

POLA EROSI DAN SEDIMENTASI SUNGAI PROGO SETELAH LETUSAN GUNUNG MERAPI 2010

Studi Kasus Jembatan Bantar Kulon Progo

Puji Harsanto^{1*}

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Ring Road Selatan, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.

*Email: puji_hr@umy.ac.id

Abstrak

Gunung Merapi adalah salah satu gunung api yang paling aktif di Indonesia. Letusan yang terjadi biasanya memberikan bencana pada area sekitarnya. Salah satu bencana itu adalah bencana lahar dingin. Banyak sungai yang berhulu di Gunung Merapi. Sejak letusan tahun Oktober 2010, banyak material sedimen yang mengendap di hulu sungai. Endapan tersebut mencapai 130 juta m³. Kondisi sumber sedimen yang berlebih ini akan mengakibatkan pada saat-saat tertentu terjadi aliran air dengan suplai sedimen berlebih dari kondisi equilibrium. Dengan menggunakan simulasi numerik, penelitian ini akan mensimulasikan pola sedimentasi dan erosi pada pias sungai Progo di sekitar Jembatan Bantar. Karakteristik erosi dan sedimentasi diteliti berdasarkan kondisi suplai sedimen yang berlebih. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa suplai sedimen yang berlebih di samping menimbulkan sedimentasi, terjadi pula erosi pada kaki tebing sungai. Hal ini akan menaikkan potensi terjadinya longsor pada tebing sungai.

Kata kunci: *sungai progo, sedimen suplai, erosi sedimentasi, simulasi numerik*

1. PENDAHULUAN

Pada bulan Oktober 2010, Gunung Merapi di Jawa Tengah meletus dan mengeluarkan material sedimen berkisar 130 juta m³. Material sedimen tersebut terdeposit di sekitar puncak gunung dan menjadikan sumber material sedimen bagi sungai-sungai yang berhulu di Gunung Merapi.

Selama musim hujan material sedimen tersebut akan terbawa aliran air sehingga aliran akan mengandung bedload dengan konsentrasi tinggi. Tentunya hal ini akan memberi dampak perubahan morfologi sungai yang signifikan pada musim hujan. Perubahan morfologi sungai sangat tergantung dari kondisi aliran dan material sedimen yang ada (Duan dan Julien, 2005). Kondisi topografi sungai juga berpengaruh pada proses perubahan morfologi sungai. Di sungai sebelah hulu biasanya kemiringan dasar sungai adalah curam sehingga kondisi aliran umumnya superkritis. Sedangkan jenis aliran di sebelah hilir sungai biasanya subkritis. Melihat kondisi hidraulika tersebut maka butiran sedimen yang kasar cenderung terdeposit di sebelah hulu dan material yang lebih halus akan terendap di sebelah hilir sungai. Mengingat jumlah material sedimen yang ada di sepanjang sungai Progo akibat letusan Gunung Merapi sangat besar, maka kondisi dasar sungai akan mengalami perubahan yang sangat signifikan dalam waktu yang cukup singkat. Kondisi hidraulika sungai sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan kondisi struktur sungai yang ada.

