

ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN SUNGAI OPAK DENGAN MENGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 4.1.0

Pradipta Nandi Wardhana¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Daerah Istimewa Yogyakarta,
Indonesia
Email: pradipta.nw@uii.ac.id

ABSTRACT

Opak river flows in Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. The river flow contains sediment material because Opak River's upstream is at Mount Merapi. The sediment material can settle at river cross section. Deposit of sediment material can reduce cross section discharge capacity. HEC RAS 4.1.0 is developed by U.S Army Corps of Engineering Hydraulics Engineering Centre (USACE). The program have capability to simulate one dimensional flow such as steady flow, unsteady flow, sediment transports, and water quality in natural or artificial network. Based on transport sediment simulation as long as 365 days, sediment material deposition at upstream reach of Opak River is 515,519 tons, middle reach of Opak River is 79,282 tons, and downstream reach of Opak River is 47,300 tons. Meanwhile, there is sediment material deficit at Winongo River as much as 36,231 tons and sediment material deficit at Oyo river as much as 29,437 tons. At the most downstream cross section of Opak River, the cross section change is not significant.

Key words: *sediment transports, HEC-RAS*

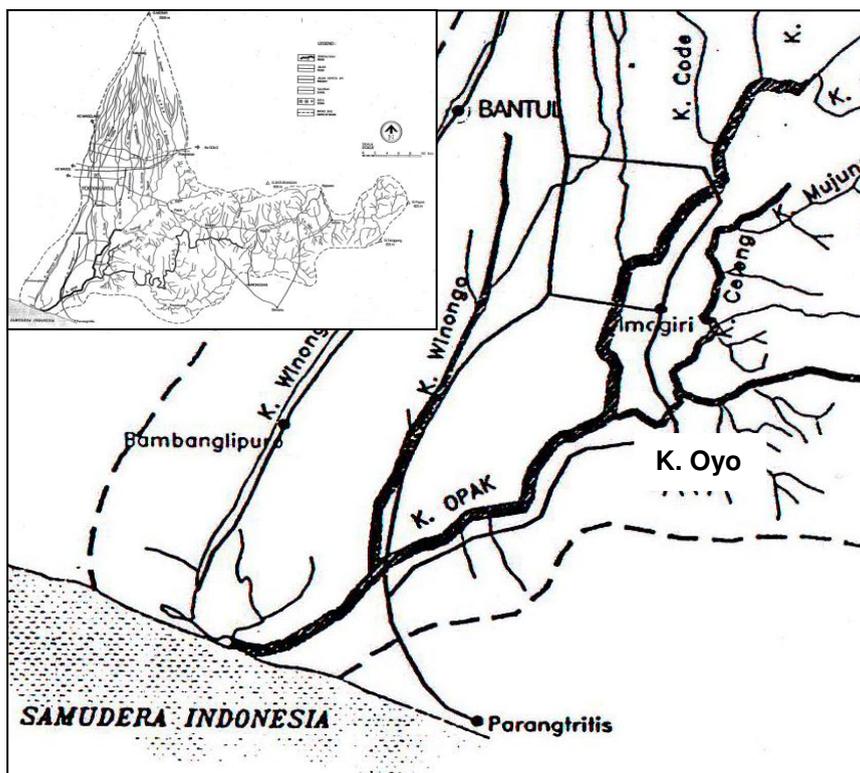
PENDAHULUAN

Sungai merupakan saluran drainase yang dibentuk oleh alam. Sungai mempunyai fungsi untuk mengalirkan air hujan dalam bentuk *surface rain off*. Selain itu sungai juga mengangkut material yang berupa hasil erosi baik yang berasal dari sungai itu sendiri maupun yang berasal dari permukaan tanah saat aliran *surface rain off* mengalir menuju sungai.

Sungai Opak merupakan salah satu sungai yang mengalir di Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai Opak mempunyai hulu sungai di Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman dan mempunyai hilir sungai di Kelurahan Srigading, Kecamatan Sanden, Kabupaten Bantul. Sungai Opak mempunyai panjang aliran ± 65 km dan luas daerah aliran sungai $\pm 1398,18$ km². Sungai Opak memiliki beberapa anak sungai, antara lain Sungai Oyo, Sungai Winongo, Sungai Code, Sungai Gajahwong, dan Sungai Tambakbayan

Sungai Opak mempunyai karakteristik yang sama dengan kebanyakan sungai-sungai di Pulau Jawa yang mempunyai muara di selatan Pulau Jawa. Sungai-sungai yang mempunyai muara di selatan Pulau Jawa mempunyai muara sungai yang sering berpindah. Berpindahnya muara sungai tersebut disebabkan oleh sedimen yang mengendap di muara sungai. Keberadaan sedimen di muara dapat disebabkan oleh sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dan sedimen yang bergerak sepanjang pantai (*longshore sediment transport*). Keberadaan sedimen yang mengendap di muara sungai tersebut menyebabkan terjadi banjir di muara sungai. Kejadian banjir juga sering terjadi di muara Sungai Opak.

