

ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN FLOODWAY SEDAYU LAWAS DI BENGAWAN SOLO 10 TAHUN PASCA PELAKSANAAN

ANALYSIS OF THE SEDAYU LAWAS FLOOD WAY SEDIMENT TRANSPORT IN THE BENGAWAN SOLO AFTER 10 YEARS OF IMPLEMENTATION

Sarwono¹⁾, Harianto²⁾, Ibnu Suprianto³⁾

^{1,2,3)} Balai Sungai, Pusat Penelitian dan Pengembangan SDA
Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. Solo-Kartosuro KM7 Surakarta 57101 Telp.(0271)719429 Fax.(0271)716406
E-Mail: sarwono_bs@yahoo.co.id

Diterima: 4 September 2012; Disetujui: 29 November 2012

ABSTRAK

Floodway Sedayu Lawas mempunyai panjang 12.65 km dengan lebar alur mencapai 100 m, melewati Bukit Rembang mengalir dari Bengawan Solo dan bermuara di Laut Jawa. Intake floodway terletak 24 km dari Babat dan 71 km dari Muara Ujungpangkah. Intake floodway dan saluran direncanakan mampu mengalirkan debit sebesar 640 m³/det, dengan tujuan untuk mereduksi banjir Bengawan Solo bagian hilir. Kemiringan dasar sungai yang landai sebesar 0,0002433 atau 1/4110 dengan kecepatan aliran rata-rata 1,95 m/det pada debit 512 m³/det, menyebabkan aliran floodway menjadi tidak terlalu lancar, hal inilah yang mengindikasikan terjadinya sedimentasi pada alur Sedayu Lawas. Hasil kajian lapangan menunjukkan bahwa setelah lebih dari 10 tahun pasca pembangunannya, terdapat beberapa perubahan antara lain adanya sedimentasi pada dasar floodway, sehingga mengurangi kapasitas tampungannya. Untuk itu diperlukan kajian guna menghitung besarnya kandungan transpor sedimen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan rumus Meyer-Peter Muller's (MPM) dan software Mike 21 curve linear (Mike 21 C).

Kata kunci: Floodway, pengendalian banjir, sedimentasi, morfologi, sungai

ABSTRACT

The Sedayu Lawas floodway with 12.65 km length and 100 m channel width passing the low Rembang hills flows into the Java Sea from the Bengawan Solo River. The floodway intake is located 24 km downstream of Babat and 71 km upstream of Ujungpangkah at the beginning of the estuary. The floodway has a gated intake and a design capacity of 640 m³/s. It can reduce flow immediately downstream by this amount, but peak flows into the estuary may not be reduced to the same extent. Prior to the construction of floodway, some of the water downstream flowed inland but after construction of the floodway, water remained in the river channel and is carried directly to the estuary. The slope of river at 0.0002433 or 1/4110, with an average velocity of 1.95 m/sec at discharge 512 m³/sec will cause an irregular flow indicating the influence of sedimentation in the Sedayu Lawas flow. The method used in this research is the Meyer-Peter Muller (MPM) formula and Mike 21 Curve linear (Mike 21 C) software.

Key words: Floodway, flood control, sedimentation, morphology, river

PENDAHULUAN

Floodway Sedayu Lawas merupakan salah satu sarana bangunan pengendali banjir yang ada di Bengawan Solo. *Floodway* Sedayu Lawas mempunyai panjang 12,65 km dengan lebar alur mencapai 100 m. Kemiringan dasar sungai yang landai sebesar 0,0002433 atau 1/4110 dengan kecepatan aliran rata-rata 1,95 m/det pada debit 512 m³/det, menyebabkan aliran *floodway* menjadi tidak terlalu lancar. Hal inilah yang mempengaruhi terjadinya sedimentasi pada alur Sedayu Lawas. Adanya bendung karet pada bagian hilir saluran Sedayu Lawas juga mengurangi kecepatan aliran.

Hasil kajian lapangan menunjukkan bahwa setelah lebih dari 10 tahun pasca pembangunannya, terdapat beberapa permasalahan terutama adanya endapan sedimen yang terjadi di sepanjang *floodway*, sehingga mengurangi kapasitas alur. Akibatnya *floodway* yang direncanakan untuk mengalihkan debit banjir pada debit tertentu 640m³/det, tidak dapat berfungsi secara optimal. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan penelitian guna mengetahui penyebabnya. Makalah ini membahas mengenai analisis transpor sedimen *floodway* Sedayu lawas pasca pembangunan sampai saat ini.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya penumpukan sedimen di alur *floodway* setelah 10 tahun lebih pasca pembangunannya dan manfaat penelitian adalah untuk pengelola *floodway*, agar bisa mengetahui sedimentasi yang mungkin terjadi, sehingga bisa membuat perencanaan ke depan agar *floodway* bisa berfungsi sebagaimana yang direncanakan.

Lokasi *floodway* terletak desa Plangwot memanjang ke Utara sampai Laut Jawa di Desa Sedayu Lawas/ Brondong. (Gambar 1).

KAJIAN PUSTAKA

Karakteristik *floodway* Sedayu Lawas

Salah satu upaya rekayasa pengendalian/mengurangi banjir di daerah Bengawan Solo hilir adalah dengan membangun saluran pelimpah banjir (*floodway*) yang berfungsi untuk mengalihkan sebagian aliran banjir Bengawan Solo dari Desa Plangwot ke utara sampai Laut Jawa di Desa Sedayu Lawas. Pembangunan *floodway* telah diawali pada abad ke 19 dengan membuat saluran sepanjang 12,65 km dari Plangwot dekat Kota Babat ke Sedayu Lawas. Pembangunan *floodway* beserta bangunan pelengkap secara bertahap

dimulai kembali pada tahun 1996 dan selesai serta berfungsi pada tahun 1998. Pembangunan termasuk pelaksanaan *marine excavation* untuk membentuk alur di dalam jeti yang lebarnya 100 m serta panjang 1 km selesai dilaksanakan tahun 2000. Lebar dasar *floodway* pada awalnya adalah 25 m yang dapat mengalirkan debit 125 m³/det dan kemudian ditingkatkan menjadi 100 meter untuk debit 640 m³/det. Panjang *floodway* 12,65 km dengan kemiringan dasar saluran 1/4110. Bendung karet yang terletak 3,1 km di hulu muara, terdiri dari 4 span masing-masing dengan lebar 25 m serta tinggi 3 m. Lihat profil memanjang *floodway* Sedayu Lawas (Gambar 2)(*Nippon Koei Co, LTD. "Operation and Maintenance For Lower" April 1994*).

Data Teknis *Floodway* Sedayu Lawas

- 1 Panjang *Floodway* ± 12,300 km;
- 2 Lebar alur 100,00 m;
- 3 Kemiringan dasar sungai (i) 0,0002433 atau 1/4110;
- 4 Kemiringan tebing sungai 1/1,50 dan 1/2,0;
- 5 Debit rencana 640m³/det.

