat  $t = 3, 10, \text{ dan } 19$  tahun.

## 7. VARIASI DASAR SUNGAI TERHADAP WAKTU

Variasi elevasi dasar sungai terhadap waktu di titik  $x = L = 6R_h/S_e = 20.73$  km dihitung dengan persamaan berikut.

$$z(x = 20.73 \times 10^3, t) = \Delta h \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Kt}}\right) = \Delta h \operatorname{erfc}\left(\frac{20730}{2\sqrt{0.511 \cdot t}}\right)$$

Dalam persamaan tersebut,  $\Delta h$  merupakan fungsi waktu,  $\Delta h(t)$ , dan dihitung dengan persamaan:

$$\Delta h(t) = \frac{q_s \cdot \Delta t}{1.13(1-p)\sqrt{K \Delta t}}$$

Dengan berbagai nilai waktu,  $\Delta t$ , maka variasi dasar sungai dapat dihitung. Tabel 2 menyajikan hitungan tersebut. Hitungan dapat dilakukan dengan spreadsheet dalam MS Excel. Grafik variasi dasar sungai terhadap waktu disajikan pada Gambar 4.

Perlu diingat bahwa metode hitungan tersebut berlaku hanya pada waktu:

$$t > \frac{40 R_h^2}{30 S_e q_s} = \frac{40}{30} \frac{1.17^2}{3.4 \times 10^{-4}} \frac{1}{7.3 \times 10^{-5}} = 7.4 \times 10^7 \text{ s} = 2.35 \text{ tahun}$$

#### 8. PROFIL DASAR SUNGAI AKHIR

Dengan pembatasan panjang ruas sungai yang dapat tererosi, 90 km, maka profil dasar sungai akhir dapat diperkirakan. Dalam hal ini, dianggap bahwa pada jarak  $x = 90$  km tersebut, erosi sangat kecil dengan nilai  $z = 0.01\Delta h$ . Pada keadaan ini, didapat persamaan:

$$\frac{z(x = 90 \times 10^3, t)}{\Delta h} = 0.01 = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Kt}}\right) = \operatorname{erfc}(Y)$$

Untuk mencari nilai  $Y$ , dipakai fasilitas **erfc(...)** dan **Goal Seek** dalam MS Excel. Hasil operasi tersebut memberikan hasil:  $Y = 1.82$ , sehingga:

$$Y = 1.82 = \frac{x}{2\sqrt{Kt}} \quad \Rightarrow \quad t = \frac{x^2}{4Y^2 K} \cong \frac{x^2}{13.25K}$$

Dengan nilai  $K = 0.511 \text{ m}^2/\text{s}$ , maka didapat:

$$t = \frac{(90 \times 10^3)^2}{13.25 \times 0.511} = 1.2 \times 10^9 \text{ s} = 39 \text{ tahun}$$

Untuk menggambarkan profil dasar sungai pada saat  $t = 39$  tahun, dilakukan langkah hitungan seperti pada hitungan seksi sebelum ini. Langkah hitungan dan profil dasar sungai yang dihasilkan dari hitungan ini disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 5. Perlu diingat bahwa hitungan ini berlaku dengan syarat  $x > 3R_h/S_e$ .

Kedalaman degradasi dasar sungai selama waktu  $t = 39$  tahun dan akibat debit sedimen  $q_s = 7.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  adalah:

$$\Delta h = \frac{q_s \cdot \Delta t}{1.13(1-p)\sqrt{Kt}} = \frac{(7.3 \times 10^{-5})(1.2 \times 10^9)}{(1.13)(1-0.3)\sqrt{(0.511)(1.2 \times 10^9)}} = 4.49\text{m}$$

Gambar dan tabel (sebagian akan ditunjukkan di kelas, sebagian dibuat sendiri)

- 1) Gambar 1 Sketsa permasalahan
- 2) Gambar 2 Profil dasar sungai pada waktu 19 tahun
- 3) Gambar 3 Grafik variasi dasar sungai terhadap waktu di stasiun  $L = 20.73$  km
- 4) Gambar 4 Profil dasar sungai pada waktu 39 tahun dengan panjang degradasi 90 km
- 5) Tabel 1 Hitungan profil dasar sungai pada waktu 19 tahun
- 6) Tabel 2 Hitungan variasi dasar sungai di stasiun  $L = 20.73$  km
- 7) Tabel 3 Hitungan profil dasar sungai pada waktu 39 tahun dengan panjang degradasi 90 km

**Tabel 1: Hitungan degradasi dasar sungai dengan model parabolik**

**Diketahui:**

Lebar sungai,  $B = 5$  m  
 Debit,  $Q = 15$  m<sup>3</sup>/s  
 Kedalaman aliran,  $h = 2.2$  m

Diameter sedimen,  $d_{50} = 1$  mm  
 Rapat massa relatif,  $s_s = 2.6$   
 Porositas,  $p = 0.3$

