

STUDI NUMERIK PERUBAHAN ELEVASI DAN TIPE GRADASI MATERIAL DASAR SUNGAI

Jazaul Ikhsan¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183

*Email: jazaul.ikhsan@umy.ac.id

Abstrak

Angkutan sedimen merupakan suatu peristiwa yang sangat fundamental dalam rekayasa sungai. Bentuk, ukuran dan berat partikel menentukan jumlah angkutan sedimen. Perhitungan angkutan sedimen sungai telah banyak dikembangkan model numerik oleh peneliti yang disebut *River Bed Variation Model*. *River bed variation model* dapat digunakan untuk memperkirakan angkutan sedimen, memperkirakan perubahan dasar sungai dan perubahan gradasi. Kajian selama ini, para peneliti menganggap bahwa nilai porositas selalu konstan. Sulaiman, 2008 telah mengembangkan *river bed variation model* yang mempertimbangkan porositas sedimen dasar sungai. Untuk mengetahui unjuk kerja model tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan *running model* dengan mengambil sampel kasus skala laboratorium. Kasus sampel yang diambil adalah untuk memodelkan kondisi di daerah vulkanik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat unjuk kerja model numerik dalam menggambarkan perubahan elevasi dasar sungai dan perubahan material dasar sungai pada daerah vulkanik. *Running model* dilakukan dengan tiga kasus, yaitu tanpa sedimen suplai, s dengan sedimen suplai tipe log normal dan kasus dengan sedimen suplai tipe seragam. Berdasarkan hasil simulasi, model numerik dapat menggambarkan perubahan elevasi dasar sungai dan perubahan gradasi material dasar sungai. Meskipun demikian hasil simulasi ini masih perlu dilakukan verifikasi dengan percobaan di laboratorium atau dengan hasil pengukuran di lapangan.

Kata kunci: angkutan sedimen, elevasi dasar sungai, model numerik, tipe gradasi

1. PENDAHULUAN

Aliran sungai berasal dari daerah gunung api biasanya membawa material vulkanik dan kadang-kadang dapat terendap di sembarang tempat sepanjang alur sungai tergantung kecepatan aliran dan kemiringan sungai yang curam [Soewarno, 1991]. Pasca erupsi 2010, hampir semua sungai yang berhulu di Gunung Merapi menyimpan endapan lahar dingin yang sangat banyak.

Endapan hasil erupsi Gunung Merapi 2010 yang terbawa banjir lahar akan merubah kondisi morfologi dan porositas sedimen pada dasar sungai, serta kapasitas angkutan sedimen dalam kondisi normal yang terangkut setelah banjir lahar dingin. Perubahan yang terjadi akan membawa konsekuensi terhadap kinerja infrastruktur sungai yang ada, seperti bangunan intake irigasi, jembatan dan talud. Di samping itu, dampak banjir lahar dingin, juga akan mempengaruhi terhadap kondisi lingkungan sungai. Oleh sebab itu perlu dilakukan kajian dan analisis untuk mengetahui perilaku dampak banjir lahar dingin terhadap porositas dan perubahan elevasi dasar sungai untuk pengelolaan sedimen, khususnya di daerah vulkanik Merapi. Bagaimana perilaku suplai sedimen yang disebabkan banjir lahar terhadap perubahan elevasi dasar sungai, grain size dan porositas sediment dasar sungai perlu dilakukan kajian.

Porositas Sedimen

Sedimen mempunyai peranan yang penting dalam DAS sebuah sungai, terutama untuk habitat berbagai spesies hewan air. Parameter utama sedimen yang berperan dalam ekosistem air adalah porositas [Mancini et. al., 2008]. Porositas tergantung dari distribusi ukuran butir material dasar dan tingkat pematatannya [Sulaiman, 2008]. Tingkat pematatan dianggap secara empiris dan porositas diasumsikan menjadi fungsi dari parameter karakteristik distribusi ukuran butir. Porositas dapat dihitung setelah grafik distribusi ukuran butir diperoleh, dan ditentukan jenis material dominannya. Hal ini penting agar dapat menentukan jenis distribusi ukuran butirnya.

Angkutan Sedimen dan River bed Variation Model

Angkutan sedimen atau transport sediment merupakan suatu peristiwa terangkutnya material oleh aliran sungai. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel material tersebut akan menentukan jumlah besaran angkutan sedimen. Terdapat banyak rumus-rumus untuk menghitung besarnya angkutan sedimen [Kironoto, 1997].