Metode yang sering digunakan untuk menanggulangi terjadinya banjir di muara sungai adalah dengan pembangunan jetty di muara sungai. Tujuan pembangunan jetty tersebut agar sedimen yang bergerak sepanjang pantai tidak mengendap di muara sungai.



Gambar 1 Peta lokasi Sungai Opak

Pembangunan jetty di muara sungai tidak akan berfungsi maksimal apabila terjadi deposisi sedimen dalam jumlah banyak di muara sungai sehingga simulasi perilaku transport sedimen di muara sungai harus dilakukan. Hasil simulasi dapat digunakan untuk mengetahui apakah di muara sungai terjadi proses erosi atau proses aggradasi.

Permasalahan lain yang terdapat di Sungai Opak adalah banyaknya penambang pasir liar, yang berakibat degradasi dasar sungai. Kondisi ini telah mengakibatkan dasar sungai turun, bangunan tanggul dan bangunan pengairan banyak yang rusak.

HEC-RAS 4.1.0 dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering Hydraulics Engineering Centre (USACE)*. Program memiliki kapasitas untuk melakukan beberapa perhitungan aliran satu dimensi (1-D), yaitu simulasi aliran *steady*, aliran *unsteady*, transpor sedimen, dan kualitas air dalam satu jaringan untuk saluran alami maupun saluran buatan.

USACE pertama kali memasukkan modul simulasi transpor sedimen pada HEC-RAS 4 beta. Modul simulasi transpor sedimen ini dapat melakukan simulasi transpor sedimen dengan menggunakan berbagai persamaan yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Untuk mendekati fenomena fisik, penyelesaian persamaan kontinuitas sedimen dilakukan dengan mempertimbangkan algoritma *sorting* dan *armoring*. (Brunner *et al*, 2005).

Zhang *et al*. (2005) melakukan simulasi transpor sedimen Sungai Rilito di Tucson, Arizona dengan menggunakan program HEC-RAS. Hasil simulasi transpor sedimen dengan menggunakan persamaan Laursen dapat mendekati fenomena fisik yang terjadi di lapangan. Haghiabi dan Zaredehdasht (2012) juga mendapatkan hasil yang mendekati situasi di lapangan saat melakukan simulasi transpor sedimen Sungai Karun di Iran dengan menggunakan program HEC-RAS 4 beta. Pada simulasi tersebut persamaan transpor sedimen yang digunakan adalah persamaan Laursen. Hasil

simulasi transport sedimen menggunakan program HEC-RAS lebih tinggi 11% bila dibandingkan dengan simulasi transport sedimen dengan menggunakan program MIKE 11.

Simulasi transpor sedimen dengan program HEC-RAS 4.1.0 dapat digunakan untuk mengevaluasi perubahan kapasitas debit tampang sungai akibat adanya proses transpor sedimen dan mengevaluasi proses transpor sedimen yang terjadi pada tampang sungai maupun penggal sungai.

LANDASAN TEORI

Persamaan Kontinuitas

Berikut dasar persamaan kontinuitas yang menjelaskan konservasi massa pada aliran satu dimensi.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \tag{1}$$

Dengan :

x = jarak sepanjang saluran

t = waktu

Q = debit aliran

A = tampang basah aliran

S = tampungan tampang melintang sungai yang tidak

q_l = aliran lateral per unit jarak

Persamaan Momentum

Persamaan momentum menyatakan bahwa laju perubahan momentum sama dengan gaya eksternal yang bekerja pada suatu sistem.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(vQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \tag{2}$$

Dengan :

g = percepatan gravitasi

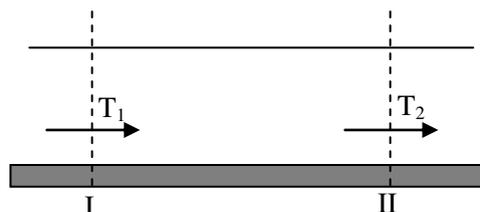
S_f = kemiringan friksi

v = kecepatan aliran

Kapasitas Transpor Sedimen

Kapasitas transpor sedimen adalah kapasitas dari sungai untuk melewati sejumlah sedimen sehubungan dengan karakter pengaliran dan karakter sedimen pada suatu

penggal sungai yang ditinjau (Kinori, 1984). Tujuan pokok dari pengetahuan transpor sedimen adalah untuk mengetahui apakah pada keadaan tertentu tampang suatu sungai mengalami keadaan seimbang, erosi atau pengendapan dan untuk mengetahui kuantitas proses tersebut (Mardjikoen, 1987).



Perbandingan T	Proses	
	Sedimen	Dasar
$T_1 = T_2$	Seimbang	Stabil
$T_1 < T_2$	Erosi	Degradasi
$T_1 > T_2$	Pengendapan	Agradasi

Gambar 2 Transpor sedimen pada tampang memanjang saluran.