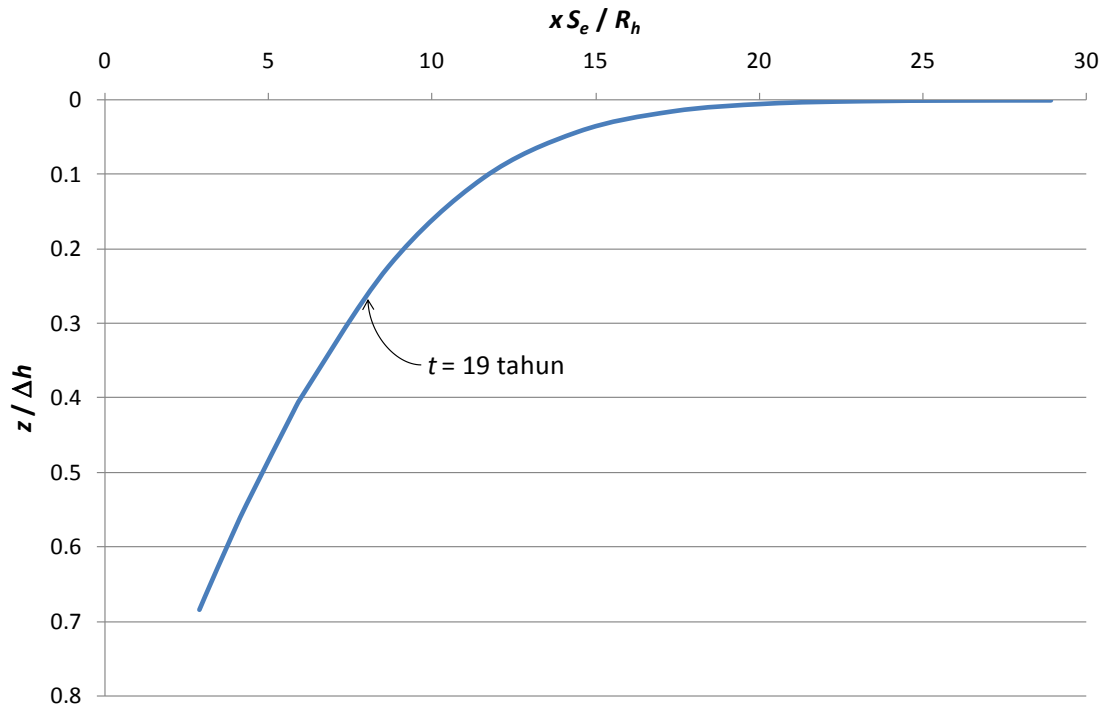
**Ditetapkan:**

Percepatan gravitasi,  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>  
 Konstanta,  $b_s = 5$

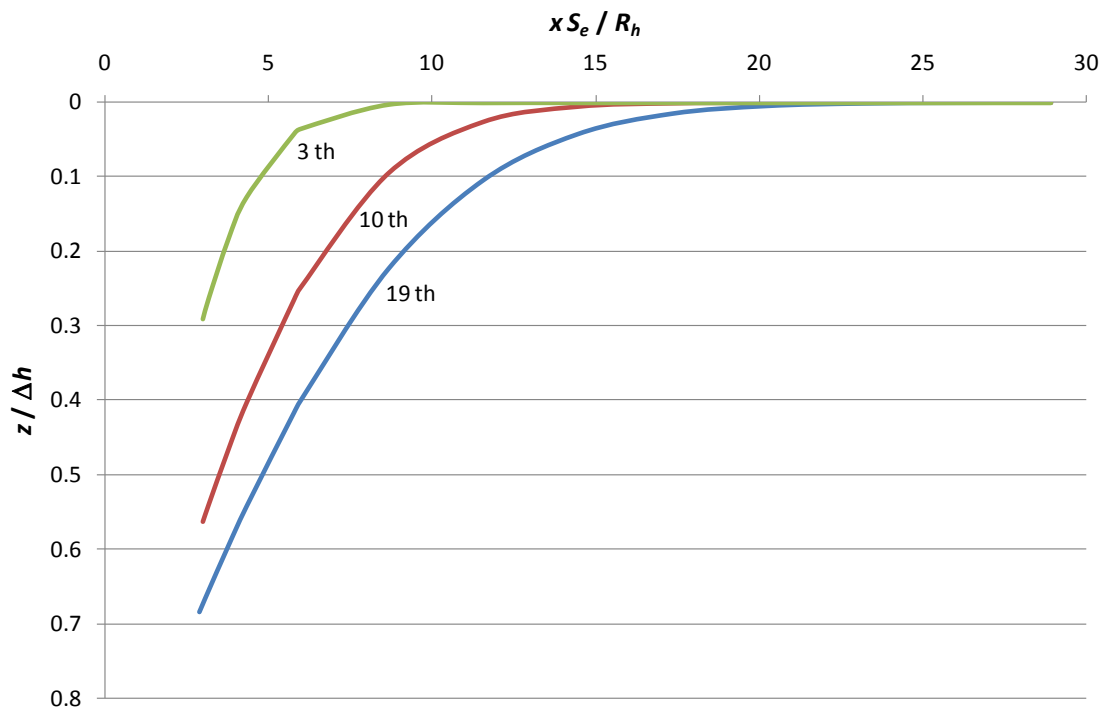
**Dihitung:**

Radius hidraulik,  $R_h = 1.17$  m  
 Koefisien kekasaran,  $K_s = 66.72$  m<sup>1/3</sup>/s  
 Kecepatan aliran,  $U = 1.36$  m/s  
 Kemiringan garis energi,  $S_e = 3.39E-04$   
 Debit sedimen,  $q_s = 7.27E-05$  m<sup>2</sup>/s  
 Koefisien difusi,  $K = 0.511$  m<sup>2</sup>/s  
 Angka Froude,  $Fr = 0.29$   
 Kedalaman degradasi,  $z/\Delta h = 0.40$  Goal Seek  
 $Y = 0.60$   
 Jarak lokasi,  $L = 20,730$  m  
 Waktu,  $t = 593,663,293$  s  
 = 19 tahun  
 Penurunan kedalaman,  $\Delta h = 3.13$  m