River bed variation model adalah metode simulasi numerik untuk perubahan dasar sungai. Para peneliti telah banyak mengembangkan metode ini, tetapi belum ada yang mempertimbangkan perubahan porosity. Kajian selama ini menganggap bahwa nilai porositas selalu konstan [Sulaiman, 2008]

2. METODOLOGI

2.1. Model Numerik

Model numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengembangan dari Sulaiman [2008], yang disebut dengan Riverbed Porosity Variation Model. Perbedaan mendasar model numerik ini dengan numerik yang telah dikembangkan oleh para ahli sebelumnya adalah penggunaan parameter porositas sedimen yang tidak konstan nilainya. Dalam model tersebut, nilai porositas sedimen dianggap dipengaruhi oleh tipe grain size sedimen dasar sungai. Adapun persamaan yang digunakan dalam model numerik tersebut adalah sebagai berikut:

(a) Persamaan kontinuitas air

$$\frac{\partial Bh}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Keterangan:

B = lebar sungai, h = kedalaman air, Q = debit, t = waktu dan x = jarak.

(b) Persamaan energi untuk air

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} g B h^2 + \frac{Q^2}{B h} \right) = g B h (i_b - i_f) \quad (2)$$

Keterangan:

g = percepatan gravitasi, i_b = kemiringan dasar dan i_f = kemiringan energi.

Kemiringan energy dapat dihitung dengan rumus:

$$i_f = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} \quad (3)$$

dengan n = koefisien Manning, v = rata-rata kecepatan air, dan R = jari-jari hidraulik.

(c) Persamaan kontinuitas sedimen

Dengan menggunakan persamaan kontinuitas sedimen (persamaan 4), perubahan dasar sungai dapat dihitung.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^{z_b} \{1 - \lambda(t, x, z)\} dz + \frac{1}{B} \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

dengan λ = porositas sedimen, z_b = elevasi dasar, z_0 = elevasi referensi, z = koordinat vertikal, dan Q_s = angkutan sedimen.

(d) Persamaan kontinuitas setiap persamaan

Persamaan kontinuitas setiap fraksi sedimen ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^{z_b} \{1 - \lambda(t, x, z)\} p_j(t, x, z) dz + \frac{1}{B} \frac{\partial Q_{sj}}{\partial x} = 0 \tag{5}$$

dengan j = banyaknya fraksi sedimen, p_j = rasio campuran setiap fraksi sedimen, dan Q_{sj} = angkutan sedimen setiap fraksi.

(e) Porositas dan distribusi sedimen

Di bed-porosity variation model, porositas di asumsikan sebagai fungsi dari karakteristik grain size.

$$\lambda = f_n(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots) \tag{6}$$

dengan $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots$ = parameter karakteristik setiap grain size.

Setelah diketahui tipe distribusi butiran/grain size maka porositas dapat dihitung dengan persamaan:

1. Distribusi Log normal

$$\sigma_L^2 = \sum_j^N (In(d_j) - In(d))^2 P_{sj} \tag{7}$$

Setelah σ_L (τL) diketahui maka porositas dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = 0,1561 \text{ jika } 1,5 < \sigma \tag{8}$$

$$\lambda = (0,0465\sigma) + 0,2258 \text{ jika } 1,25 < \sigma < 1,5 \tag{9}$$

$$\lambda = (-0,414\sigma) + 0,3445 \text{ jika } 1 < \sigma < 1,25 \tag{10}$$

$$\lambda = (-0,1058\sigma) + 0,3088 \text{ jika } 0,75 < \sigma < 1,0 \tag{11}$$

$$\lambda = (-0,1871\sigma) + 0,3698 \text{ jika } 0,5 < \sigma < 0,75 \tag{12}$$

Dengan :

σ_L = standar deviasi, d = diameter butir, j = kelas ukuran butir, P_{sj} = roporsi kelas dari kelas j dan λ = porositas.

Tipe distribusi ukuran butir log normal adalah yang sering terjadi pada kondisi sungai yang masih alamiah. Dan material dasar sungai umumnya berimbang dari ukuran kasar hingga ukuran halus.