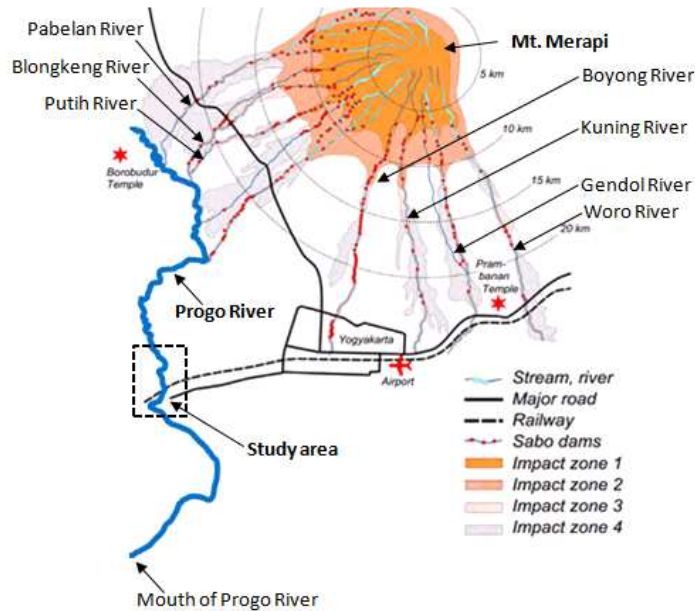
Proses erosi dan sedimentasi akan berpengaruh terhadap kestabilan konstruksi. Pada perencanaan kondisi letusan Gunung Merapi, tidak termasuk dalam perencanaan atau desain bangunan maka perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa kondisi hidraulika sungai Progo, terutama pada pias yang terdapat konstruksi sungai. Pada penelitian ini lokasi yang dipilih adalah jembatan Bantar sungai Progo. Hal ini sangat penting untuk menilai keamanan suatu bangunan atau konstruksi sungai. Harapan lebih jauh dari penelitian adalah menghindari kerusakan atau kegagalan konstruksi keairan. Sebagai contoh keruntuhan jembatan Srandakan di sungai Progo.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, analisa kondisi hidraulika pada sungai vulkanik dilakukan di pias Bantar sungai Progo. Pias ini termasuk hilir sungai Progo dan terdapat jembatan penting, karena merupakan jalan lintas jawa melalui jembatan ini. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada gambar tersebut dapat terlihat dengan jelas bahwa sungai Progo termasuk sungai vulkanik di mana sedimen dari Gunung Merapi masuk melalui sungai Putih, Pabelan dan Blongkeng. Sungai-sungai tersebut pada letusan Oktober 2010 menjadi tampungan lahar yang dikeluarkan oleh Gunung Merapi. Gambar 2 merupakan contoh foto satelit yang menunjukkan material sedimen yang terdeposit dari lahar Gunung Merapi.



Gambar 1 Sistem Sungai Progo dan lokasi studi



Gambar 2 Sedimentasi yang berlebih pada pias Jembatan Kebon Agung.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, terdapat sumber sedimen yang berlebih pada sekitar pias Jembatan Kebon Agung. Lokasi ini terletak sekitar 6 km sebelah hulu Jembatan Bantar (lokasi penelitian). Tinggi sedimentasi berkisar 6 m dengan panjang 1 km. Material sedimen berupa pasir hasil letusan Gunung Merapi Oktober 2010. Pada kondisi tertentu, jika sudut kemiringan tebing sedimen lebih dari sudut longsor material sedimen, maka akan terjadi longsor. Material longsor tersebut akan masuk ke dalam sungai secara mendadak dalam jumlah yang besar pula. Hal ini akan menyebabkan kondisi suplai sedimen di dasar sungai akan meningkat secara mendadak dan menyebabkan volume angkutan sedimen melebihi kondisi setimbang.

PERSAMAAN NUMERIK

Simulasi numerik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan model aliran dua dimensi rerata kedalaman. Persamaan diferensial aliran diselesaikan dengan metode beda hingga. Persamaan konservasi massa adalah sebagai berikut (Takebayashi, 2005):

$$\Lambda \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U_g \right) \frac{h_g}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V_g \right) \frac{h_g}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

Di mana, t adalah, z adalah elevasi permukaan air. Kedalaman aliran direpresentasikan oleh h , dan kedalaman aliran rembesan direpresentasikan dengan h_g . U dan V menyatakan kecepatan rata-rata aliran dalam arah sumbu ξ dan η . Jika dinyatakan dalam sumbu kartesian maka persamaan kecepatan tersebut adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{\partial \xi}{\partial x} u + \frac{\partial \xi}{\partial y} v \quad (2a)$$

$$V = \frac{\partial \eta}{\partial x} u + \frac{\partial \eta}{\partial y} v \quad (2b)$$

Di mana, u dan v menyatakan kedalaman aliran rata-rata dalam arah sumbu x dan y . U_g dan V_g menyatakan kedalaman aliran rembesan dalam arah sumbu ξ dan η , dan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$U_g = \frac{\partial \xi}{\partial x} u_g + \frac{\partial \xi}{\partial y} v_g \quad (3a)$$

$$V_g = \frac{\partial \eta}{\partial x} u_g + \frac{\partial \eta}{\partial y} v_g \quad (3b)$$

Persamaan momentum dari aliran adalah sebagai berikut [Takebayashi, 2003], [Liu, 1991]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{hU}{J} \right) \\ & - \frac{hu}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \right) \\ & - \frac{hv}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right) \\ & = -gh \left(\frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{b\xi}}{\rho J} \\ & + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{yx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{yx}) \\ & + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{yy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{yy}) \end{aligned} \quad (4a)$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{hV}{J} \right) \\
 & - \frac{hu}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \right) \\
 & - \frac{hv}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \right) \\
 & = -gh \left(\frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{b\eta}}{\rho J} \\
 & + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{yx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{yx}) \\
 & + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{yy}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{yy})
 \end{aligned} \tag{4b}$$