$x$ [m]	$x.S_e/R_h$ [-]	$Y = x / \{2 (K t)^{1/2}\}$ [-]	$z / \Delta h = \text{erfc}(U)$ [-]	$z$ [m]
10,000	< 3 2.89	0.28709	0.68474	2.145
10,365	3.00	0.29757	0.67388	2.111
11,000	Goal Seek 3.18	0.31579	0.65516	2.052
13,000	3.76	0.37321	0.59764	1.872
15,000	4.34	0.43063	0.54252	1.699
20,000	5.79	0.57417	0.41679	1.305
20,730	6.00	0.59513	0.39999	1.253
30,000	Goal Seek 8.68	0.86126	0.22322	0.699
40,000	11.58	1.14834	0.10438	0.327
50,000	14.47	1.43543	0.04236	0.133
60,000	17.37	1.72251	0.01485	0.047
70,000	20.26	2.00960	0.00448	0.014
80,000	23.15	2.29668	0.00116	0.004
90,000	26.05	2.58377	0.00026	0.001
100,000	28.94	2.87085	0.00005	0.000



Gambar 2: Profil dasar sungai setelah 19 tahun



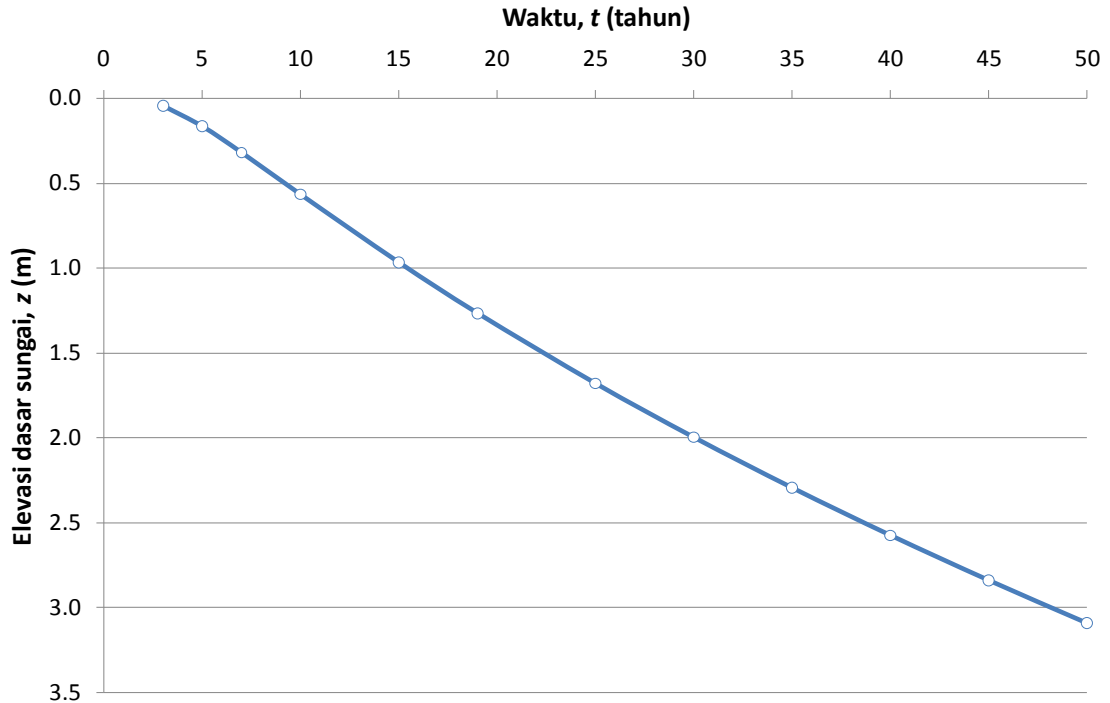
Gambar 3: Profil dasar sungai pada waktu 3, 10, dan 19 tahun



**Tabel 2: Hitungan evolusi degradasi dasar sungai di stasiun  $x = L = 20.73$  km**

Debit sedimen,  $q_s = 7.27E-05 \text{ m}^2/\text{s}$   
 Koefisien difusi,  $K = 0.511 \text{ m}^2/\text{s}$   
 Porositas,  $p = 0.3$   
 Lokasi stasiun pengamatan,  $L = 20,730 \text{ m}$

