

Studi Angkutan Sedimen Sudetan Pelangwot-Sedayu Lawas Sungai Bengawan Solo

Chandra Murprabowo Mudjib dan Umboro Lasminto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: umboro_hydro@yahoo.com

Abstrak—Sungai Bengawan Solo merupakan salah satu sungai terpanjang di Indonesia yang mengalir mulai dari area hulu di Kabupaten Wonogiri dan Ponorogo hingga ke area hilir di Kabupaten Gresik. Perubahan fungsi lahan di area hulu dan peningkatan debit yang melalui Sungai Bengawan Solo membuat banjir terjadi di area hilir sungai yakni di Kabupaten Bojonegoro dan Kabupaten Gresik. Sudetan Pelangwot sepanjang 13 km merupakan saluran yang dibuat untuk mengurangi debit banjir yang terjadi dengan mengalirkannya ke laut Jawa. Namun dikarenakan pendangkalan yang terjadi akibat sedimentasi, kapasitas Sudetan Pelangwot dalam mengalirkan debit menurun.

Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa sedimentasi yang terjadi pada sudetan Pelangwot dengan menggunakan program bantu HEC-RAS 4.1.0 Konsep yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah dengan memodelkan Sudetan Pelangwot menggunakan program HEC-RAS 4.1.0 kemudian melakukan simulasi aliran sudetan untuk mengetahui sedimentasi yang terjadi.

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1.0 diketahui perkiraan volume sedimentasi yang terjadi di sudetan selama musim penghujan dari tanggal 1 Desember 2010 hingga 21 Mei 2011 adalah sebesar 325.030,23 m³. Agradasi terjadi di sebagian besar penampang sudetan sedangkan degradasi hanya terjadi di beberapa titik. Kantong sedimen dapat dibuat sebagai upaya pengendalian sedimen pada dasar saluran sudetan di tiga titik yang berbeda dengan kapasitas total 175.875 m³. Pemeliharaan kantong sedimen dilakukan setiap 3 bulan sekali dengan melakukan pengerukan pada kantong sedimen.

Kata Kunci—sedimentasi, sungai, sudetan, pelangwot, HEC-RAS

I. PENDAHULUAN

SUNGAI Bengawan Solo merupakan salah satu sungai terpanjang di Indonesia yang mengalir mulai dari area hulunya di Wonogiri dan Ponorogo hingga bermuara di daerah Gresik. Sungai Bengawan Solo merupakan sungai yang penting bagi kehidupan masyarakat yang bermukim di sepanjang sungai tersebut. Aktivitas yang berlangsung di sepanjang Sungai Bengawan Solo antara lain kegiatan industri, pertanian, pemanfaatan air untuk kebutuhan sehari-hari, dan peternakan.

Dikarenakan curah hujan yang tinggi di bagian hulu dan juga berubahnya fungsi lahan di area Wonogiri dan Ponorogo, Sungai Bengawan Solo mengalami banjir di bagian hilir khususnya di wilayah Bojonegoro, Tuban, Lamongan dan

Gresik. Selain disebabkan oleh debit yang meningkat dari area hulu, banjir Sungai Bengawan Solo juga disebabkan oleh sedimentasi yang terjadi. Angkutan sedimen yang terdapat pada aliran Sungai Bengawan Solo merupakan sedimen yang berasal dari Waduk Gajah Mungkur dan Sungai Madiun yang bertemu di kawasan Ngawi. Adanya sedimentasi menyebabkan kapasitas Sungai Bengawan Solo di bagian hilir berkurang.

Meningkatnya debit Sungai Bengawan Solo di bagian hilir membuat wilayah-wilayah yang dilaluinya terendam banjir dan mengakibatkan aktivitas ekonomi masyarakat menjadi terganggu. Ketinggian air yang merendam area terbanjiri bisa mencapai 40-50 cm. Untuk mencegah terulangnya banjir akibat luapan debit Sungai Bengawan Solo, sudetan yang berlokasi di desa Pelangwot Kabupaten Lamongan dibangun untuk mengalihkan debit banjir dari Sungai Bengawan Solo seperti terlihat pada Gambar 1.1 Sudetan yang bermuara di Laut Jawa ini didesain dengan kapasitas debit 640 m³/dt. Dengan dibangunnya sudetan ini, diharapkan debit banjir yang terjadi di area hulu Sungai Bengawan Solo dapat dialihkan melalui Sudetan Pelangwot menuju Laut Jawa.