Persamaan Kontinuitas Sedimen

Dasar simulasi pergerakan dasar saluran pada arah vertikal adalah persamaan kontinuitas sedimen (*the Exner equation*).

$$\frac{\partial G}{\partial x} + B_o \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \tag{3}$$

Dengan :

B_o = lebar saluran

t = waktu

G = jumlah sedimen dalam waktu tertentu

x = jarak saluran

Y_s = kedalaman sedimen pada volume kontrol

Kecepatan Endap Sedimen

Van Rijn memperkenalkan persamaan - persamaan di bawah ini berdasarkan kurva *US Interagency Committee on Water Resources'* (IACWR) untuk menghitung nilai kecepatan endap partikel. Persamaan tersebut berdasarkan faktor bentuk (*shape factor*) 0,7, dan temperatur air 20° C. Persamaan berikut digunakan berdasarkan ukuran diameter partikel.

$$1. \quad \omega = \frac{(s-1)gd}{18\nu} \text{ bila } 0.001 < d < 0.1 \text{ mm} \quad (4)$$

$$2. \quad \omega = \frac{10\nu}{d} \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gd^3}{\nu^2} \right)^{0.5} - 1 \right] \text{ bila}$$

$$0.1 < d < 1 \text{ mm} \quad (5)$$

$$3. \quad \omega = 1,1[(s-1)gd]^{0.5} \text{ bila } d \geq 1 \text{ mm} \quad (6)$$

Dengan :

ω = Kecepatan endap partikel

ν = Viskositas kinematik

s = rapat relatif partikel

d = diameter partikel

Persamaan Transpor Sedimen

Meyer-Peter Müller memperkenalkan persamaan di bawah ini untuk menghitung kapasitas transpor sedimen suatu penggal saluran.

$$\left(\frac{k_r}{k'_r} \right)^{3/2} \gamma R S = 0.047(\gamma_s - \gamma) d_m \quad (7)$$

$$+ 0.25 \left(\frac{\gamma}{g} \right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s} \right)^{2/3} g_s^{2/3}$$

Dengan :

g_s = transpor sedimen (massa/waktu/lebar)

kr = koefisien kekasaran

kr' = koefisien kekasaran berdasarkan butiran

γ = berat jenis air

γ_s = berat jenis sedimen

G = percepatan gravitasi

d_m = diameter partikel rata – rata

R = jari – jari hidraulik

S = kemiringan saluran

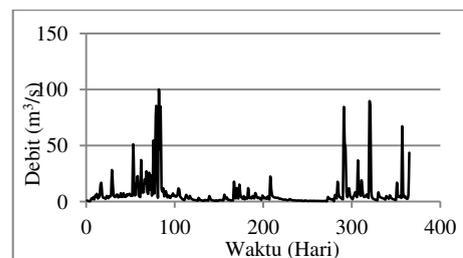
METODOLOGI

Sebelum dilakukan simulasi transpor sedimen, model jaringan sungai harus disimulasikan pada kondisi aliran *steady* dan *unsteady*. Simulasi pada kedua kondisi tersebut dilakukan untuk mengetahui stabilitas model jaringan sungai. Simulasi transpor sedimen dilakukan dengan kondisi *quasi unsteady flow*. Kondisi *quasi unsteady flow* mengasumsikan kondisi aliran yang *unsteady* menjadi beberapa seri diskrit profil

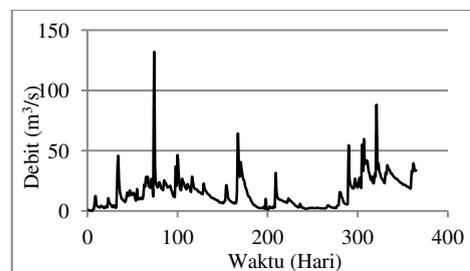
aliran *steady*. Simulasi transpor sedimen secara *steady* lebih mudah dan cepat dilakukan daripada simulasi transpor sedimen secara *unsteady* (Brunner, 2002).

Kondisi Batas Simulasi

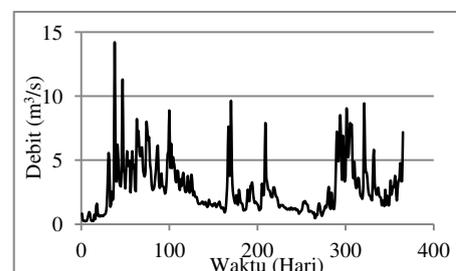
Kondisi batas hulu Sungai Oyo, Sungai Winongo, dan Sungai Opak yang digunakan merupakan debit harian selama satu tahun. Kondisi batas hulu dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Kondisi batas hilir di Sungai Opak adalah elevasi muka air tertinggi pasang surut yang diukur pada 16 Juni 2007 sampai dengan 18 Juni 2007 di muara Sungai Opak. Tinggi elevasi pasang surut tertinggi pada periode waktu tersebut di atas adalah 2,147 m.