$t$ [tahun]	$t$ [s]	$Y = L / \{2 (K t)^{1/2}\}$ [-]	$z / \Delta h = \text{erfc}(Y)$ [-]	$\Delta h = q_s \Delta t / \{1.13 (1-p) (K t)^{1/2}\}$ [-]	$z = \Delta h \text{erfc}(Y)$ [m]
3	94,608,000	1.490804	0.035004	1.250370	0.0438
5	157,680,000	1.154771	0.102449	1.614220	0.1654
7	220,752,000	0.975960	0.167520	1.909971	0.3200
10	315,360,000	0.816547	0.248184	2.282853	0.5666
15	473,040,000	0.666708	0.345749	2.795912	0.9667
19	599,184,000	0.592385	0.402166	3.146695	1.2655
25	788,400,000	0.516429	0.465181	3.609507	1.6791
30	946,080,000	0.471433	0.504959	3.954017	1.9966
35	1,103,760,000	0.436463	0.537069	4.270826	2.2937
40	1,261,440,000	0.408273	0.563679	4.565705	2.5736
45	1,419,120,000	0.384924	0.586191	4.842661	2.8387
50	1,576,800,000	0.365171	0.605554	5.104613	3.0911

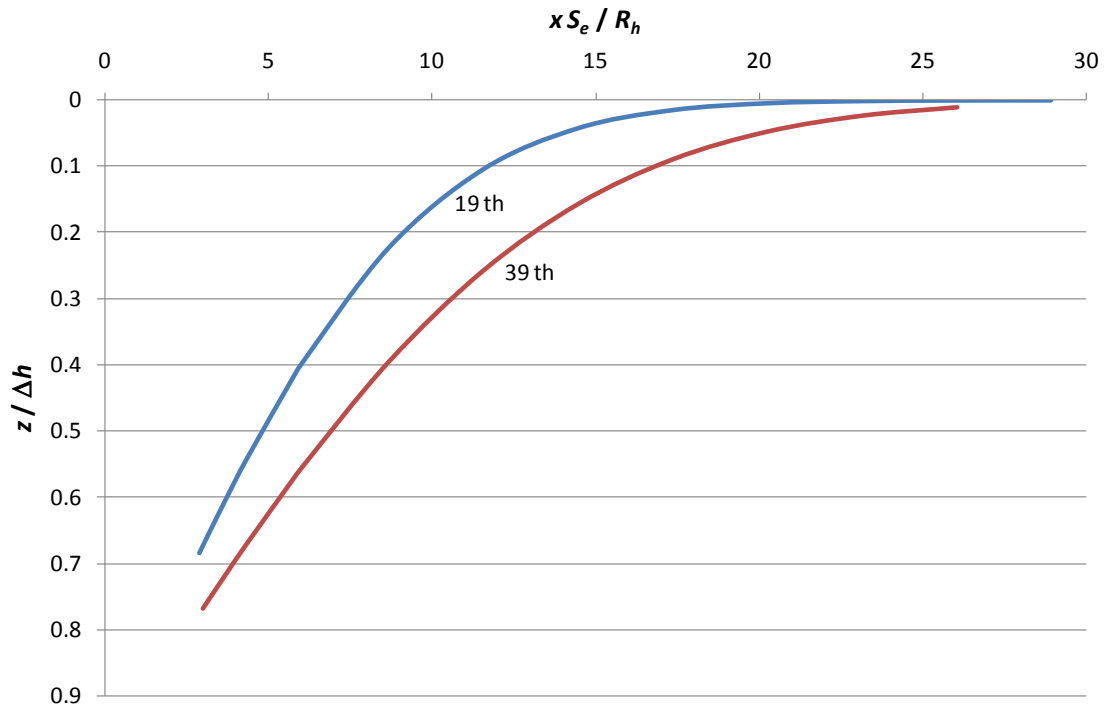


**Gambar 4: Evolusi dasar sungai di stasiun  $x = L = 20.73$  km**

**Tabel 3: Hitungan degradasi dasar sungai pada waktu 39 tahun dengan panjang degradasi 90 km**

Kedalaman degradasi, $z/\Delta h =$	0.01	Goal Seek
$Y =$	1.80	
Jarak lokasi, $L =$	90,000 m	
Waktu, $t =$	1,221,997,485 s	
$=$	39 tahun	
Penurunan kedalaman, $\Delta h =$	4.49 m	

$x$ [m]	$x.S_e/R_h$ [-]	$Y = x / \{2 (K t)^{1/2}\}$ [-]	$z / \Delta h = \text{erfc}(Y)$ [-]	$z$ [m]
10,000	2.89	0.20010	0.77719	3.493
10,365	3.00	0.20740	0.76928	3.457
11,000	3.18	0.22011	0.75559	3.395
13,000	3.76	0.26013	0.71296	3.204
15,000	4.34	0.30015	0.67122	3.016
20,000	5.79	0.40020	0.57142	2.568
20,730	6.00	0.41481	0.55745	2.505
30,000	8.68	0.60030	0.39591	1.779
40,000	11.58	0.80040	0.25766	1.158
50,000	14.47	1.00050	0.15709	0.706
60,000	17.37	1.20060	0.08953	0.402
70,000	20.26	1.40070	0.04760	0.214
80,000	23.15	1.60079	0.02358	0.106
90,000	26.05	1.80089	0.01087	0.049



Gambar 5: Profil dasar sungai akhir dengan dua jenis syarat batas hilir

---

## TRANSPOR SEDIMEN: AGRADASI DASAR SUNGAI

### SOAL B

Suatu sungai mengalirkan debit  $q = 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ . Kemiringan dasar sungai adalah  $S_o = 0.0005$ . Material dasar sungai terdiri dari butir seragam berdiameter  $d_{50} = 0.32 \text{ mm}$ , dengan rapat massa relatif  $s_s = 2.6$  dan porositas  $p = 0.4$ . Di sungai tersebut dijumpai transpor sedimen dalam jumlah yang tidak besar. Di suatu seksi/tampang, terjadi penambahan sedimen sejumlah  $\Delta q_s = 0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$  selama kurun  $\Delta t = 50 \text{ jam}$ . Perkirakanlah agradasi yang akan terjadi.