Di mana, g adalah gaya grafitasi bumi, ρ adalah berat jenis air. $\tau_{b\xi}$ dan $\tau_{b\eta}$ menyatakan gaya geser sepanjang sumbu ξ dan η . Perubahan elevasi permukaan dasar sungai diperkirakan dengan persamaan sebagai berikut [Ashida dan Michue, 1972]:

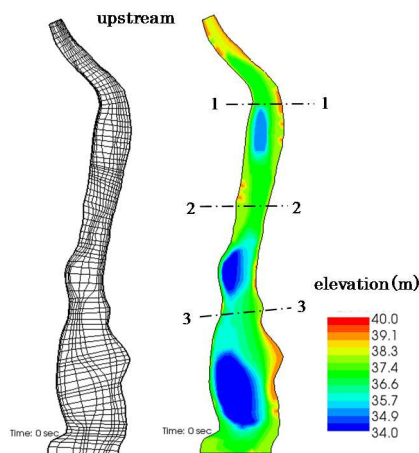
$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{c_b E_b}{J} \right) + (1-\lambda) \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) + \left(\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \frac{c_b E_b}{J} + \sum_{k=1}^n \frac{q_{b\xi k}}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} \frac{c_b E_b}{J} + \sum_{k=1}^n \frac{q_{b\eta k}}{J} \right) \right) = 0 \tag{5}$$

Dengan n menyatakan kelas dari gradasi butiran sedimen.

SKENARIO SIMULASI

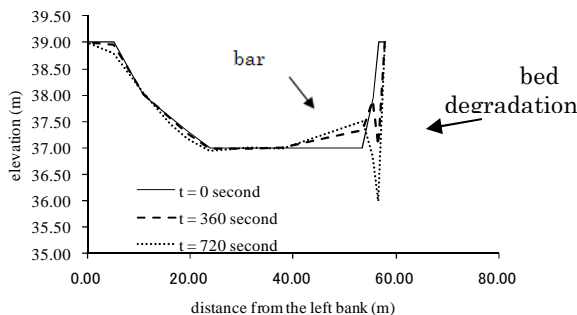
Simulasi dilakukan dengan membagi dua kondisi utama yaitu, kondisi simulasi yang menggambarkan aliran normal yaitu *equilibrium bedload transport*, disebut Kondisi 1. Kondisi ini untuk mensimulasi kondisi sungai tanpa ada input debit lahar dingin dari hulu. Dengan kata lain transpor sedimen dalam kondisi setimbang atau 100% qb. Di mana qb adalah kondisi aliran equilibrium. Selanjutnya dalam simulasi disebut Kasus 1. Sedangkan kondisi yang ke dua adalah kondisi dengan aliran tranpor sedimen tidak setimbang. Kondisi ini untuk menggambarkan kondisi sungai dengan input sedimen dari hulu dengan konsentrasi tinggi. Dalam kenyataannya untuk merepresentasi aliran lahar dingin yang masuk ke sungai. Sehingga suplai sedimen yang terjadi melebihi dari kondisi normal. Kondisi 2 dibagi menjadi 2 jenis, yaitu suplai sedimen adalah 130% qb dan 150% qb. Selanjutnya dalam simulasi disebut Kasus 2 dan 3. Debit aliran yang digunakan adalah debit aliran rata-rata tahunan sebesar 115 m3/detik. Ukuran butiran sedimen rata-rata menggunakan hasil pengukuran di lapangan. Diameter butiran tersebut adalah 3 mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