Bangunan *Inlet*:

- 1 Bentuk pintu, *stop lock* (pintu angkat);
- 2 Lebar pintu 3 X 12,50 m;
- 3 Lebar pintu pembilas 1 x 2,00 m.

Bendung Karet (*Rubber Dam*)

- 1 Lebar bendung karet 4 x 25,00 m;
- 2 Tinggi bendung karet 3,00 m;
- 3 Bentuk pilar, prisma dengan tebal bagian bawah 5,00 m dan tebal bagian atas 1,667 m.

Tujuan dari bangunan *floodway* ini adalah untuk menurunkan tinggi genangan, mengurangi lama genangan yang melanda permukiman, persawahan dan infrastruktur sehingga merugikan masyarakat. Tetapi dalam kenyataannya banjir setiap tahun masih terjadi, seolah-olah bangunan *floodway* kurang berfungsi untuk mengurangi genangan banjir di daerah Bengawan Solo hilir. Hal tersebut disebabkan adanya penumpukan sedimen yang cukup tinggi di badan saluran, dan juga longsoran tebing sehingga mengurangi kapasitas tampungnya (Gambar 3 dan 4).



Gambar 3 Penumpukan sedimen di alur sungai



Gambar 4 Longsoran tebing sungai

Tabel 1. Hasil erodibilitas tanah DAS Sedayu lawas

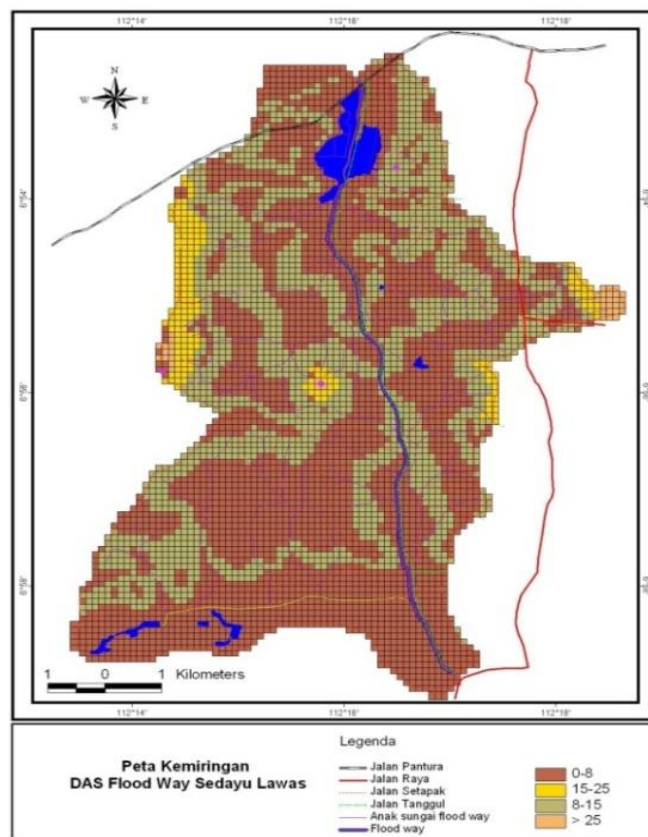
No	Kode	BV (g/cm ³)	BJ (g/cm ³)	Porositas %	Kap. Lapang %	KL. Max	TLP %	Permeabilitas (cm/jam)	Nilai K	Bo %	Tekstur %			
											Debu	Lempung	Pasir Halus	Pasir Kasar
1	1	1,22	2,15	43,26	35,55	71,02	12,14	0,53	0,30	3,69	45,61	33,38	9,45	11,55
2	2	1,24	2,22	44,14	33,62	73,55	10,55	0,79	0,30	3,56	40,16	35,09	11,14	13,62
3	3	1,18	2,23	47,08	34,22	73,58	11,62	0,66	0,23	3,63	55,95	16,57	12,37	15,12
4	4	1,15	2,19	47,49	35,15	72,56	12,14	0,69	0,23	3,43	57,25	20,54	9,99	12,21

Sumber Lab. Kimia dan Kesuburan Tanah Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta

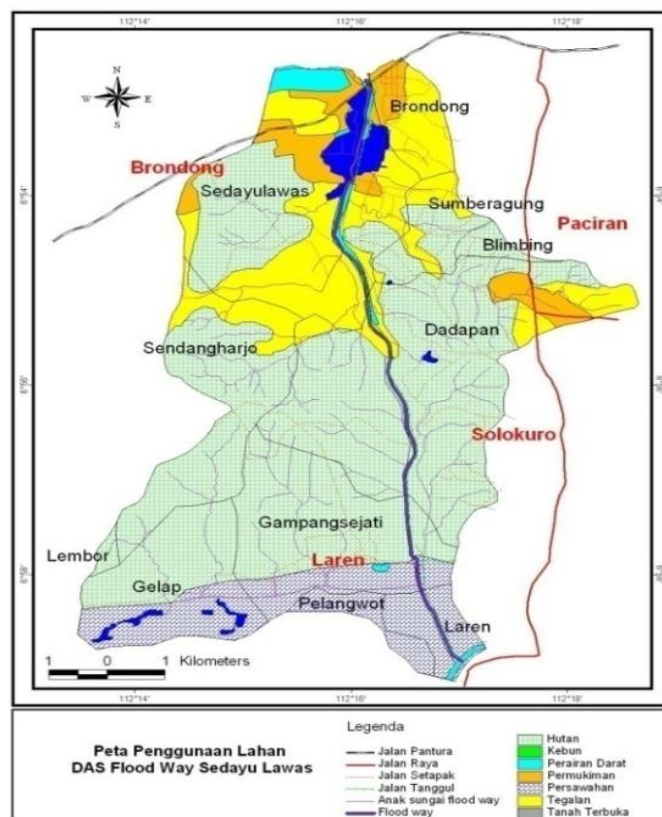
Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Sedayu Lawas

DAS Sedayu Lawas Sendiri mempunyai luas sebesar 5928,57 ha dengan kemiringan lereng rata-rata adalah 0.8% (Gambar 5). DAS Sedayu Lawas terdiri dari 9 desa yaitu Plangwot, Laren, Gelap, Gampangsejati, Dadapan, Sendangharjo, Sumberagung, Sedayu Lawas dan Brondong, terdiri dari 3 kecamatan yaitu Laren, Solopuro, Brondong. yang berada di daerah Kabupaten Lamongan Jawa Timur. Tata guna lahan yang terdapat pada DAS Sedayu Lawas terdiri pemukiman dengan luas sebesar 366,56 ha, hutan 3595,60 ha, sawah