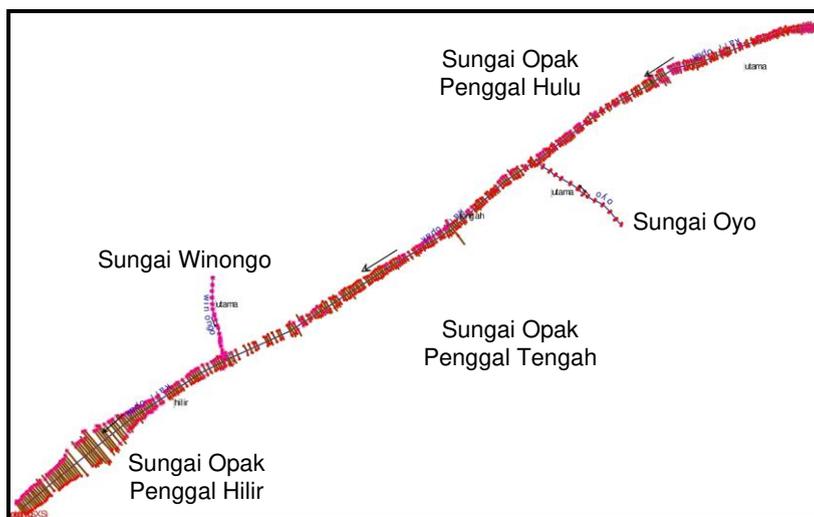
Gambar 3 Debit harian Sungai Oyo



Gambar 4 Debit harian Sungai Opak



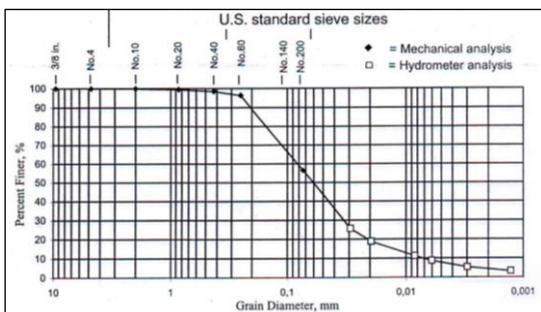
Gambar 5 Debit harian Sungai Winongo



Gambar 6 Skema jaringan Sungai Opak

Data Sedimen

Data sedimen yang digunakan untuk melakukan simulasi transpor sedimen dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Gradasi ukuran butir dasar sungai

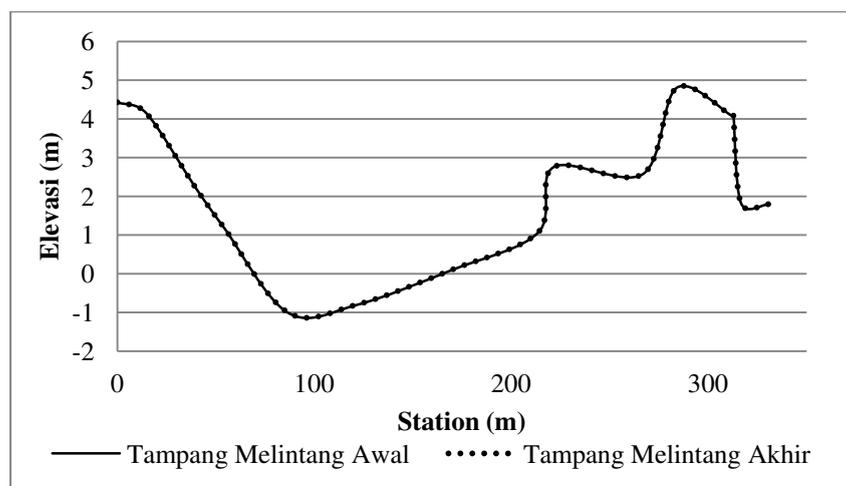
Skematisasi Jaringan

Proses skematisasi adalah proses peniruan skema jaringan sungai yang akan dianalisis agar model yang dibuat dapat mendekati keadaan di lapangan. Skema jaringan Sungai Opak dapat dilihat pada Gambar 6. Langkah selanjutnya adalah melakukan interpretasi data penampang melintang sungai untuk setiap *cross section*. Dari hasil interpretasi penampang sungai akan diperoleh koordinat tiap-tiap *station* (sumbu x dan sumbu y) dan jarak antar *station*. Hasil interpretasi penampang melintang ini akan menjadi masukan data geometri pada program HEC-RAS. Simulasi hidraulika aliran dengan menggunakan HEC-RAS

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Simulasi transpor sedimen dengan menggunakan program HEC-RAS ini dilakukan selama 365 hari. Perhitungan transpor sedimen dengan menggunakan HEC-RAS 4.1.0 dilakukan di setiap tampang melintang (*cross section*) sehingga kapasitas transpor sedimen nilainya berbeda-beda untuk setiap tampang melintang (*cross section*) dan perubahan elevasi dasar saluran juga berbeda. Perbandingan dasar saluran antara dasar saluran di awal simulasi dan akhir simulasi dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13. Perilaku transpor sedimen di suatu tampang melintang divisualisasikan seragam untuk setiap tampang melintang. HEC-RAS. Hal ini berarti bahwa penurunan atau kenaikan dasar saluran akan sama pada tampang melintang yang bersangkutan. Pembacaan hasil simulasi transpor sedimen akan lebih informatif pada tampang memanjang sungai untuk mengetahui kecenderungan perilaku transpor sedimen.

Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa perubahan elevasi pada tampang melintang Sungai Opak yang paling hilir tidak begitu besar. Perubahan tampang melintang yang tidak terlalu signifikan menunjukkan bahwa selisih sedimen yang



Gambar 8 Grafik perbandingan tampang melintang paling hilir Sungai Opak

masuk dan keluar pada tampang melintang tersebut tidak berpengaruh besar pada perubahan bentuk tampang melintang di daerah muara sungai. Sehingga apabila di muara sungai tersebut dibangun jetty, deposit sedimen yang berasal dari aliran Sungai Opak tidak akan mengganggu proses aliran air sungai ke laut. Perbandingan tampang melintang antara awal simulasi dan akhir simulasi dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil simulasi selama 1 tahun jumlah sedimen total yang masuk ke penggal Sungai Opak Hulu sebanyak 586.670 ton, dan jumlah sedimen total yang keluar dari penggal tersebut sebanyak 71.151 ton. Sehingga terdapat 515.519 ton sedimen yang tertinggal pada penggal tersebut. Pada Sungai Opak penggal tengah jumlah sedimen yang keluar sebanyak 33.463 ton, dan jumlah sedimen yang masuk sejumlah 112.746 ton. Pada penggal tersebut terdapat deposit sebesar 79.282 ton. Jumlah sedimen yang keluar dari Sungai Opak penggal hilir sebesar 15.813 ton, dan jumlah sedimen yang masuk ke penggal hilir Sungai Opak sebesar 63.113 ton. Pada Sungai Opak penggal hilir terdapat deposit sedimen sejumlah 47.300 ton.

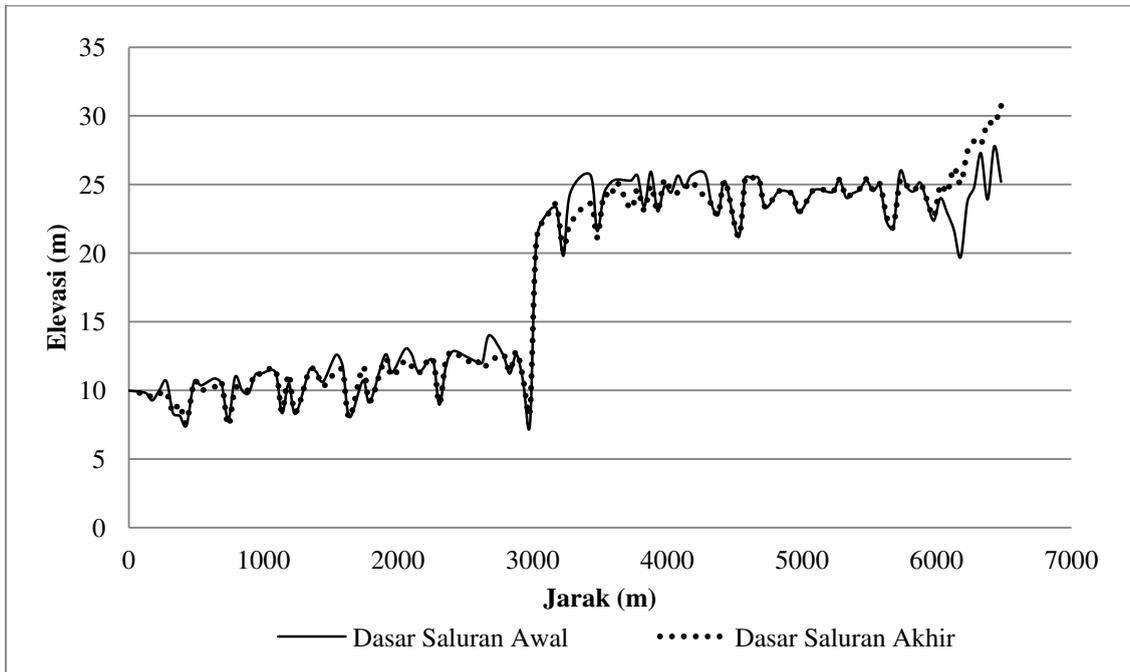
Pada Sungai Oyo terdapat 41.594 ton sedimen yang keluar dari penggal tersebut dan 5362 ton sedimen yang masuk. Bila dibandingkan dengan awal simulasi terdapat

sedimen sejumlah 36.231 ton yang merupakan hasil erosi pada penggal tersebut.