### PENYELESAIAN

#### 1. DESKRIPSI MATEMATIS

Seperti degradasi (Soal A), perkiraan tebal agradasi dasar sungai dapat dihitung dengan model parabolik apabila aliran dianggap permanen dan seragam (semu); dengan demikian, berlaku persamaan:

$$\frac{\partial z}{\partial t} - K \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

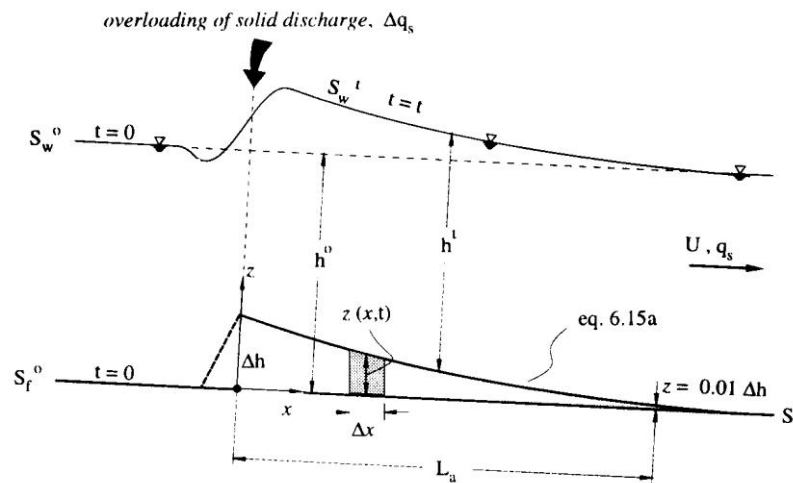
Untuk permasalahan agradasi seperti soal di atas, sumbu  $x$  mengikuti dasar sungai awal dan bernilai positif ke arah hilir, sedang sumbu  $z$  menunjukkan variasi dasar sungai dan bernilai positif ke arah atas (Gambar 6). Perlu diingat bahwa model parabolik berlaku untuk Angka Froude  $Fr < 0.6$  dan jarak  $x > 3R_h/S_e$ .

Syarat awal dan syarat batas pada Pers. (1) di atas adalah:

$$z(x,0) = 0 ; \lim_{x \rightarrow \infty} z(x,t) = 0 ; z(0,t) = \Delta h(t) \quad (2)$$

Penyelesaian Pers. (1) dengan syarat awal dan syarat batas menurut Pers. (2) adalah:

$$z(x,t) = \Delta h(t) \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{Kt}} \right) \quad (3)$$



Gambar 6: Agradasi dasar sungai akibat penambahan debit sedimen

## 2. HITUNGAN ALIRAN

Dengan anggapan aliran seragam, maka Persamaan Manning-Strickler berikut dapat dipakai untuk menghitung kemiringan garis energi.

$$U = q/h = K_s h^{2/3} S_e^{1/2} \quad (4)$$

Dalam persamaan tersebut:

$$K_s = 21.1/d_{50}^{1/6} = 80.7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$S_e = S_o = 0.0005$$

$$q = 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$$

Dengan demikian, kedalaman aliran adalah  $h = 0.895 \text{ m}$ , kecepatan adalah  $U = 1.676 \text{ m/s}$ , dan Angka Froude  $Fr = 0.565 (< 0.6)$ , memenuhi syarat berlaku model parabolik).

## 3. HITUNGAN TRANSPOR SEDIMEN

Debit sedimen,  $q_s = C_s U h$ , dihitung dengan **Persamaan Graf**:

$$\frac{C_s U R_h}{\sqrt{[(\rho_s - \rho)/\rho] g d_{50}^3}} = 10.39 \left\{ \frac{[(\rho_s - \rho)/\rho] d_{50}}{S_o R_h} \right\}^{-2.52} \quad (5)$$

Dalam hal ini:

$$(\rho_s - \rho)/\rho = s_s - 1 = 1.6$$

$$d_{50} = 0.32 \text{ mm}$$

$$R_h \cong h = 0.895 \text{ m}$$

Dengan demikian, debit sedimen adalah:

$$q_s = C_s U h = 1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Debit sedimen dapat pula dihitung dengan persamaan-persamaan empirik yang lain, misal:

### **Persamaan Schoklitch**

$$q_{sb} = \frac{2.5}{S_s} S_e^{3/2} (q - q_{cr})$$

$$q_{cr} = 0.26 (s_s - 1)^{5/3} d_{40}^{3/2} S_e^{-7/6}$$

Dalam persamaan di atas:

$$d_{40} = d_{50} = 0.32 \text{ mm (butir seragam)}$$

sehingga:

$$q_{sb} = 1.588 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

### **Persamaan Meyer-Peter**

$$q_{sb} = \frac{1}{g(\rho_s - \rho)} \left( \frac{g \rho R_{hb} \xi_M S_e - 0.047 g (\rho_s - \rho) d_{50}}{0.25 \rho^{1/3}} \right)^{3/2}$$