787,35 ha, dan pertanian kering atau tegalan 1179,05 ha (Gambar 6). Jenis tanah pada DAS Sedayu lawas sendiri adalah *alluvial* dengan luas sebesar 2125,93 ha, *littosol* dengan luas 3773,36 ha, dan *mediteran* dengan luas 103,35 ha. Dari hasil erodibilitas tanah DAS Sedayu lawas didapatkan seperti Tabel 1. (Lab. Kimia dan tanah UNS 2012)



Gambar 5 Peta kemiringan lahan



Gambar 6. Peta penggunaan lahan

Perhitungan besarnya angkutan sedimen

Di dalam model ini terdapat tiga pilihan untuk menghitung angkutan sedimen sebagai berikut:

- 1 Angkutan dasar
- 2 Sedimen melayang dan angkutan dasar
- 3 Sedimen melayang

Untuk menghitung besarnya angkutan sedimen dasar digunakan rumus Meyer-Peter Muller's sebagai berikut (*International Course In Hydraulic Engineering, Sediment Transport 1, Delft 1981*)

$$Q_s = \phi \cdot (g \cdot \Delta \cdot d_m^3)^{1/2}$$

Keterangan:

Qs, Volume angkutan sediment per m lebar per satuan waktu (m³/dtk/m')

Φ, Suatu konstanta = f (Ψ') >>> Ψ' = $\frac{\mu \cdot R \cdot I}{\Delta \cdot d_m}$

dm, Diameter butiran

Δ, (ρs-ρw)/ρs

g, 9,81 m/dt²

ρw, berat jenis air

ρs, berat jenis sedimen

METODOLOGI

Pengumpulan Data

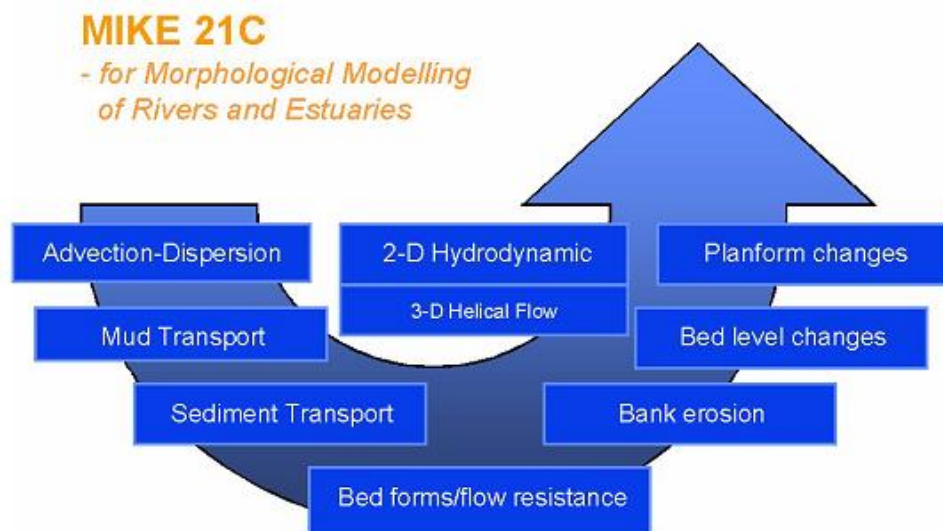
- 1 Pengumpulan data primer
 - Pengambilan sampel sedimen *suspended load*, dengan menggunakan peralatan sedimen sampel berupa botol aqua kapasitas 1,5 liter pada debit-debit

tertentu, diusahakan debit yang berbedabeda.

- Pengambilan sampel sedimen *bed load*, dengan mengambil langsung ke dasar sungai.
 - Pengambilan sampel tanah pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Sedayu Lawas dilakukan secara langsung.
- 2 Pengumpulan data sekunder
 - Pengumpulan data topografi, hidrologi, dan geometri, sesuai dengan kebutuhan, melalui koordinasi dengan instansi terkait.

Pengolahan/analisis data

Metodologi yang digunakan untuk menganalisis data sedimen adalah dengan pemodelan dua dimensi, menggunakan *software* Mike 21 *curve linear* (Mike 21 C). Mike 21C merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh DHI Grup di Denmark. Perangkat lunak ini difungsikan untuk menirukan keadaan seperti pada kenyataan di lapangan yang bertujuan untuk mengetahui dan memprediksikan apa yang terjadi pada sungai terutama perubahan morfologi sungai. Pada dasarnya perangkat lunak ini menggunakan 2 dimensi analisis, yakni arah vertikal dan arah horizontal. Untuk melakukan simulasi dibutuhkan data DEM (*Digital Elevation Model*) penampang melintang sungai, dengan grid *curve linier* agar dapat mendekati dengan keadaan aslinya. Uraian parameter tergambar pada Gambar 7 (referensi manual Mike 21C).



Gambar 7 Uraian parameter dari *Mike 21 C*

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Fenomena sedimen

Fenomena sedimen yang terjadi pada *floodway* dapat dibedakan dalam tiga penggal, dengan karakteristik yang spesifik, sebagai berikut:

- 1) Penggal kanal penghantar antara *inlet floodway* sampai dengan *inlet gate structure* sepanjang ± 250 meter
- 2) Penggal *floodway* antara *inlet gate structure* sampai dengan bendung karet sepanjang $\pm 9,3$ km, dan
- 3) Penggal *floodway* antara bendung karet sampai dengan muara atau alur jeti sepanjang $\pm 3,1$ km.

Perbedaan karakteristik ini disebabkan oleh tidak kontinunya atau terputusnya sistem aliran oleh adanya pembatas atau rintangan, dimana berpengaruh terhadap sifat hidraulik aliran dan kualitas air.

- a. Penggal kanal penghantar antara *inlet floodway* sampai dengan *inlet gate structure*.

Fenomena sedimen pada penggal ini sangat dipengaruhi oleh operasi pintu inlet. Perbedaan kecepatan aliran pada saat banjir sangat terlihat karena pintu hanya dibuka pada saat muka air $\geq 5,70$ m dimana pada saat itu kecepatan aliran cukup besar, namun bila muka air turun $\leq 5,70$ m maka pintu inlet ditutup sehingga terjadi genangan dimuka pintu inlet (V aliran = 0). Terhentinya aliran akan menyebabkan terjadinya pengendapan sedimen suspensi dipenggal ini, sebab konsentrasi sedimen suspensi relatif cukup tinggi. Pengendapan sedimen ini menjadi permasalahan tersendiri karena operasi bukaan pintu yang diharapkan dapat menggelontor sedimen, hanya dilakukan pada saat muka air tinggi saja. Ketebalan endapan ini makin lama makin bertambah sehubungan fluktuasi muka air di depan *inlet* pada elevasi ≤ 5.70 meter. Endapan sedimen suspensi lebih tampak secara visual pada daerah tikungan dalam, tepat di mulut *inlet* yang menghadap Bengawan Solo.

- b. Penggal *floodway* antara *inlet gate structure* sampai dengan bendung karet.