2. Distribusi Talbot

$$n_T(x\%) = \frac{In(f(d_{x\%}))}{In\left(\frac{\log d_{x\%} - \log d_{\min}}{\log d_{\max} - \log d_{\min}}\right)} \tag{13}$$

$$n_T = \frac{n_T(16\%) + n_T(25\%) + (50\%) + n_T(75\%) + n_T(85\%)}{5} \tag{14}$$

$$100 < d_{\max}/d_{\min} = \lambda = 0,0125 n_T + 0,3 \tag{15}$$

$$100 \leq d_{\max}/d_{\min} = \lambda = 0,0125 n_T + 0,3 \tag{16}$$

$$d_{\max}/d_{\min} \geq 1000 = \lambda = 0,0125 n_T + 0,15 \tag{17}$$

Keterangan:

$f(d_{x\%})$ = persen komulatif butiran halus.

n_T = angka Talbot.

Tipe distribusi M Talbot sering terjadi dimana material dasar sungai umumnya didominasi oleh material halus.

2.2. Kasus Model

Model numerik yang digunakan dalam penelitian ini sudah mempertimbangkan bahwa besarnya porositas sedimen material dasar sungai tidak konstan, yaitu dengan mempertimbangkan tipe grain size. Pada umumnya, model numerik yang ada mengasumsikan nilai porosity adalah konstan sebesar 0,4. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan mengambil model sungai/saluran dengan penampang melintang berbentuk segiempat dengan lebar 20 cm dan panjang 7 m. Selanjutnya dilakukan pengecekan pada titik dengan $X = 1$ m, $X = 3,5$ m dan $X = 6$ m dari hulu, untuk melihat perubahan gradasi material dasar sungai dan perubahan elevasi dasar sungai dari waktu ke waktu.

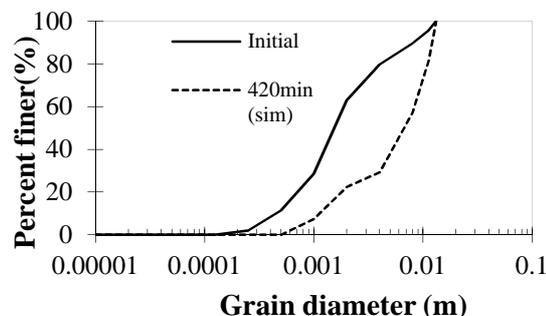
Kasus model yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 kasus, yaitu:

- Kasus tanpa sedimen suplai. Kasus ini menggambarkan kondisi sungai saat tidak ada suplai sedimen dari daerah hulu, yang disebabkan tidak adanya aktivitas gunung berapi yang menghasilkan sedimen.
- Kasus dengan sedimen suplai tipe log normal. Kasus ini menggambarkan kondisi sungai saat ada suplai sedimen dari daerah hulu, yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi yang menghasilkan sedimen. Sedimen suplai pada kasus ini dianggap masih natural, sehingga tipe gradasinya mengikuti tipe log normal.
- Kasus dengan sedimen suplai tipe seragam. Kasus ini menggambarkan kondisi sungai saat ada suplai sedimen dari daerah hulu, yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi yang menghasilkan sedimen. Sedimen suplai pada kasus ini dianggap sudah tidak natural karena kegiatan/aktivitas manusia seperti penambangan pasir, sehingga tipe gradasinya mengikuti tipe seragam.

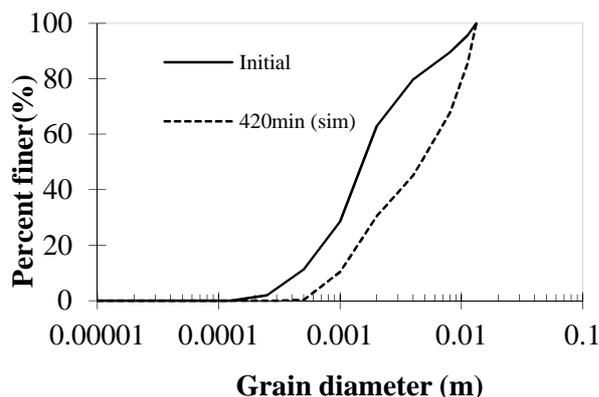
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil dan Pembahasan

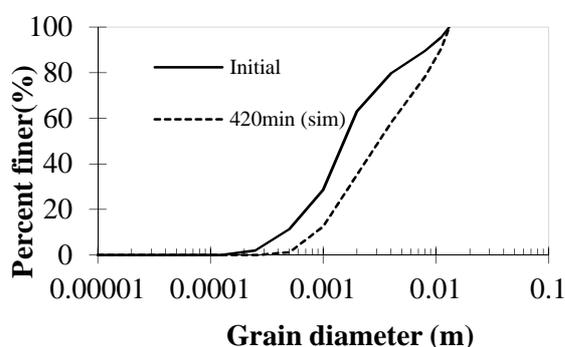
Hasil simulasi perubahan material dasar sungai pada titik $X = 1$ m, $X = 3,5$ m dan $X = 6$ m pada kasus 1 ditunjukkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 3.