Dalam persamaan di atas:

$$\xi_M = 1$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$R_{hb} = R_h = h = 0.985 \text{ m}$$

sehingga:

$$q_{sb} = 1.365 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

### **Persamaan Einstein**

$$q_{sb} = \frac{\sqrt{(s_s - 1) g d_{50}^3}}{0.465} \exp \left( \frac{-0.391 (s_s - 1) d_{50}}{R'_{hb} S_e} \right)$$

Dalam persamaan tersebut:

$$R'_{hb} = R_h = h = 0.985 \text{ m}$$

sehingga:

$$q_{sb} = 3.122 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

## **4. KOEFISIEN DIFUSI**

$$K_0 \equiv K = \frac{1}{3} b_s q_s \frac{1}{1 - p} \frac{1}{S_e^0} \tag{6}$$

Dalam hal ini:

$$S_e^0 = S_o^0 = 0.0005$$

$$(1 - p) = 0.6$$

$$b_s = 2 \times 2.52 \cong 5 \quad (\beta = 2.52)$$

Dengan demikian koefisien difusi adalah  $K = 0.933 \text{ m}^2/\text{s}$ .

5. TEBAL AGRADASI AKIBAT PANAMBAHAN TRANSPOR SEDIMEN  $\Delta Q_s = 0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$  SELAMA RENTANG WAKTU  $\Delta T = 50 \text{ JAM}$

Volume penambahan sedimen adalah  $\Delta q_s \cdot \Delta t$  dan tebal agradasi pada saat  $t = \Delta t = 50 \text{ jam}$  adalah:

$$\Delta h(t = 50 \text{ jam}) = \frac{\Delta q_s \cdot \Delta t}{1.13(1-p)\sqrt{Kt}} = \frac{(0.0001) \cdot (50 \times 3600)}{(1.13) \cdot (1-0.4) \cdot \sqrt{(0.933) \cdot (50 \times 3600)}} = 0.065 \text{ m}$$

Agradasi tersebut tersebar di sungai sepanjang lebih kurang  $L_a$ , yaitu jarak dari titik awal ( $x = 0$ ) sampai dengan tempat yang memiliki tebal agradasi  $0.01\Delta h$ . Nilai  $L_a$  dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\frac{z(x=L_a, t=\Delta t)}{\Delta h} = \text{erfc}\left(\frac{L_a}{2\sqrt{Kt}}\right) = 0.01 \quad \Rightarrow \quad \text{erfc}(Y) = 0.01$$

Dengan memakai fasilitas perintah “**ERFC(...)**” dan “**Goal Seek**” yang ada didalam MS Excel, diperoleh  $Y = 1.846$ . Panjang agradasi, dengan demikian, adalah:

$$Y = 1.846 = \left(\frac{L_a}{2\sqrt{Kt}}\right) \quad \Rightarrow \quad L_a = 1.846 \cdot 2 \cdot \sqrt{0.933 \cdot 50 \cdot 3600} = 1513 \text{ m}$$

6. PROFIL DASAR SUNGAI

Untuk menggambarkan profil dasar sungai pada saat  $t = \Delta t = 50 \text{ jam}$ , perlu dihitung elevasi dasar sungai di beberapa titik di sepanjang ruas sungai,  $z(x, t = 50 \text{ jam})$ . Dalam hal ini  $x < L_a = 1513 \text{ m}$ . Sekilas tampak bahwa panjang ruas sungai tersebut pendek. Di sisi lain, syarat berlaku model parabolik adalah jarak yang panjang,  $x > 3R_h/S_e$ . Dengan nilai  $R_h = h = 0.985 \text{ m}$  dan  $S_e = S_o = 0.0005$ , maka model parabolik berlaku untuk jarak  $x > 5371 \text{ m}$ . Dengan demikian, model parabolik sebenarnya tidak dapat dipakai untuk menghitung profil dasar sungai pada saat  $t = 50 \text{ jam}$ . Oleh karena itu, hasil hitungan profil dasar sungai dengan model parabolik di bawah ini (lihat Tabel 4 dan Gambar 7) hanya merupakan indikasi awal profil agradasi.

Pada Tabel 5 dan Gambar 8, disajikan tabel hitungan dan gambar profil dasar sungai pada saat  $t = 1 \text{ bulan}$ . Perlu dicatat, bahwa hasil hitungan untuk  $x < 5500 \text{ m}$  harus dibaca dengan hati-hati mengingat syarat berlaku model parabolik tidak dipenuhi. Namun demikian, profil dasar sungai tersebut tetaplah dapat dipakai sebagai indikasi awal. Hasil yang lebih tepat, tentu saja, dapat diperoleh dengan memakai metode yang lebih baik, yaitu penyelesaian numerik persamaan Saint-Venant–Exner.