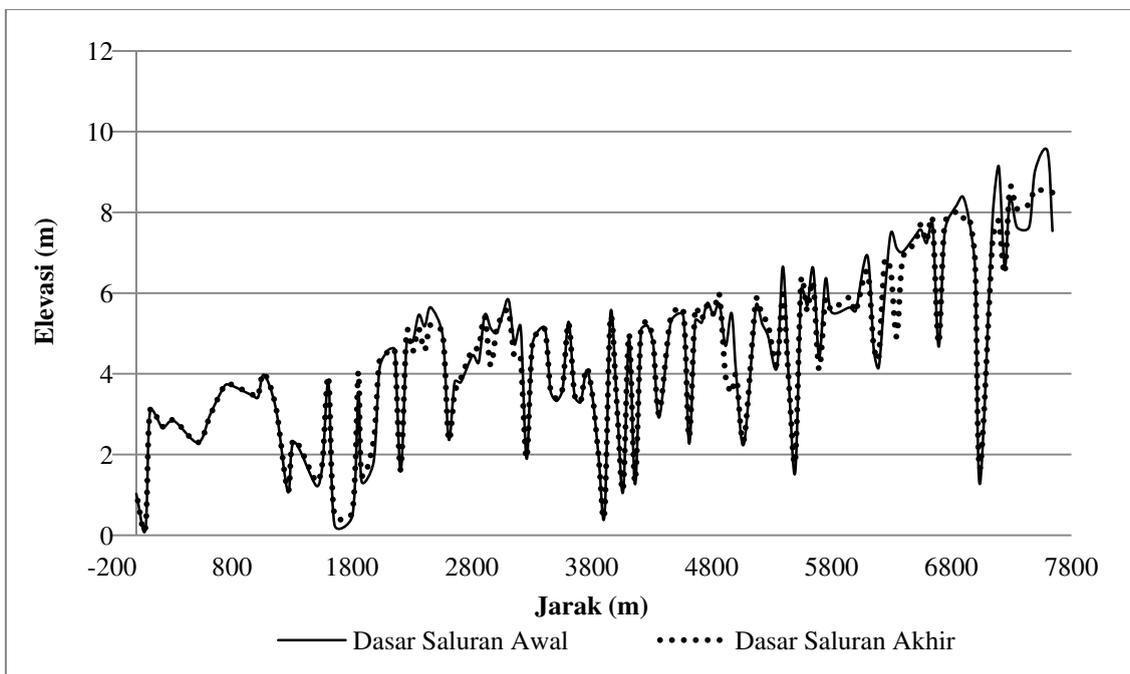
Pada penggal Sungai Winongo terdapat 212 ton sedimen yang masuk, dan 29.650 ton sedimen yang keluar. Sesuai dengan waktu simulasi selama 1 tahun, terdapat sedimen sejumlah 29.437 ton yang keluar dari penggal tersebut yang merupakan hasil erosi.

Interpretasi hasil simulasi transport sedimen dilakukan secara kualitatif karena apabila hasil simulasi transport sedimen diinterpretasikan secara kuantitatif maka hasil simulasi transport sedimen akan berbeda dengan kondisi yang ada di lapangan.

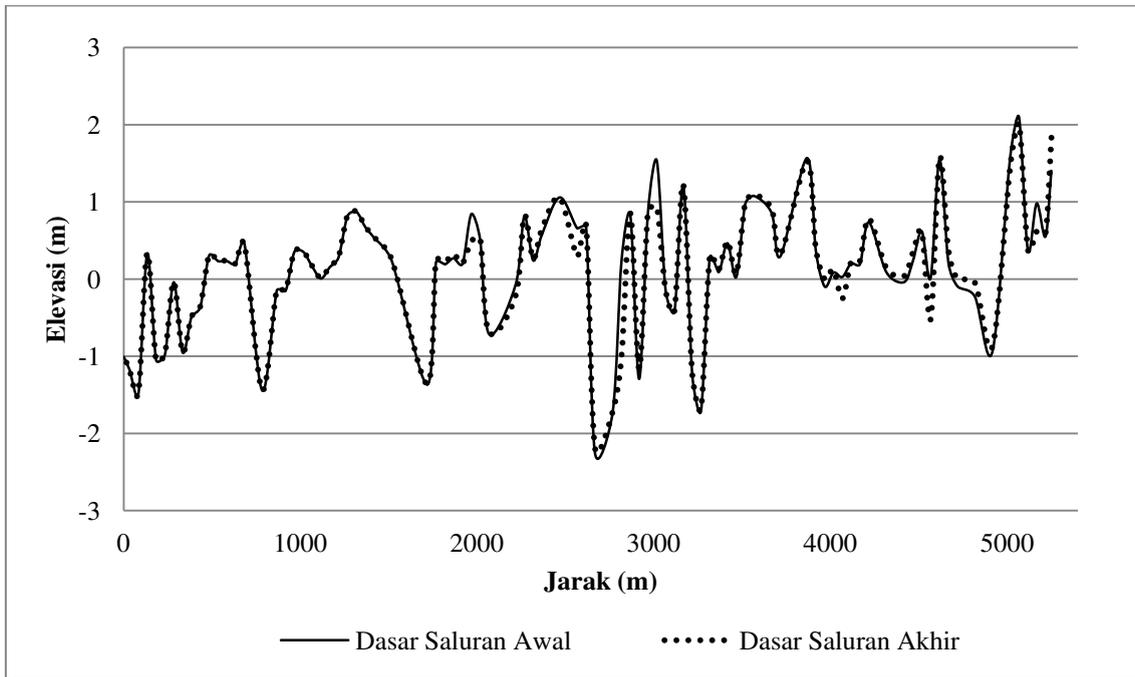
Hasil simulasi transport sedimen dengan menggunakan program HEC-RAS dapat digunakan untuk mengetahui ruas sungai yang mengalami kecenderungan untuk mengalami aggradasi atau erosi. Lebih lanjut hasil interpretasi tersebut dapat digunakan untuk menentukan lokasi pembangunan bangunan hidraulik yang berfungsi untuk mempertahankan dasar saluran. Selain itu hasil simulasi transport sedimen juga dapat digunakan untuk mengetahui ruas sungai yang membutuhkan pengerukan karena mengalami penngurangan tampang saluran.