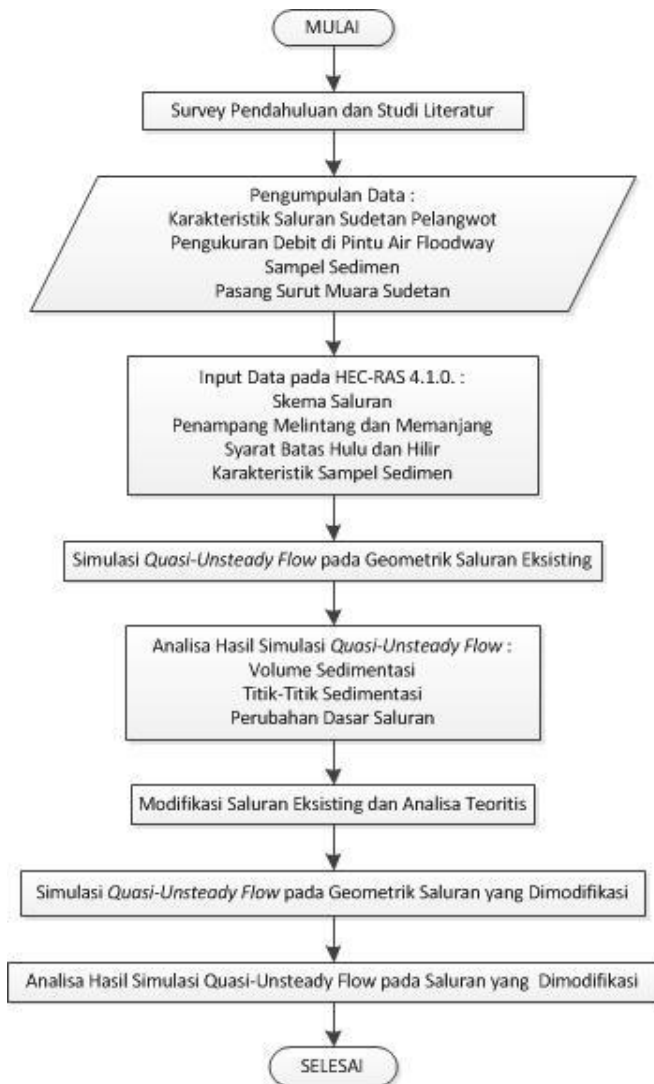
Namun dikarenakan sedimentasi yang terbawa oleh aliran Sungai Bengawan Solo di area hilir, Sudetan Pelangwot mengalami pendangkalan. Pendangkalan yang disebabkan oleh sedimentasi ini membuat kemampuan sudetan dalam mengalirkan debit dari Sungai Bengawan Solo berkurang.

Untuk mengatasi masalah pendangkalan yang terjadi di Sudetan Pelangwot akibat sedimentasi, diperlukan suatu studi untuk menganalisa kondisi sedimentasi yang terjadi di sudetan. Dengan menganalisa sedimentasi yang terjadi di sudetan dapat diketahui pola sedimentasi yang terjadi beserta dengan aktivitas pemeliharaan yang diperlukan untuk menjaga kapasitas sudetan tetap pada kondisi aslinya.

Adapun melalui tugas akhir ini, diharapkan dapat diketahui:

1. Volume angkutan sedimen yang masuk ke sudetan Pelangwot dari Sungai Bengawan Solo.
2. Titik-titik pada Sudetan Pelangwot yang mengalami erosi dan sedimentasi
3. Perubahan elevasi dasar saluran akibat sedimentasi di Sudetan Pelangwot.
4. Bagaimanakah aktivitas pemeliharaan sudetan yang sebaiknya dilakukan untuk menjaga kapasitas maksimum Sudetan Pelangwot ?

II. METODOLOGI



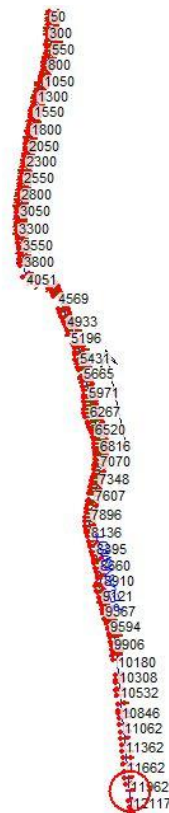
Gambar 1. Diagram Alir

Metodologi Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1.