Floodway pada penggal ini mempunyai dua fungsi antara lain untuk mengalirkan air banjir di musim hujan serta menampung air di musim kemarau dengan cara mengembangkan bendung karet sehingga

terjadi *long storage*. Fungsi pertama yaitu mengalirkan air banjir sudah difungsikan sesuai dengan pola operasinya (SOP) yang ada. Dengan kemiringan dasar adalah $4x 10^{-4}$, maka aliran akan mampu mengalirkan debit banjir $365 \text{ m}^3/\text{det}$. sehingga degradasi dasar *floodway* pada penggal ini bisa terjadi. Bendung karet yang dibangun di akhir penggal ini sekaligus berfungsi sebagai ambang dasar atau *ground sill* dalam mempertahankan kemiringan yang ada.

- c. Seperti halnya dengan butir a, dengan terhentinya aliran terjadi pengendapan sedimen suspensi pada penggal ini sebab konsentrasi sedimen suspensi relatif cukup tinggi.

Penggal *floodway* antara bendung karet sampai dengan muara atau alur jeti.

Floodway pada penggal ini sangat dipengaruhi oleh pasang surut laut serta perubahan air asin ke air tawar dan sebaliknya. Pada penggal ini dibangun pula *drop structure* untuk mengurangi energi, sehingga erosi dasar dapat lebih terkendali. Pada penggal ini dibangun jeti menyorok ke laut sepanjang ± 1 km, untuk mendorong sedimen ke laut lepas sehingga masalah penutupan muara dapat dihindari.

1 Hasil sampel sedimen

- 1) *Suspended load*

Suspended load atau sedimen melayang adalah salah satu material yang terangkut oleh aliran yang menyebabkan terjadinya sedimentasi di sungai. Hasil analisis *suspended load* ditunjukkan dalam Tabel 2, dan hubungan *suspended load* dengan debit ditunjukkan pada Gambar 8.

- 2) *Bed load material*

Partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bedload material*). Gerakan tersebut bisa bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Di bagian hulu sungai, muatan sedimen dasar umumnya merupakan bagian terbesar dari seluruh jumlah angkutan sedimen. Kualitas dan kuantitas material yang terbawa oleh aliran sepanjang dasar sungai tergantung dari penyebaran erosi di daerah pegunungan dan juga tergantung dari derajat kemiringan lereng, struktur geologi dan vegetasi.

Rumus MPM (*Meyer-Peter Muller's*)

Data I Floodway = 1/4010 di atas bendung karet

D50 = 0,10 mm
 D65 = 0,15 mm
 D90 = 0,23 mm
 ρsed = 2650 Kg/m³
 Temperatur rata-rata = 20°C
 ρw = 1000 Kg/m³

Dari grafik analisis bedload floodway Tahun 2011 Balai Sungai

Rumus :

$$Q_s = \Phi \cdot (g \cdot \Delta \cdot d m^3)^{1/2}$$

$$\Phi = (4 \cdot \Psi' - 0,188)^{3/2}$$

$$\Psi' = \frac{\mu \cdot R \cdot I}{\Delta \cdot d m}$$

$$\Delta = \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w}$$

$$\mu = (\text{Ripel factor}) = \frac{C}{C'}^{2/3}$$

$$C' = 18 \log 12 \cdot R/d90$$

$$C = \frac{\bar{u}}{(R \cdot I)^{1/2}}$$

Qs, Volume angkutan sediment per m lebar per satuan waktu (m³/dtk/m')

Φ, Suatu konstanta = f (Ψ')

μ, Ripel factor

d, Diameter butiran

Analisis *Bedload floodway*

Q banjir mengalir ke floodway 200 m³/dtk

Dimensi tampang melintang sungai sebagai berikut:

- Nilai koefisien Manning (n) diambil 0,021

$$I = \frac{1}{4010}$$

$$Q = A \times V$$

$$A = (b + m \times h) \times h$$

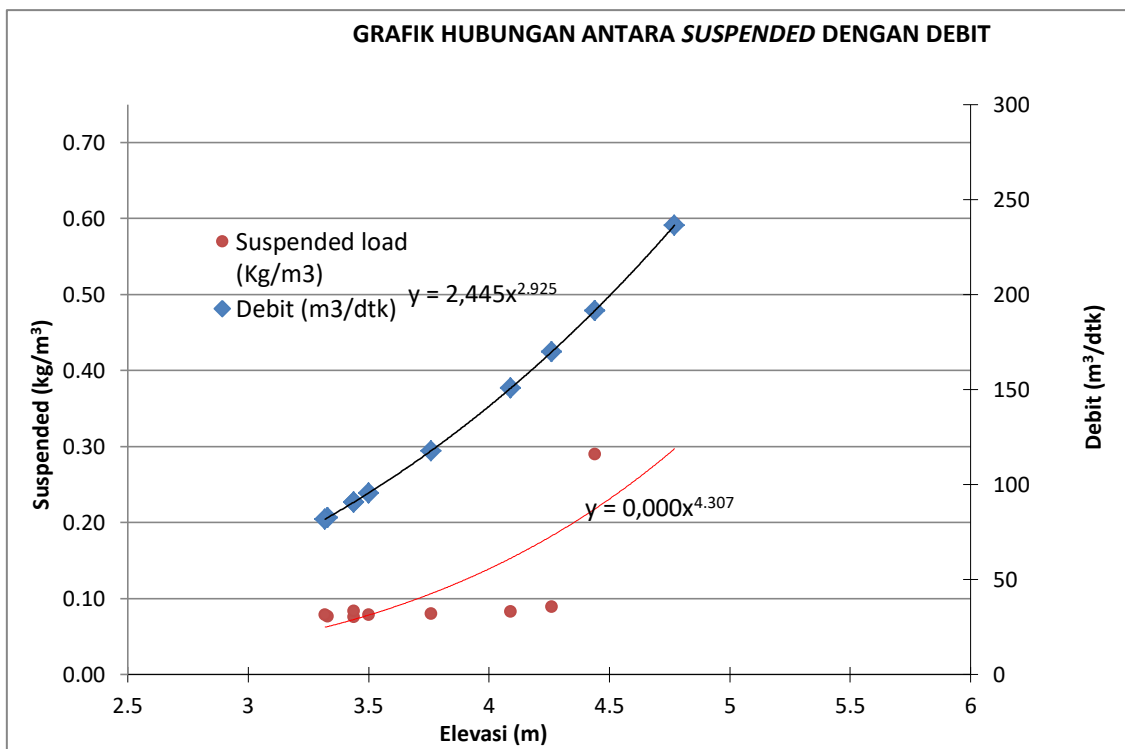
$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{(2\sqrt{m^2 + 1} - m)h^2}{(2\sqrt{m^2 + 1} - m)h + (2\sqrt{m^2 + 1} - m)}$$

$$= \frac{h^2}{2h} = \frac{h}{2}$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Keterangan:



Sumber: Hasil analisis

Gambar 8 Grafik hubungan antara suspensi dengan debit

Analisis Angkutan Sedimen Floodway Sedayu Lawas...(Sarwono; Harianto; Ibnu Suprianto)

Tabel 2 Pengukuran *suspended load*

No	Pengamatan						Volume Sampel (ltr/cc)	Berat Filter (gram)	Berat Filter + Butiran Kering (gram)	Berat Butiran Sampel Kering (gram)	Konsentrasi (gram/ltr)	Konsentrasi (gram/m ³)
	Pos	Titik	Tanggal	Jam (Wib)	TMA (m)	Debit (m ³ /dtk)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Titik 1	Ki	8/2/2012	14.17	3,76	117,85	1000 ml/cc	2,10	2,87	0,77	0,08	77
		As					1000 ml/cc	2,15	3,01	0,86	0,09	86
		Ka					1000 ml/cc	1,99	2,77	0,78	0,08	78
	Rata rata										0,08	80,33
2	Titik 2	Ki	8/2/2012	14.50	3,5	95,56	1000 ml/cc	2,06	2,82	0,76	0,08	76
		As					1000 ml/cc	2,06	2,90	0,84	0,08	84
		Ka					1000 ml/cc	2,10	2,87	0,77	0,08	77
	Rata rata										0,08	79,00
3	Pintu Floodway	Ki	9/2/2012	07.05	3,44	90,85	1000 ml/cc	2,08	2,96	0,88	0,09	88
		As					1000 ml/cc	2,15	3,07	0,92	0,09	92
		Ka					1000 ml/cc	2,14	3,17	1,03	0,10	103
	Rata rata										0,09	94,33
4	Jembatan	Ki	9/2/2012	08.11	3,44	90,85	1000 ml/cc	2,12	3,21	1,09	0,11	109
		As					1000 ml/cc	2,12	3,15	1,03	0,10	103
		Ka					1000 ml/cc	2,14	2,77	0,63	0,06	63
	Rata rata										0,09	91,67
5	Jembatan	Ki	9/2/2012	13.00	3,33	82,60	1000 ml/cc	2,16	2,85	0,69	0,07	69
		As					1000 ml/cc	2,15	3,00	0,85	0,09	85
		Ka					1000 ml/cc	2,17	3,11	0,94	0,09	94
	Rata rata										0,08	82,67
6	Pintu Floodway	Ki	9/2/2012	14.13	3,32	81,88	1000 ml/cc	8,33	9,27	0,94	0,09	94
		As					1000 ml/cc	2,03	2,86	0,83	0,08	83
		Ka					1000 ml/cc	2,00	2,76	0,76	0,08	76
	Rata rata										0,08	84,33
7	Pintu Floodway	Ki	24/2/2012	00.06	4,09	150,74	1000 ml/cc	4,48	5,31	0,83	0,08	83
		As					1000 ml/cc	4,48	5,31	0,83	0,08	83
		Ka					1000 ml/cc	4,48	5,31	0,83	0,08	83
	Rata rata										0,08	83,00
8	Pintu Floodway	Ki	24/2/2012	15.00	4,26	169,81	1000 ml/cc	4,47	5,36	0,89	0,09	89
		As					1000 ml/cc	4,47	5,36	0,89	0,09	89
		Ka					1000 ml/cc	4,47	5,36	0,89	0,09	89
	Rata rata										0,09	89,00
9	Pintu Floodway	Ki	28/2/2012	21.00	4,44	191,67	1000 ml/cc	4,50	7,40	2,90	0,29	290
		As					1000 ml/cc	4,50	7,40	2,90	0,29	290
		Ka					1000 ml/cc	4,50	7,40	2,90	0,29	290
	Rata rata										0,29	290,00
10	Pintu Floodway	Ki	6/4/2012	23.00	4,77	236,40	1000 ml/cc	6,41	12,35	5,94	0,59	594
		As					1000 ml/cc	6,41	12,35	5,94	0,59	594
		Ka					1000 ml/cc	6,41	12,35	5,94	0,59	594
	Rata rata										0,59	594,00

Sumber: Hasil analisa

Perhitungan *bedload* bawah pintu air *Floodway* untuk debit 200m³/dtk :

$$Q = (b + m x h) x h x \frac{1}{n} x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x I^{\frac{1}{2}} \rightarrow R$$

$$= h \rightarrow B \sim$$

$$200 = (100 + 0,5 x h) x h x \frac{1}{0,021} x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{1}{4010}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$200 = (100 + 0,5h) x h x 47,619 x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x 0,0002494^{\frac{1}{2}}$$

$$200 = (100h + 0,5h^2) x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x 0,7520184497$$

$$(200 - 0,7520184497) = (100h + 0,5h^2) x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$199,2479816 = (100h + 0,5h^2) x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Dengan *trial and error* didapatkan nilai h sebesar 1,984m

$$R = h = 1,984m$$

$$\bar{u} = V = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x I^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{0,021} x (1,984)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{1}{4010}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{u} = 0,922 \text{ m/s}$$

$$C = \frac{\bar{u}}{(R x I)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{0,922}{(1,984 x \frac{1}{4010})^{\frac{1}{2}}}$$

$$C = 42,173 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{dtk}$$

$$C' = 18 \log 12 x \left(\frac{R}{d90}\right)$$

$$C' = 18 \log 12 x \left(\frac{1,984}{2,3 x 10^{-4}}\right)$$

$$C' = 90,007 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{dtk}$$

$$\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mu = \left(\frac{42,173}{90,007}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mu = 0,321$$

$$\Psi' = \frac{\mu x h x I}{\Delta x dm}$$

$$\Psi' = \left(\frac{0,321 x 1,984 x \frac{1}{4010}}{1,65 x (1,5 x 10^{-4})}\right)$$

$$\Psi' = 0,641$$

$$\phi = (4 x \Psi' - 0,188)^{\frac{3}{2}}$$

$$\phi = (4 x 0,641 - 0,188)^{\frac{3}{2}}$$

$$\phi = 3,663$$

$$Q_s = \phi x (\Delta x g x dm^3)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_s = 3,663 x (1,65 x 9,81 x (1,5 x 10^{-4})^3)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_s = 2,707 x 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$$

Perhitungan *Bedload* atas bendung karet untuk debit 200m³/dtk :