Gambar 1. Perubahan gradasi material dasar sungai di $X = 1$ m pada simulasi kasus 1

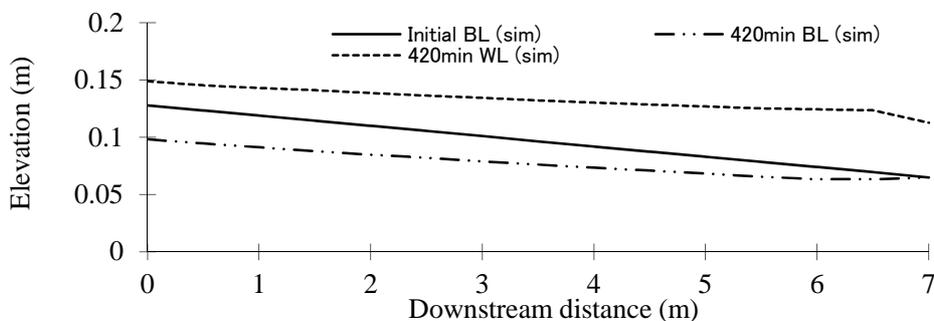


Gambar 2. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 3,5 m pada simulasi kasus 1



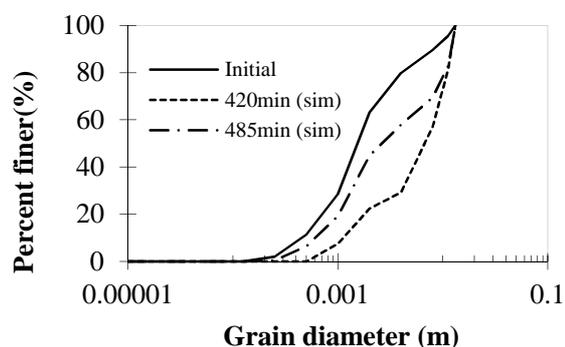
Gambar 3. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 6 m pada simulasi kasus 1

Dari Gambar 1 sampai dengan Gambar 3 menunjukkan bahwa ketika tidak ada material suplai dari hulu, maka akan terjadi perubahan tipe grain size material dasar sungai, yaitu dari tipe log normal menjadi tipe Talbot. Hal ini menunjukkan bahwa, saat tidak ada pasokan sedimen dari hulu, butiran dasar sungai yang halus akan terbawa aliran sungai ke hilir. Sehingga mengakibatkan material dasar sungai yang tertinggal adalah material dengan ukuran butiran yang didominasi material kasar. Jika kondisi ini terus menerus terjadi, maka akan terjadi fenomena yang sama, yang dimulai dari hulu ke hilir. Perubahan elevasi dasar sungai pada simulasi kasus 1 ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan tidak adanya suplai sedimen dari hulu, maka elevasi dasar sungai akan tergradasi (turun) dari waktu ke waktu. Kondisi ini akan berlangsung terus menerus sampai kondisi seimbang terpenuhi sehingga tidak tranpor sedimen dari hulu ke hilir, yang akan tercapai pada kondisi slope tertentu. Hal ini menyebabkan elevasi dasar sungai konstan, tidak terjadi degradasi lagi.