III. PEMBAHASAN

A. Analisa Data

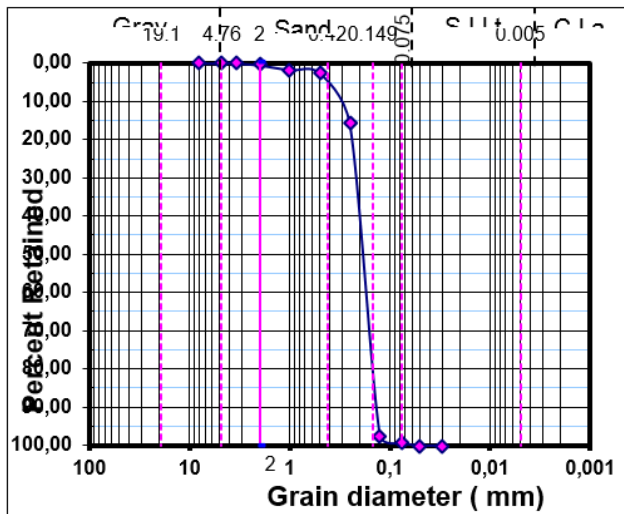
Simulasi yang dilakukan untuk mengetahui angkutan sedimen yang terjadi di Sudetan Pelangwot dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1.0 membutuhkan input data-data yang sesuai agar hasil simulasi dapat se-riil mungkin. Data-data yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi pada program HEC-RAS 4.1.0 antara lain data geometrik Sudetan Pelangwot yang meliputi gambar penampang melintang dan gambar penampang memanjang. Selain data geometrik, data hasil pencatatan debit yang masuk di pintu Floodway dan data catatan pasang surut di muara Sudetan Pelangwot juga dibutuhkan sebagai input syarat batas pada program HEC-RAS 4.1.0 Dan yang terakhir data sampel sedimen yang diambil langsung di lapangan untuk mengetahui karakteristik sedimen yang masuk di Sudetan Pelangwot.



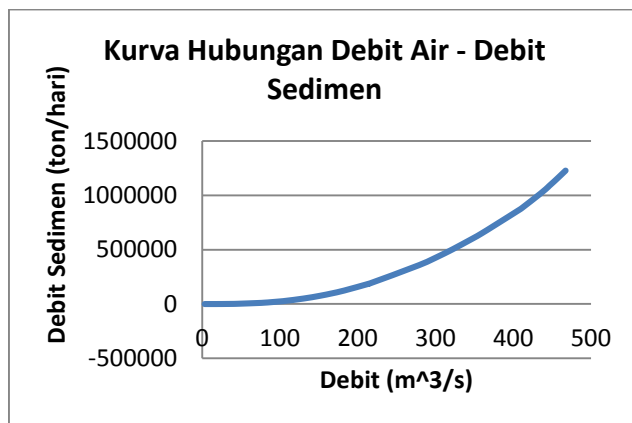
Gambar 2. Skema Sudetan Pelangwot pada HEC-RAS 4.1.0
Sumber : HEC-RAS 4.1.0

Data geometrik yang didapatkan digunakan untuk membuat model Sudetan Pelangwot sepanjang 12.3 km pada program HEC-RAS 4.1.0 Data geometrik yang meliputi gambar penampang melintang dan memanjang ini membentang dari titik STA +0.000 pada hilir Sudetan hingga STA +12.362 pada hulu Sudetan. Untuk input syarat batas pada hulu Sudetan Pelangwot ditetapkan pada titik STA +12.362 dengan menggunakan *flow series* atau catatan debit Sungai Bengawan Solo yang masuk ke dalam sudetan sebagai pilihan. Sedangkan untuk input syarat batas hilir dipilih opsi *stage series* atau catatan pasang surut permukaan laut di muara Sudetan Pelangwot. Tampak atas skema sudetan yang dimodelkan di program HEC-RAS 4.1.0 dapat dilihat pada gambar 2.

Data sedimen yang digunakan untuk permodelan angkutan sedimen dalam pengerjaan tugas akhir ini merupakan hasil analisa sampel sedimen yang diambil langsung di lokasi studi. Pengambilan sampel sedimen dilakukan menggunakan alat pengambil sampel sedimen di tiga titik di sepanjang Sudetan Pelangwot. Pengambilan dilakukan di jembatan-jembatan yang ada di sudetan yakni pada Jembatan C, Jembatan B dan Jembatan Busur di Sedayu Lawas Lamongan. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 12 Mei 2013 ketika masa peralihan dari musim hujan menuju musim kemarau. Pada gambar 3. dapat dilihat grafik hasil analisa ayakan untuk sampel yang diambil pada jembatan B, sedangkan untuk tabel prosentase butiran yang lolos untuk setiap ayakan dapat dilihat pada tabel 1.