- Nilai koefisien *Manning* (n) Diambil 0,021

$$I = \frac{1}{4110}$$

$$Q = (b + m x h) x h x \frac{1}{n} x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x I^{\frac{1}{2}} \rightarrow R = h \rightarrow B \sim$$

$$200 = (100 + 0,5 x h) x h x \frac{1}{0,021} x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{1}{4110}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$200$$

$$= (100 + 0,5h) x h x 47,619 x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} x 0,000243309^{\frac{1}{2}}$$

$$200 = (100h + 0,5h^2) x \frac{h^{\frac{2}{3}}}{2} x 0,7427785609$$

$$(200 - 0,7427785609) = (100h + 0,5h^2) x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$199,2479816 = (100h + 0,5h^2) x \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Dengan *trial and error* didapatkan nilai h sebesar 1,984m

$$R = h = 1,984m$$

$$\bar{u} = V = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x I^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{0,021} x (1,984)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{1}{4110}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{u} = 0,912 \text{ m/s}$$

$$C = \frac{\bar{u}}{(R x I)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{0,912}{(1,984 x \frac{1}{4110})^{\frac{1}{2}}}$$

$$C = 42,174 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{dtk}$$

$$C' = 18 \log 12 x \left(\frac{R}{d90}\right)$$

$$C' = 18 \log 12 x \left(\frac{1,984}{2,3 x 10^{-4}}\right)$$

$$C' = 90,007 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{dtk}$$

$$\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mu = \left(\frac{42,174}{90,007}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mu = 0,321$$

$$\Psi' = \frac{\mu x h x I}{\Delta x dm}$$

$$\Psi' = \left(\frac{0,321 x 1,984 x \frac{1}{4110}}{1,65 x (1,5 x 10^{-4})}\right)$$

$$\Psi' = 0,627$$

$$\phi = (4 x \Psi' - 0,188)^{\frac{3}{2}}$$

$$\phi = (4 x 0,627 - 0,188)^{\frac{3}{2}}$$

$$\phi = 3,534$$

$$Q_s = \phi x (\Delta x g x dm^3)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_s = 3,7534 x (1,65 x 9,81 x (1,5 x 10^{-4})^3)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_s = 2,612 x 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$$

Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 3 dan 4, gambar grafik hubungan antara debit dan sedimentasi disajikan dalam Gambar 9, komulatif sedimentasi di *floodway* Sedayu Lawas yang terjadi pada tahun 2011 disajikan dalam Gambar 10. Gambar 11 merupakan hasil *inflow* sedimen yang masuk dari Bengawan Solo, sedangkan pada

Gambar 12 merupakan gambaran *outflow* pada saat sedimentasi di bawah bendung karet. Konsentrasi sedimentasi di *floodway* dapat dilihat pada gambar 13 dengan konsentrasi sedimen sebesar 29,668 kg/m³, dengan letak konsentrasi kurang lebih 4 km dari mulut *inlet floodway*.

Tabel 3 Masukan *bedload* di atas Bendung karet

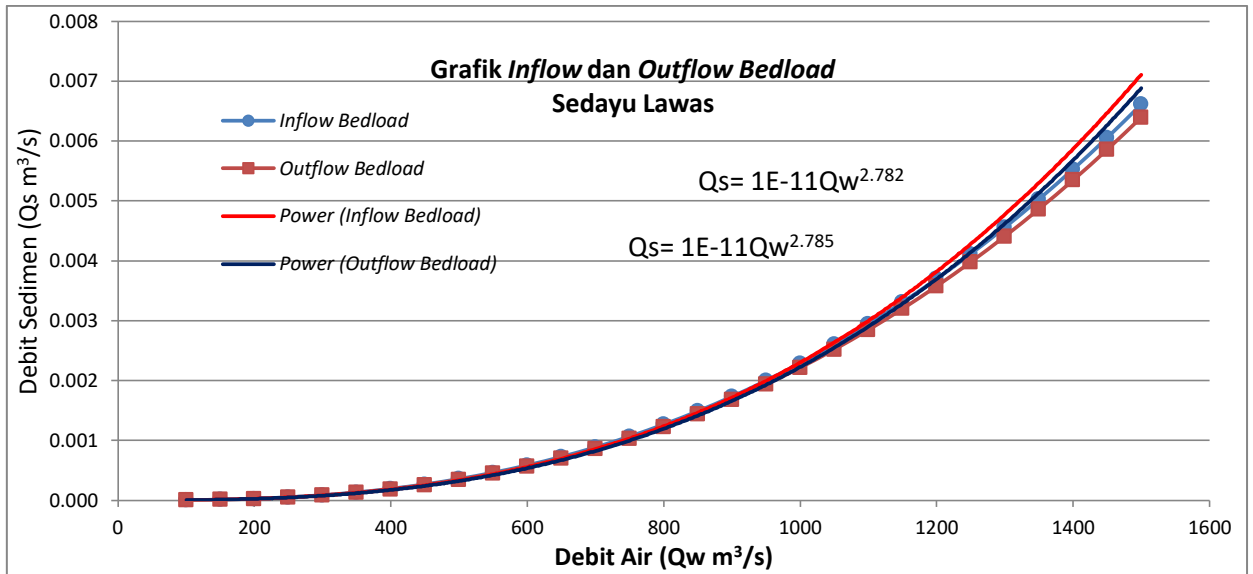
No	Qw	h	R	d90	dm	g	n	pSed	pAir	Δ	i	ū	c	c'	μ	Ψ'	φ	Qs (m ³ /s/m)
1	100	1,308	1,280	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	0,410	22,974	86,841	0,136	0,179	0,385	2,848E-06
2	200	1,984	1,918	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	0,922	42,173	90,007	0,321	0,641	3,663	2,707E-05
3	300	2,528	2,423	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	1,471	59,863	91,832	0,526	1,341	11,770	8,699E-05
4	400	3,001	2,855	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	2,042	76,554	93,114	0,745	2,254	26,232	1,939E-04
5	500	3,427	3,238	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	2,628	92,488	94,099	0,974	3,365	48,354	3,574E-04
6	600	3,820	3,586	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	3,224	107,810	94,898	1,211	4,660	79,274	5,859E-04
7	700	4,186	3,908	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	3,828	122,618	95,569	1,453	6,130	120,011	8,870E-04
8	800	4,531	4,207	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	4,437	136,981	96,146	1,701	7,764	171,483	1,267E-03
9	900	4,858	4,489	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	5,050	150,952	96,652	1,952	9,554	234,525	1,733E-03
10	1000	5,171	4,755	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	5,667	164,573	97,103	2,206	11,496	309,902	2,291E-03
11	1100	5,471	5,008	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	6,286	177,876	97,508	2,464	13,581	398,321	2,944E-03
12	1200	5,759	5,249	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	6,906	190,888	97,876	2,724	15,805	500,434	3,699E-03
13	1300	6,038	5,480	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	7,528	203,635	98,212	2,986	18,163	616,850	4,559E-03
14	1400	6,308	5,702	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	8,150	216,137	98,523	3,249	20,650	748,170	5,530E-03
15	1500	6,569	5,916	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000249	8,773	228,403	98,811	3,514	23,262	894,816	6,614E-03