Gambar dan tabel (sebagian akan ditunjukkan di kelas, sebagian dibuat sendiri)

- 1) Gambar profil dasar sungai pada waktu 50 jam
- 2) Gambar profil dasar sungai pada waktu 1 bulan
- 3) Tabel hitungan profil dasar sungai pada waktu 50 jam
- 4) Tabel hitungan profil dasar sungai pada waktu 1 bulan

**Tabel 4: Hitungan agradasi dasar sungai dengan model parabolik**

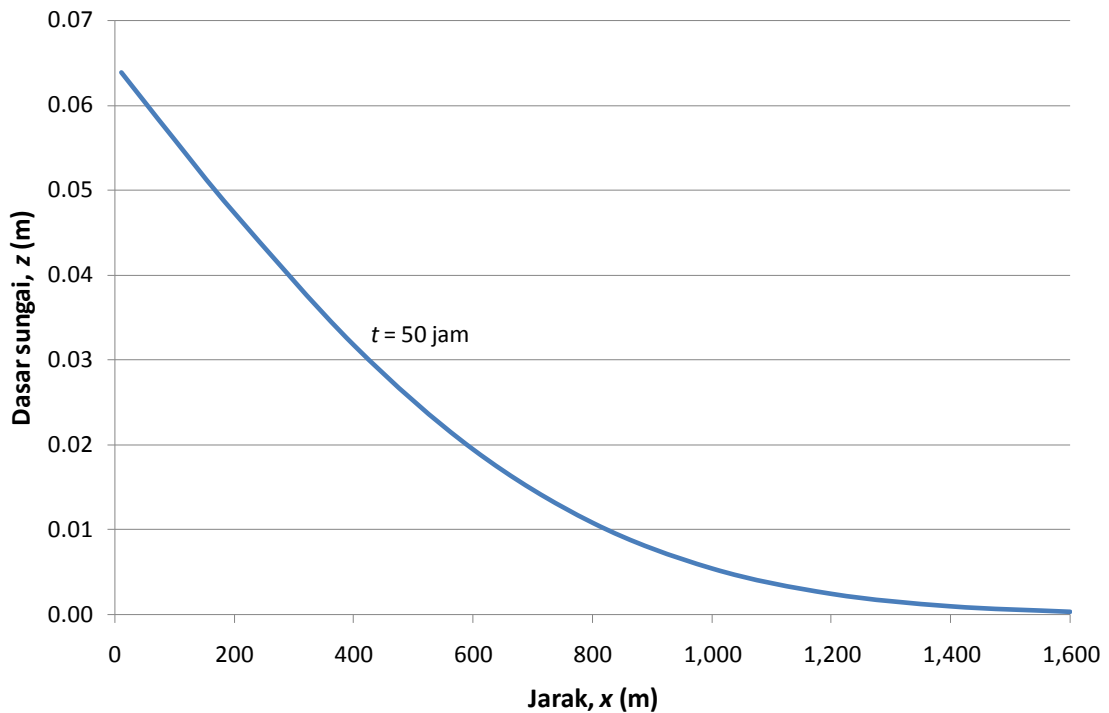
<b>Diketahui:</b>	
Kemiringan dasar sungai, $S_o$ =	0.0005
Debit per satuan lebar, $q$ =	1.50 m <sup>2</sup> /s
Penambahan debit sedimen, $\Delta q_s$ =	0.0001 m <sup>2</sup> /s
selama waktu, $\Delta t$ =	50 jam
=	180,000 s
Diameter sedimen, $d_{50}$ =	0.32 mm
=	0.00032 m
Rapat massa relatif, $s_s$ =	2.6
Porositas, $p$ =	0.4
<b>Ditetapkan:</b>	
Percepatan gravitasi, $g$ =	9.81 m/s <sup>2</sup>
Viskositas air, $\rho$ =	1,000 kg/m <sup>3</sup>
Konstanta, $b_s$ =	5
<b>Hitungan aliran:</b>	
Kemiringan garis energi, $S_e$ =	0.0005
Koefisien kekasaran, $K_s$ =	80.678 m <sup>1/3</sup> /s
Radius hidraulik, $R_h$ =	0.895 m
Kedalaman aliran, $h$ =	0.895 m
Kecepatan aliran, $U$ =	1.676 m/s
Angka Froude, $Fr$ =	0.565
<b>Hitungan transpor sedimen:</b>	
Graf, $q_{sGraf}$ =	1.679E-04 m <sup>2</sup> /s
Schoklitch, $q_{sScho}$ =	1.588E-05 m <sup>2</sup> /s
Meyer-Peter, $q_{sMeyPet}$ =	1.365E-04 m <sup>2</sup> /s
Einstein, $q_{sEinstein}$ =	3.122E-05 m <sup>2</sup> /s
Debit sedimen, $q_s$ =	1.679E-04 m <sup>2</sup> /s
<b>Hitungan agradasi:</b>	
Waktu yang ditinjau, $t$ =	180,000 s
Koefisien difusi, $K$ =	0.933 m <sup>2</sup> /s
Kenaikan dasar sungai, $\Delta h$ =	0.065 m
Kedalaman agradasi, $z / \Delta h$ =	<b>0.01</b>
$Y$ =	1.846
Panjang agradasi, $L_a$ =	1,513 m
=	1.513 km
Jarak min. model parabolik, $L_{min}$ =	5,371 m > 1512.66 m