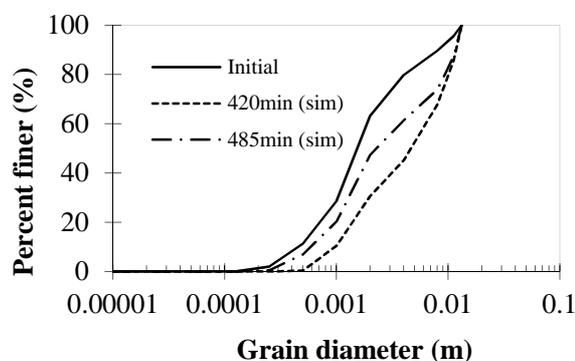


Gambar 4. Perubahan elevasi dasar sungai pada simulasi kasus 1

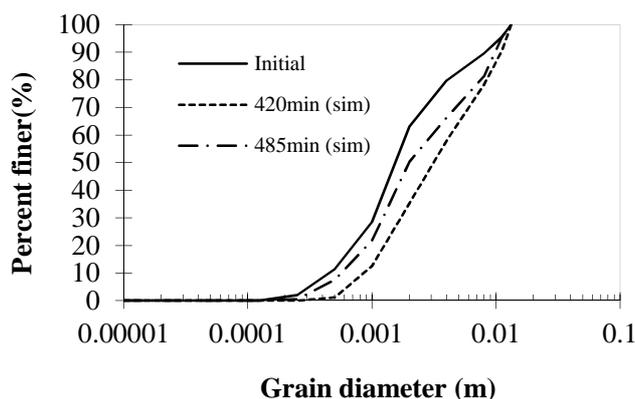
Selanjutnya dilakukan simulasi kasus 2, dengan mengambil hasil pada kasus 1 sebagai kondisi awal pada kasus 2. Hasil simulasi perubahan material dasar sungai pada kasus 2, yaitu dengan adanya sedimen suplai dari hulu ditunjukkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 7. Pada kasus ini, sedimen suplai dari hulu, misalnya karena adanya letusan gunung berapi, diasumsikan mempunyai tipe gradasi yang sama dengan kondisi awal gradasi material dasar sungai, yaitu tipe log normal. Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 menunjukkan bahwa setelah ada sedimen suplai dari hulu yang disebabkan oleh adanya produksi sedimen dari letusan gunung berapi, maka terjadi perubahan tipe grain size material dasar sungai dari tipe Talbot menjadi tipe log normal kembali, sesuai dengan tipe sedimen yang menyuplai. Kecenderungan ini akan terjadi terus menerus sampai tipe log normal dicapai. Pada kasus 2 di simulasi ini, tipe grain size dasar sungai mempunyai kecenderungan kembali ke tipe log normal.



Gambar 5. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 1 m pada simulasi kasus 2

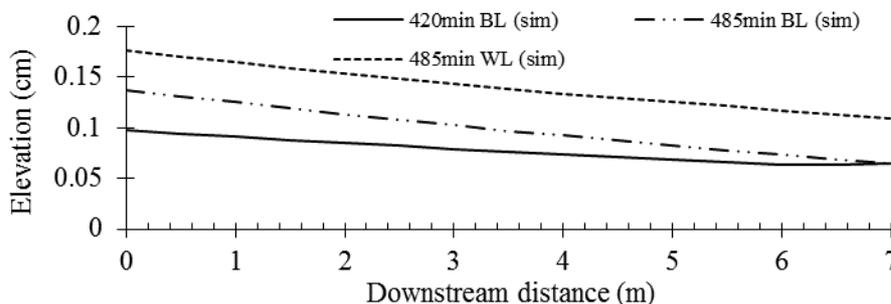


Gambar 6. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 3,5 m pada simulasi kasus 2

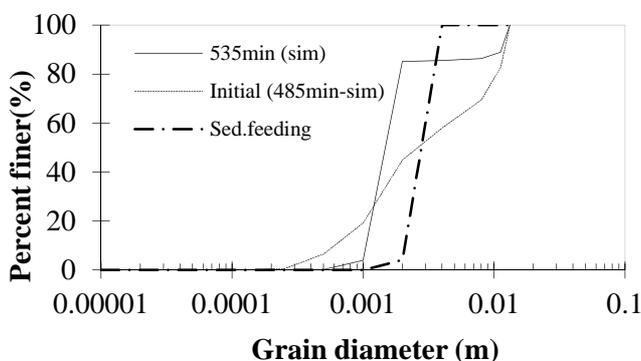


Gambar 7. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 6 m pada simulasi kasus 2

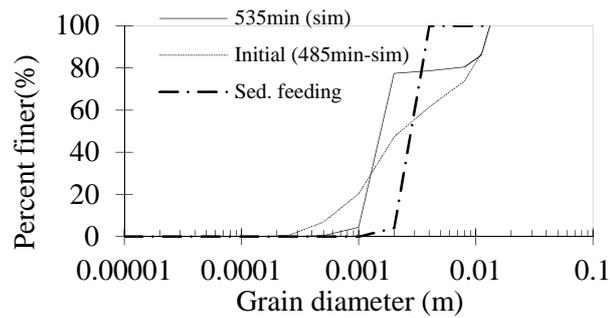
Hasil simulasi perubahan elevasi dasar sungai pada kasus 2 ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan adanya suplai sedimen dari hulu, maka kondisi ini dapat menyebabkan agradasi/peningkatan elevasi dasar sungai sampai pada kondisi awal. Kondisi ini akan berlangsung terus menerus, sampai pada kondisi stabil yang ditandai dengan elevasi dasar sungai tetap, sehingga diperoleh jumlah sedimen suplai seimbang dengan transport sedimen. Hasil simulasi kasus 3 yang menggambarkan perubahan tipe grain size material dasar sungai ditunjukkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 11.