Sumber: hasil analisis

Tabel 4. Masukan *bedload* di bawah Bendung karet

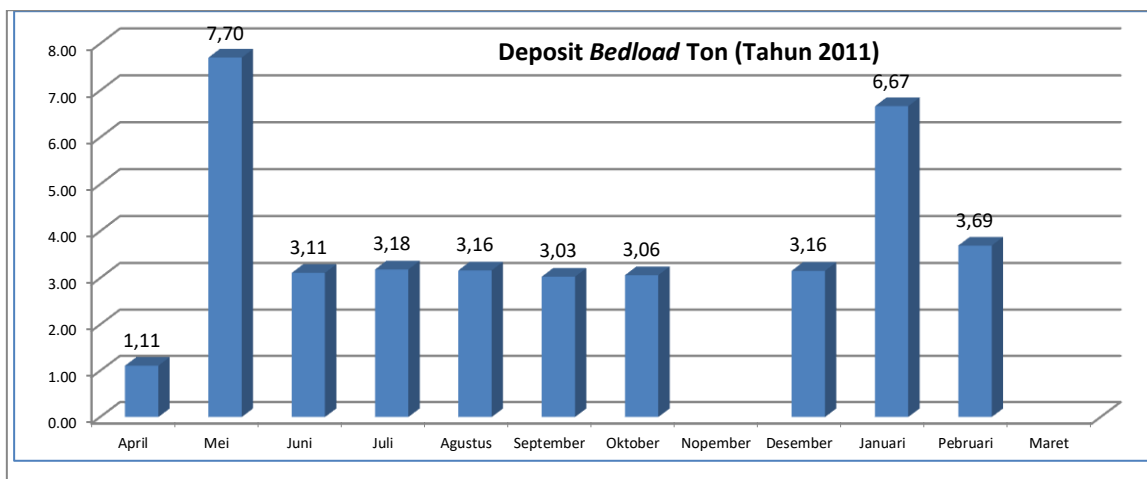
No	Qw	h	R	d90	dm	g	n	pSed	pAir	Δ	i	ū	c	c'	μ	Ψ'	φ	Qs (m ³ /s/m)
1	100	1,308	1,280	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	0,406	22,976	86,842	0,136	0,175	0,368	2,723E-06
3	200	1,984	1,918	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	0,912	42,174	90,007	0,321	0,627	3,534	2,612E-05
5	300	2,528	2,423	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	1,455	59,865	91,832	0,526	1,311	11,371	8,405E-05
7	400	3,001	2,855	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	2,020	76,555	93,114	0,745	2,205	25,357	1,874E-04
9	500	3,428	3,238	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	2,599	92,489	94,099	0,974	3,291	46,750	3,455E-04
11	600	3,820	3,586	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	3,189	107,812	94,898	1,211	4,558	76,655	5,666E-04
13	700	4,186	3,908	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	3,786	122,620	95,569	1,453	5,995	116,055	8,578E-04
15	800	4,531	4,207	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	4,388	136,983	96,146	1,701	7,593	165,839	1,226E-03
17	900	4,858	4,489	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	4,995	150,954	96,652	1,952	9,345	226,814	1,676E-03
19	1000	5,171	4,755	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	5,604	164,574	97,103	2,206	11,244	299,720	2,215E-03
21	1100	5,471	5,008	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	6,217	177,877	97,508	2,464	13,283	385,241	2,847E-03
23	1200	5,759	5,249	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	6,830	190,890	97,876	2,724	15,458	484,009	3,577E-03
25	1300	6,038	5,480	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	7,445	203,636	98,212	2,986	17,764	596,610	4,410E-03
27	1400	6,308	5,702	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	8,060	216,135	98,523	3,249	20,197	723,593	5,348E-03
29	1500	6,569	5,916	0,00023	0,00015	9,81	0,021	2650	1000	1,65	0,000244	8,676	228,404	98,811	3,514	22,751	865,469	6,397E-03