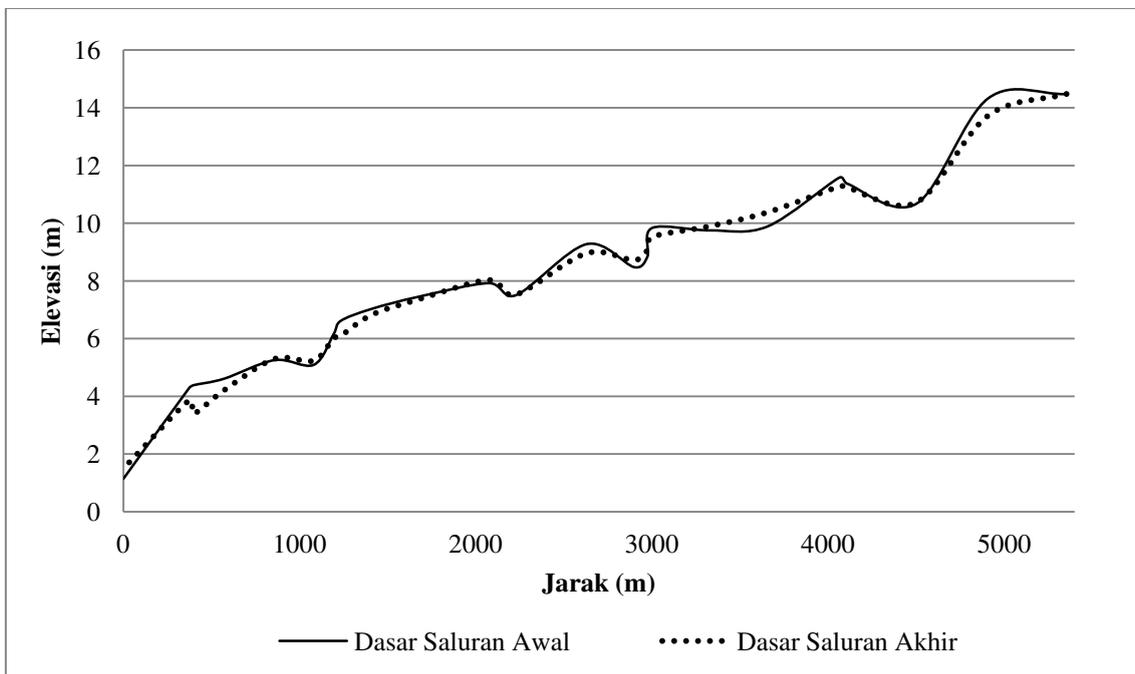
Gambar 9 Grafik perbandingan dasar saluran Sungai Opak penggal hulu