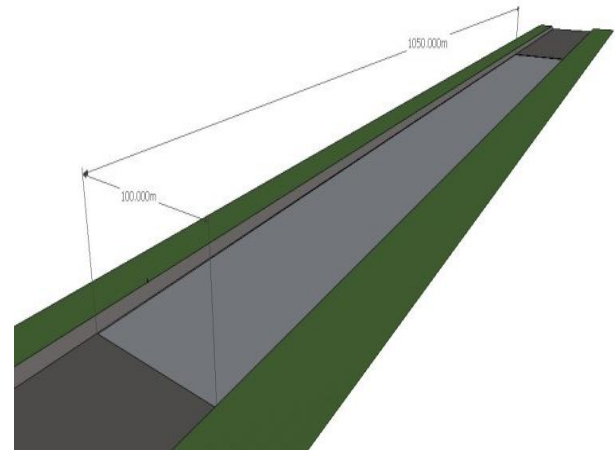
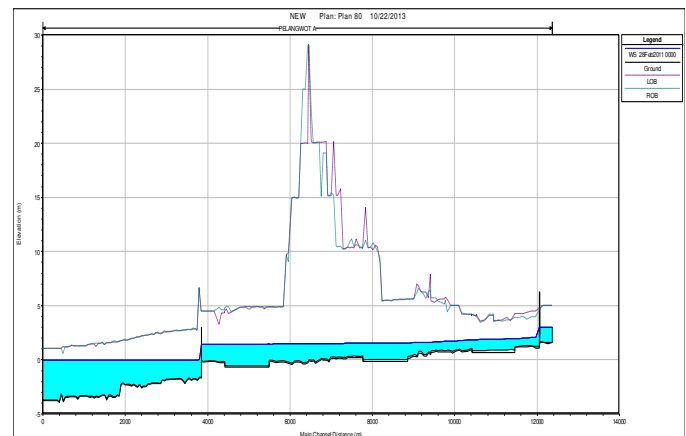
Gambar 3. Grafik Distribusi Ukuran Butiran Sampel Jembatan B

Gambar 4. Kurva Hubungan Debit Air dan Debit Sedimen
Sumber : Hasil Perhitungan

B. Simulasi Angkutan Sedimen

Analisa angkutan sedimen umumnya sangat sulit untuk dapat dilakukan secara akurat dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi proses sedimentasi di saluran. Pada saat yang sama, kalkulasi yang dilakukan memiliki keterbatasan dalam hal mengakomodasi kondisi-kondisi di lapangan yang begitu beragam. Oleh karenanya, rumus yang diciptakan untuk menghitung besarnya angkutan sedimen yang terjadi sangat banyak pula, menyesuaikan kondisi tempat studi dilakukan.

Dalam analisa angkutan sedimen, pemilihan *transport function* sangat menentukan kualitas dari hasil perhitungan. Hal ini dikarenakan setiap rumus umumnya dibuat berdasarkan kondisi-kondisi yang spesifik yang umumnya meliputi besaran debit yang ditinjau, ukuran butiran sedimen yang ada dan juga kemiringan dan kondisi geometrik salurannya. Sehingga dari sekian banyak *transport function* yang ada seperti Ackers-White, Engelund-Hansen, Yang dan lain-lain, akan dipilih beberapa *transport function* saja yang sesuai dengan karakteristik sampel sedimen dan kondisi geometrik Sudetan Pelangwot. *Transport function* yang diadopsi pada HEC-RAS 4.1.0 memiliki kondisi yang berbeda-beda agar dapat menghasilkan output yang optimum.

Gambar 5. Ilustrasi 3 Dimensi Kantong Sedimen di STA +11.462
Sumber : Ilustrasi PenulisGambar 6. Potongan Memanjang Sudetan Pelangwot dengan Penambahan Kantong Sedimen
Sumber : HEC-RAS 4.1.0

Dari analisa yang telah dilakukan dengan menggunakan *transport function* yang berbeda-beda, hasil simulasi *quasi-unsteady* pada HEC-RAS 4.1.0 menunjukkan hasil yang berbeda-beda pula. Hal ini disebabkan adanya perbedaan konsep yang digunakan oleh setiap rumus untuk menghitung besarnya angkutan sedimen yang terjadi. Namun harus dipilih hasil terbaik yang paling mewakili kondisi riil di lapangan dari hasil analisa yang telah dilakukan.