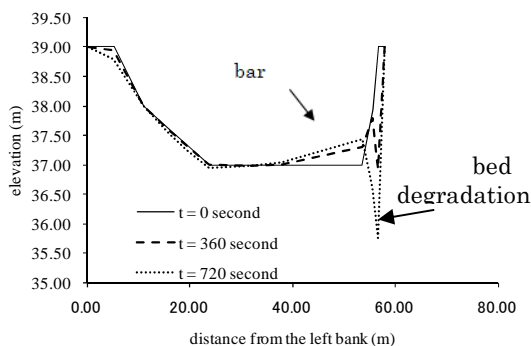


Gambar 3 Grid simulasi dan kontur dasar sungai

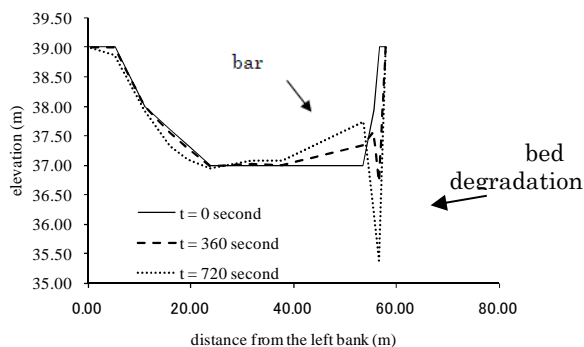
Gambar 4, 5 dan 6 menunjukkan perubahan morfologi sungai kearah vertikal. Pada kasus 1 degradasi pada kaki tebing sungai untuk potongan 1-1 terjadi sekitar 1 m. Pada potongan ini degradasi pada kaki tebing sungai terjadi semakin dalam. Pada kasus 2 terjadi berkisar 1.3 m dan pada kasus 3 terjadi berkisar 1.6 m. Terjadinya degradasi yang semakin dalam seiring dengan bertambahnya volume suplai sedimen dari hulu, hal ini memberikan fenomena bahwa dengan bertambahnya volume sedimen suplai tidak hanya akan meningkatkan sedimentasi yang terjadi, akan tetapi pada kondisi tertentu akan menyebabkan erosi yang berlebih pula.



Gambar 4 Perubahan dasar sungai pada potongan 1-1 kasus 1



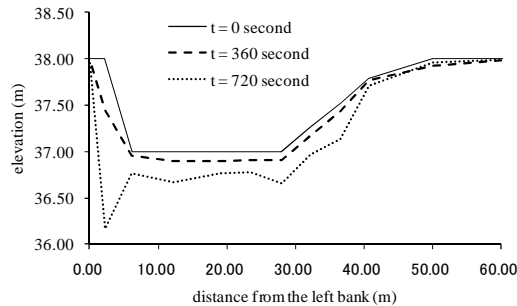
Gambar 5 Perubahan dasar sungai pada potongan 1-1 kasus 2



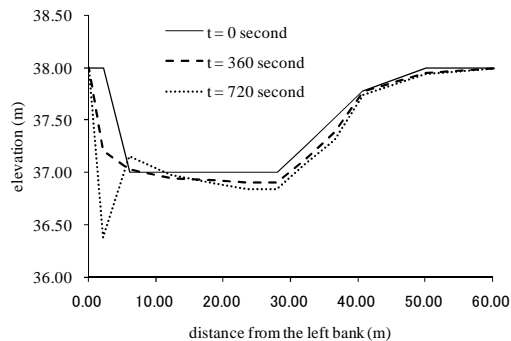
Gambar 6 Perubahan dasar sungai pada potongan 1-1 kasus 3

Gambar 7, 8 dan 9 merupakan perubahan dasar sungai untuk potongan 2-2. Pada kasus 1 erosi dasar sungai terjadi pada semua sisi lebar sungai. Dengan bertambahnya suplai sedimen dari kondisi setimbang menjadi 130% q_b , maka terjadi sedimentasi pada semua sisi lebar. Akan tetapi

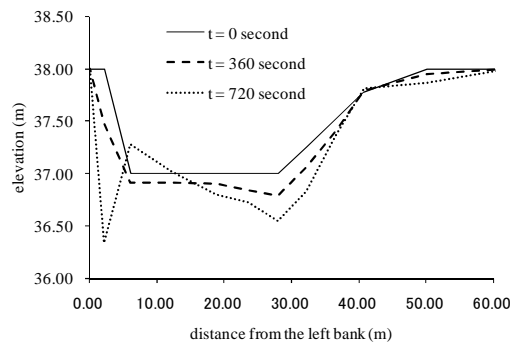
setelah suplai sedimen mencapai 150% q_b maka erosi pada kaki tebing sungai akan bertambah seiring dengan kenaikan elevasi bar sungai yang ada di tengah. Hal memberi gambaran bahwa pada pias ini akan terjadi *sand bar* di tengah sungai seiring dengan itu terjadi pelebaran sungai. Hal ini bisa dijelaskan bahwa kondisi degradasi yang bertambah pada kaki tebing sungai akan menyebabkan terjadinya erosi tebing sungai. Yang tentunya ini akan menyebabkan pelebaran sungai.