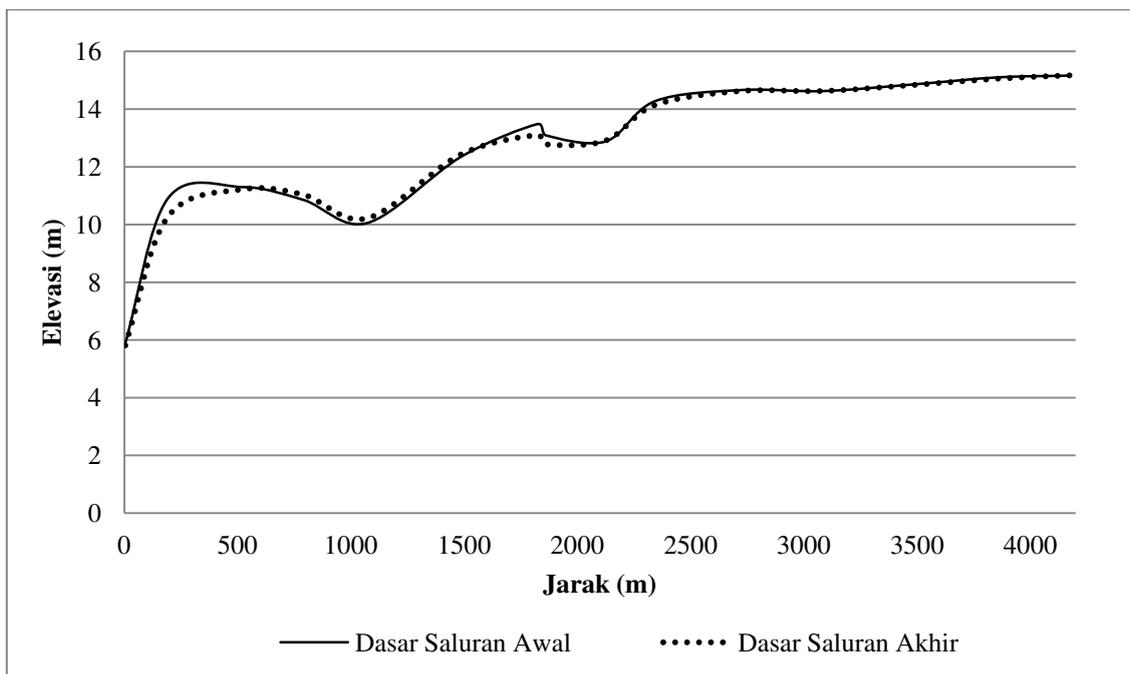
Gambar 10 Grafik perbandingan dasar saluran Sungai Opak penggal tengah



Gambar 11 Grafik perbandingan dasar saluran Sungai Opak penggal hilir



Gambar 12 Grafik perbandingan dasar saluran Sungai Winongo



Gambar 13 Grafik perbandingan dasar saluran Sungai Oyo

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi transpor sedimen selama 365 hari dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1.0, terdapat surplus deposit material sedimen pada Sungai Opak, sedangkan pada Sungai Oyo dan Sungai Winongo mengalami defisit deposit material sedimen. Surplus deposit sedimen dan defisit sedimen tersebut tersebar di seluruh tampang melintang pada penggal sungai tersebut. Perhitungan kapasitas transpor sedimen oleh program HEC-RAS dilakukan di setiap tampang melintang, sehingga pada setiap tampang melintang tersebut dapat diketahui perubahan tampangannya sehingga dapat digunakan sebagai masukan untuk mengevaluasi tampang melintang tersebut di lapangan. Tampang melintang paling hilir Sungai Opak mengalami perubahan yang tidak ekstrim.

Hasil simulasi transport sedimen dengan menggunakan program HEC-RAS dapat digunakan untuk memprediksi kecenderungan perilaku transport sedimen di setiap tampang melintang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (1998), *Publikasi Data Data Debit Sungai Tahunan Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 1998*, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Sumber Daya Air, Yogyakarta
- Anonim, (2007), *Laporan Akhir Pengukuran Pekerjaan Perencanaan Detail Desain Sungai Opak Propinsi DIY* PT. Puser Bumi Consultant, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Yogyakarta
- Brunner, G.W., (2002), *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, California, Amerika Serikat
- Brunner G. W., and Gibson, S., (2005), *Sediment Transport Modeling in HEC-RAS, Proceeding of ASCE EWRI Congress*, Anchorage
- Graf, W.H. and M.S. Altinakar, (1998), *Fluvial Hydraulics*, J. Wiley and Sons, Ltd., Sussex, England.
- Haghiabi, A.H., and Zaredehdasht, E., (2012), "Evaluation of HEC-RAS

- Ability in Erosion and Sediment Transport Forecasting”, *World Applied Sciences Journal*, 17(11), 1490-1497.
- Kinori, B.Z., and Mevorach, J., (1984), *Manual of Surface Drainage Vol. II Stream Flow Engineering and Flood Protection*, Elsevier, Amsterdam
- Mardjikoen, P., (1987), *Angkutan Sedimen*, PAU-IT, Yogyakarta
- Rijn, L.V., (1993), *Principle of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, Coastal Seas and Oceans*, International Institute for Infrastructure, Hydraulic, and Environmental Engineering, Delft
- Duan, J.G., Acharya, A., Yaeger, M., Zhang, S., and Salguero, M., (2008), “Evaluation of flow and sediment models for the Rillito River”, *In World Environmental and Water Resources Congress 2008*, ASCE, Ahupua’A, 1-10