Sumber: hasil analisis



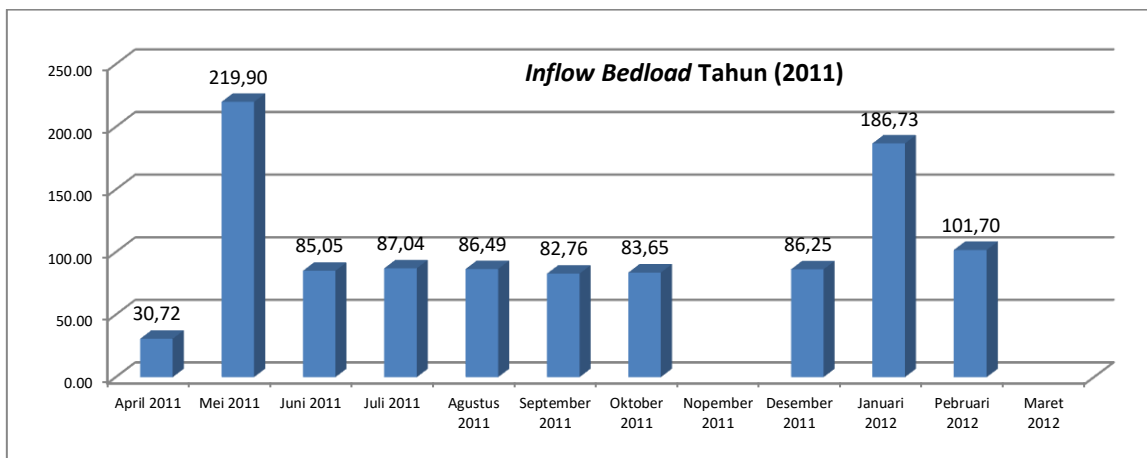
Sumber: hasil analisis

Gambar 9 Grafik hubungan debit dengan *bedload*



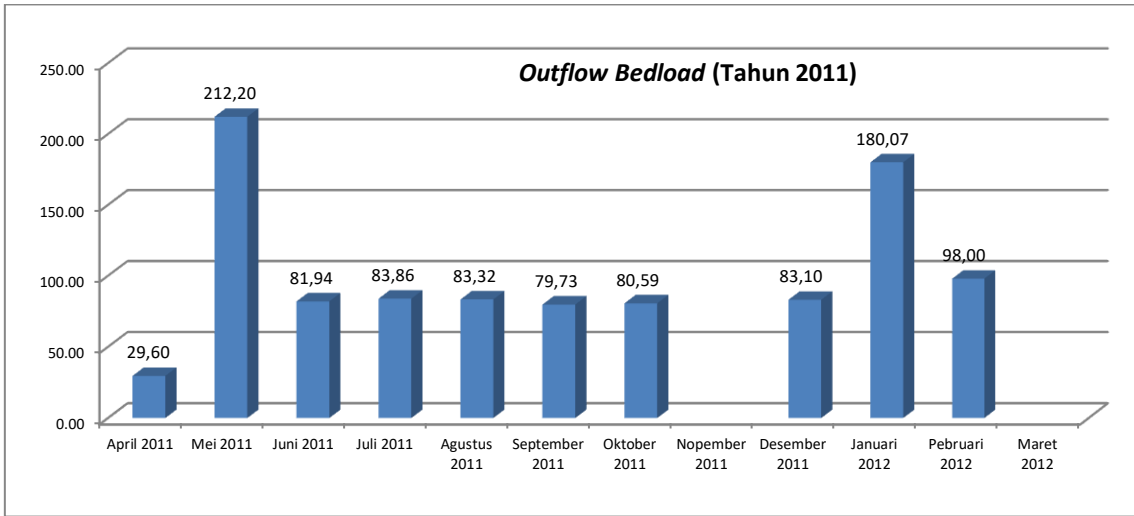
Sumber: hasil analisis

Gambar 10 Deposit *bedload* pada Sedayu Lawas



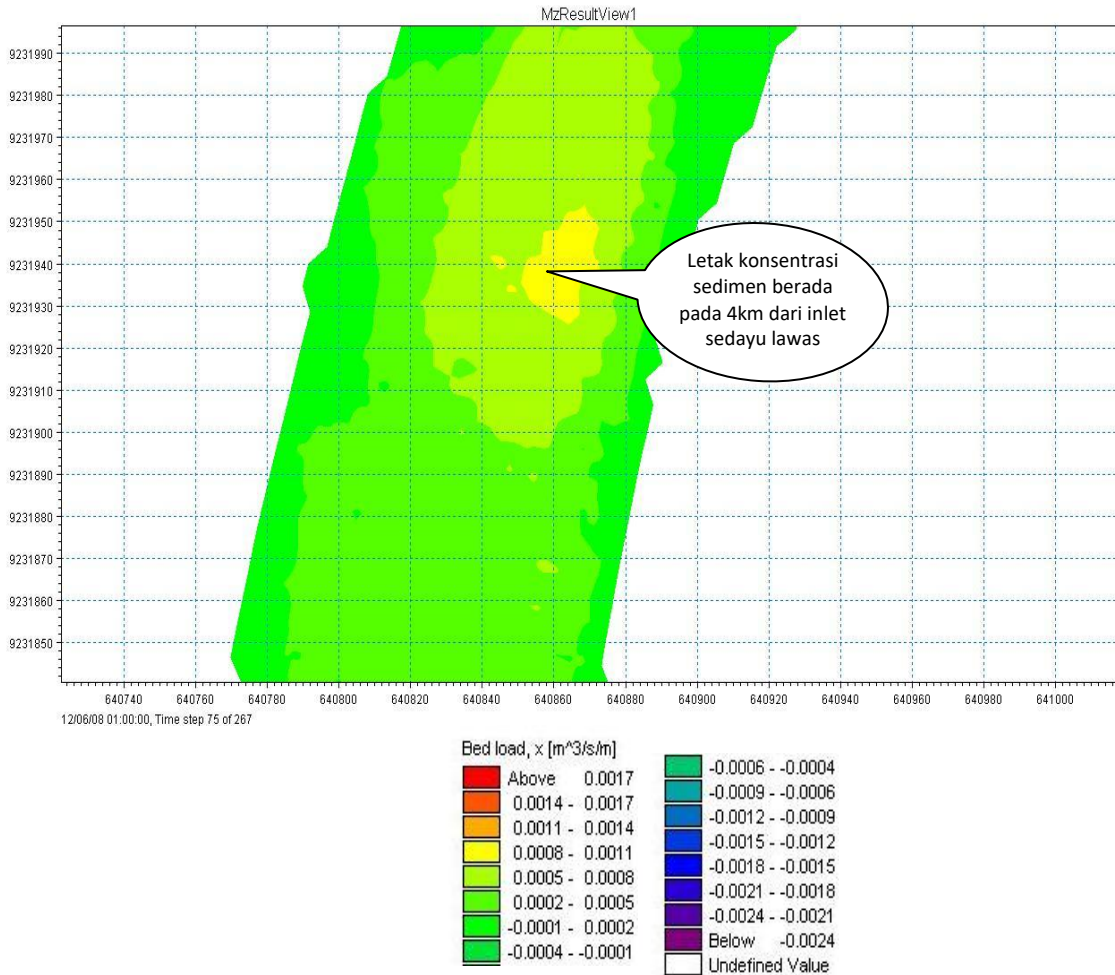
Sumber: hasil analisis

Gambar 11 Inflow *bedload* pada Sedayu Lawas



Sumber: hasil analisis

Gambar 12 Outflow bedload pada Sedayu Lawas



Sumber: hasil analisis

Gambar 13 Hasil simulasi Mike 21C

KESIMPULAN

Dari uraian hasil analisis dan pembahasan tersebut di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Kemiringan dasar *floodway* sebesar 1/4110 menyebabkan aliran *floodway* menjadi tidak lancar, hal inilah yang memengaruhi terjadinya sedimentasi pada alur Sedayu Lawas.

Terjadinya penumpukan sedimen khususnya penggal inlet *floodway* sampai dengan lokasi bendung karet, menyebabkan menurunnya kapasitas tampungan *floodway* dan mengakibatkan terjadinya perubahan morfologi *floodway*.

Berdasarkan hasil erodibilitas tanah DAS Sedayu Lawas yang dilakukan oleh Lab. Kimia dan kesuburan tanah UNS menunjukkan bahwa jenis tanah yang dominan adalah *littosol*, dimana 2/3 bagian luas DAS, jenis tanah ini mudah longsor apabila kena air dan mudah retak kalau kena panas.

Nilai konsentrasi sedimentasi pada *floodway* Sedayu Lawas sebesar 29,668 kg/m³, dengan konsentrasi sedimen terletak pada ± 4 km dari *inlet* Sedayu Lawas.

Deposit pada saluran Sedayu lawas sebesar 37,88 ton/tahun dengan sedimentasi yang melewati saluran tersebut sebesar 1050,30 ton/tahun.

Kecenderungan debit yang melewati saluran Sedayu Lawas bergeser dari Januari ke Mei sehingga deposit terbesar terjadi pada bulan Mei tahun 2011 (hasil analisa).

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Sungai. Desember 2011. *Penelitian Model Pengelolaan Bencana Banjir di DAS Bengawan Solo*.
- Nippon Koei Co. LTD. In Association with PT INDAH KARYA, PT BINA KARYA, PT BARUNADRI.
- Ministry of Public Work. Januari 1994. *Lower Solo River Improvement Project, Comparative Study Report on Jabung Retarding Basin and North Diversion Floodway Integrated Study*. Directorate General of Water Resources Development, Ministry of Public Works, Government of Indonesia.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. 2002. *Kriteria Desain Bangunan Bendang Banjir*.
- Suwarno. 1991. *Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*.
- TKPSDA Wilayah Sungai Bengawan Solo. Agustus 2009. *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada seluruh tim penelitian "Pengelolaan bencana banjir di Bengawan Solo" dan semua pihak yang telah membantu sehingga terwujudnya tulisan ini.