Gambar 7 Perubahan dasar sungai pada potongan 2-2 kasus 1

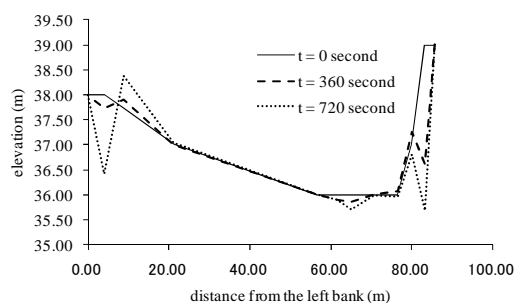


Gambar 8 Perubahan dasar sungai pada potongan 2-2 kasus 2

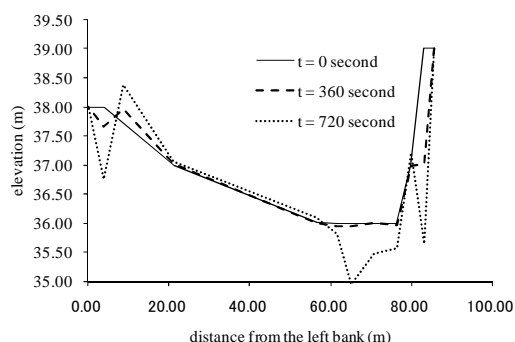


Gambar 9 Perubahan dasar sungai pada potongan 2-2 kasus 3

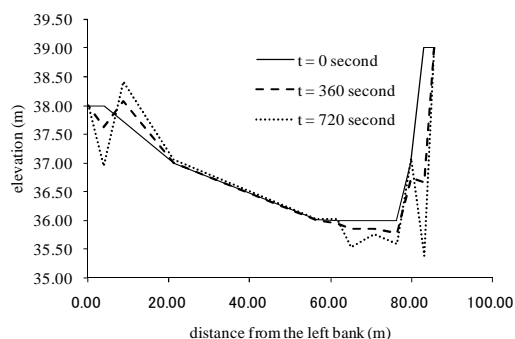
Gambar 10, 11 dan 12 merupakan perubahan dasar sungai untuk potongan 3-3. Pada potongan 3-3 ini, pola erosi sedimentasi hampir sama dengan poses yang terjadi pada potongan 2-2. Pada kondisi setimbang terjadi erosi di tebing sungai dan bertambah ketika suplai sedimen menjadi 130% q_b . Akan tetapi menjadi berkurang lagi ketika suplai sedimen menjadi 150% q_b . Hal ini menegaskan kembali bahwa suplai sedimen berlebih akan memberikan potensi erosi tebing sungai. Selain itu suplai sedimen berlebih secara jelas akan menimbulkan sedimentasi pada pias-pias sungai.



Gambar 10 Perubahan dasar sungai pada potongan 3-3 kasus 1



Gambar 11 Perubahan dasar sungai pada potongan 3-3 kasus 2



Gambar 12 Perubahan dasar sungai pada potongan 3-3 kasus 3

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Terjadinya perubahan suplai sedimen dari hulu sangat mempengaruhi kondisi morfologi sungai di hilir sungai Progo.
- Perubahan morfologi tersebut tidak hanya proses sedimentasi yang berlebih, akan tetapi juga potensi erosi tebing sungai akan meningkat untuk kondisi-kondisi tertentu, di mana hal ini tergantung pada kondisi aliran yang terjadi.
- Terjadinya erosi yang menyebabkan bertambahnya lebar sungai, akan mempengaruhi kestabilan konstruksi jembatan, terutama abutmen jembatan.
- Mengingat hal-hal tersebut diatas maka perlu dilakukan perkuatan tebing sungai di area sekitar Jembatan Bantar. Hal ini perlu dilakukan agar abutmen jembatan aman dari bahaya erosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashida, K. and Michiue, M.: Study on hydraulic resistance and bed-load transport rate in alluvial streams, Proc. of JSCE, No. 206, pp.59-69, 1972.
- Duan, J.G., and Julien, P.Y.: Numerical simulation of the inception of channel meandering, Earth Surf. Process. Landforms, Vol. 30, pp. 1093-1110, 2005.
- Liu, B.Y.: Study on Sediment Transport and Bed Evolution in Compound Channels. Thesis presented to Kyoto University, 1991
- Takebayashi, H., Egashira, S. and Okabe, T.: Braided streams formed on beds with non-uniform sediment, Proc. 3rd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, pp.787-798, 2003.
- Takebayashi, H., River Configuration in Middle-Lower Reach of River Basin, Journal of Japan Society of Fluid Mechanics, Vol. 24, pp. 27-36, 2005.