**GOAL SEEK**

(Dengan kata lain, model parabolik belum berlaku untuk waktu 50 jam yang ditinjau karena panjang ruas sungai yang dipengaruhi oleh agradasi,  $L_a = 1513$  m, masih lebih kecil daripada jarak minimum berlaku model parabolik. Hasil hitungan pada tabel di bawah ini, dengan demikian, hanya merupakan indikasi awal profil agradasi)

$x$ [m]	$x.S_e/R_h$ [-]	$Y = x / \{2 (K t)^{1/2}\}$ [-]	$z / \Delta h = \text{erfc}(Y)$ [-]	$z$ [m]
10	0.006	0.012	0.986	0.064
50	0.028	0.061	0.931	0.060
100	0.056	0.122	0.863	0.056
200	0.112	0.244	0.730	0.047
400	0.223	0.488	0.490	0.032
600	0.335	0.732	0.301	0.019
800	0.447	0.976	0.167	0.011
1000	0.559	1.220	0.084	0.005
1200	0.670	1.464	0.038	0.002
1400	0.782	1.708	0.016	0.001
1600	0.894	1.952	0.006	0.000





Gambar 7: Profil dasar sungai setelah agradasi berlangsung 50 jam

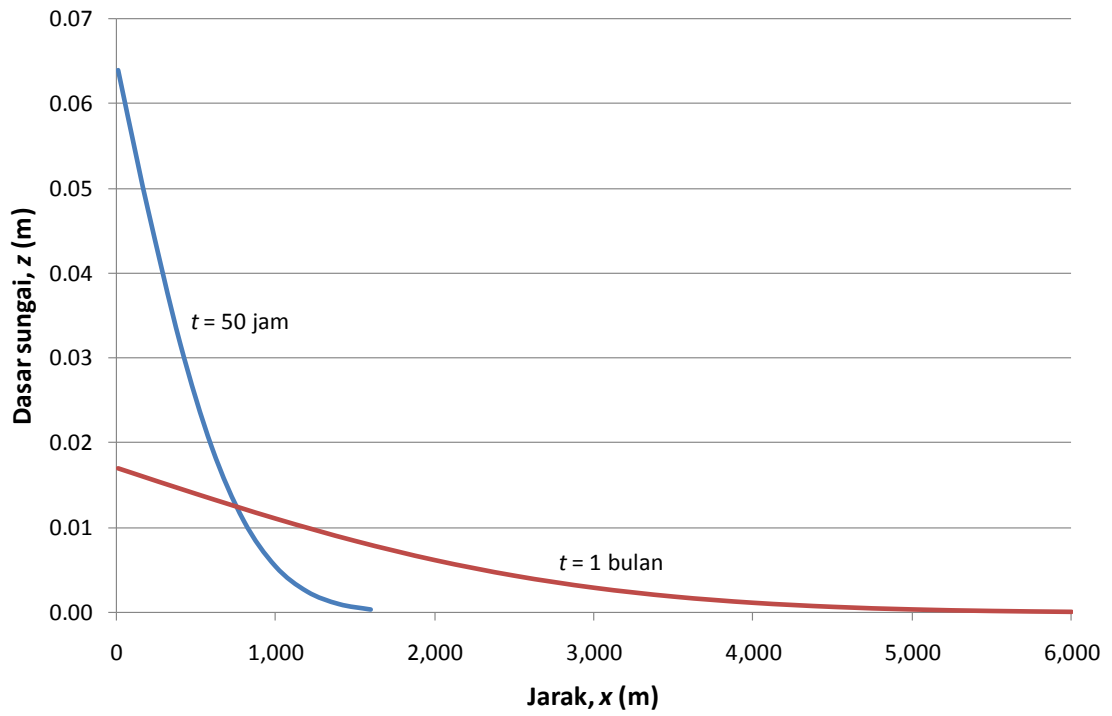
Tabel 5: Hitungan agradasi dasar sungai setelah 1 bulan

**Hitungan agradasi:**

Waktu yang ditinjau, $t =$	1 bulan
$=$	2,592,000 s
Kenaikan dasar sungai, $\Delta h =$	0.017 m
Kedalaman agradasi, $z / \Delta h =$	0.01
$Y =$	1.846
Panjang agradasi, $L_a =$	5,740 m
$=$	5.740 km

Goal Seek

$x$ [m]	$x.S_e/R_h$ [-]	$Y = x / \{2 (K t)^{1/2}\}$ [-]	$z / \Delta h = \text{erfc}(Y)$ [-]	$z$ [m]
10	0.006	0.003	0.996	0.017
100	0.056	0.032	0.964	0.016
500	0.279	0.161	0.820	0.014
1000	0.559	0.322	0.649	0.011
1500	0.838	0.482	0.495	0.008
2000	1.117	0.643	0.363	0.006
2500	1.396	0.804	0.256	0.004
3000	1.676	0.965	0.173	0.003
3500	1.955	1.125	0.111	0.002
4000	2.234	1.286	0.069	0.001
4500	2.513	1.447	0.041	0.001
5000	2.793	1.608	0.023	0.0004
5500	3.072	1.769	0.012	0.0002
6000	3.351	1.929	0.006	0.0001



**Gambar 8: Profil dasar sungai setelah agradasi berlangsung 50 jam dan 1 bulan**

-o0o-