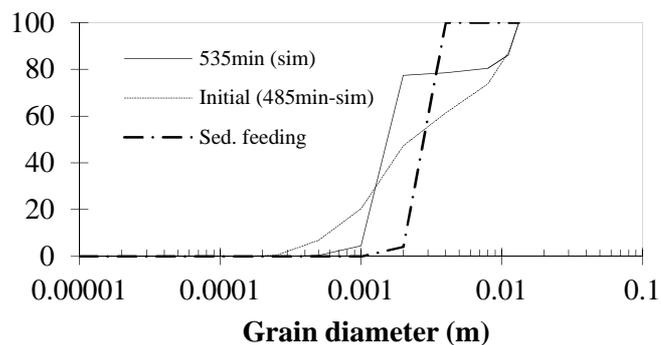
Gambar 8. Perubahan elevasi dasar sungai pada simulasi kasus 2.



Gambar 9. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 1 m pada simulasi kasus 3

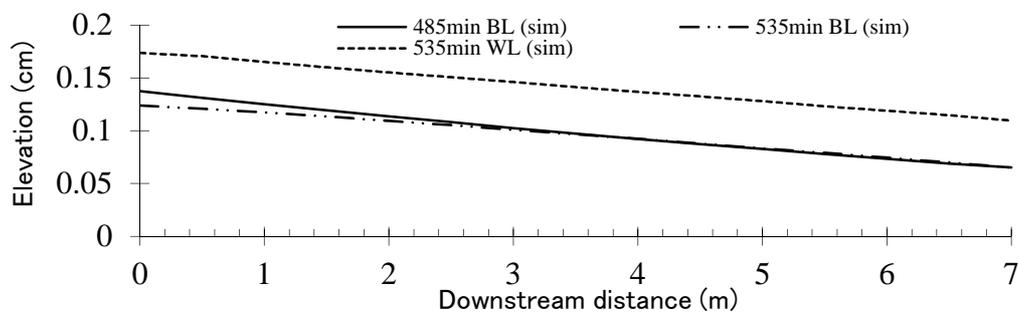


Gambar 10. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 3,5 m pada simulasi kasus 3



Gambar 11. Perubahan gradasi material dasar sungai di X = 6 m pada simulasi kasus 3

Perubahan elevasi dasar sungai pada kasus 3 ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 12. Perubahan elevasi dasar sungai pada simulasi kasus 3.

Dari Gambar 9 sampai dengan 11 menunjukkan akan ada perubahan akibat suplai sedimen dari bagian hulu. Kecenderungan yang diperoleh dari 3 lokasi menunjukkan bahwa dengan adanya suplai sedimen yang bergradasi seragam, akan menyebabkan perubahan dari tipe log normal menjadi atau cenderung untuk bertipe seragam juga. Dari kasus 2 dan 3 menunjukkan bahwa tipe sedimen suplai sangat mempengaruhi perubahan tipe grain size material dasar sungai. Gambar 12, menunjukkan bahwa pada kasus sedimen suplai dengan tipe grain size mendekati seragam maka akan mengakibatkan proses agradasi jauh lebih cepat dibandingkan dengan tipe grain size log normal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi numerik yang telah dilakukan dengan kasus-kasus yang telah diambil, dapat diperoleh kesimpulan bahwa jika tidak ada suplai sedimen dari hulu maka dasar sungai akan

mengalami degradasi dan tipe gradasi material sungai berubah menjadi tipe Talbot. Dengan adanya suplai sedimen, maka akan mengembalikan degradasi sungai ke kondisi sebelumnya dan tipe gradasi material dasar sungai akan berubah sesuai dengan tipe gradasi suplai sedimen dari hulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Kironoto, B. A., 1997, *Hidraulika Transpor Sedimen*, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Mancini, L., Rosemann, S., Puccinelli, C., Ciadamidaro, S., Marcheggiani, S., and Aulicino, F.A. 2008, "Microbiological indicators and sediment management", *Ann Inst Super Sanita*, Vol 44, No. 3, pp. 268-272.
- Soewarno, 1991, *Hidrologi Pengukuran Dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, Nova, Bandung
- Sulaiman, M., 2008, *Study on porosity of sediment mixtures and a Bed-porosity Variation model*, Thesis presented to Kyoto University