Dari ketiga *transport function* yang digunakan, ketiganya menunjukkan kecenderungan yang sama yakni adanya pengendapan atau aggradasi di sepanjang Sudetan Pelangwot. Degradasi terjadi hanya di beberapa titik saja khususnya di titik penampang melintang di hilir Pintu Air Floodway yakni pada STA +12.262. Perbandingan *output* hasil analisa angkutan sedimen dengan menggunakan *transport function* Acker-White, Engelund Hansen dan Yang dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil analisa *quasi-unsteady* dengan menggunakan *transport function* Acker-White dan Engelund Hansen menunjukkan angkutan sedimen yang lebih kecil dibandingkan dengan ketika menggunakan *transport function* Yang.

Tabel 1.
Prosentase Butiran Lolos Ayakan Sampel Jembatan B

Diameter (mm)	Tertahan			
	Berat		Prosentase	
	Total (gram)	Contoh (gram)	(%)	□ (%)
19.05	0	0	0.00	0.00
12.7	0	0	0.00	0.00
7.9	0	0	0.00	0.00
4.76	0	0	0.00	0.00
3.36	0	0.00	0.00	0.00
2	10.5	1.50	0.49	0.49
1	12.75	3.75	1.22	1.71
0.5	11.5	2.50	0.81	2.52
0.25	50	41.00	13.32	15.84
0.125	260	251.00	81.56	97.40
0.075	15	6.00	1.95	99.35
0.05	11	2.00	0.65	100.00
-0.03	0	0.00	0.00	100.00

Sumber : Hasil Perhitungan

Perubahan dasar saluran dalam bentuk degradasi tidak berbeda jauh nilainya antara dua *transport function* tersebut. Namun untuk parameter degradasi dan volume total *bed change* kumulatif yang terjadi, *transport function* Acker-White menghasilkan nilai yang lebih besar. Dimana untuk Acker-White volume total *bed change* yang terjadi mencapai 656.301,40 m³ sedangkan Engelund Hansen menghasilkan nilai 325.030,23 m³. Nilai yang dihasilkan oleh *transport function* Acker-White masih terlalu besar dibandingkan dengan kondisi riil di lapangan sehingga *output* yang dipilih untuk perencanaan pemeliharaan Sudetan Pelangwot adalah nilai yang dihasilkan *transport function* Engelund Hansen.

C. Perencanaan Pemeliharaan Sudetan

Dari hasil simulasi dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1.0 sebelumnya, diketahui besarnya debit angkutan sedimen atau *sediment discharge* yang masuk di setiap penampang melintang pada setiap periode simulasi. Dengan data debit yang digunakan sebagai kondisi batas hulu pada simulasi *quasi-unsteady flow*, kurva hubungan antara debit sedimen dan debit aliran air dapat dibuat seperti terlihat pada gambar 4. Kurva ini digunakan untuk mengetahui debit sedimen ketika debit aliran menyentuh level kritis.

Dengan tujuan untuk menangkap butiran-butiran sedimen pada titik-titik tertentu saja untuk mempermudah operasi pemeliharaan sedimen di sepanjang Sudetan Pelangwot, pada titik-titik yang mengalami degradasi cukup besar akan didesain kantong sedimen yang mampu menurunkan kecepatan aliran. Dengan menurunnya kecepatan aliran, diharapkan butiran sedimen dapat secara bertahap mengendap pada titik-titik kantong sedimen yang sudah direncanakan. Kantong sedimen akan didesain pada lokasi seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 2
Perbandingan *Output* Analisa *Quasi-Unsteady*

Transport Function	Total Volume <i>Bed Change</i> Kumulatif (m ³)	Perubahan Dasar Saluran Maximum (m)	Perubahan Dasar Saluran Minimum (m)
Acker-White	656.301,40	0.85	-0.25
Engelund Hansen	325.030,23	0.41	-0.20
Yang	1.384.853,18	2.78	-1.81

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.
Posisi dan Dimensi Kantong Sedimen

River Station	Lebar (m)	Kedalaman Asli (m)	Kedalaman yang Digali (m)
			0.5
STA + 11.462	105	4	1
			1.5
			0.5
STA + 8.855	110	5.8	1
			1.5
			0.5
STA + 4.907	120	5	1
			1.5

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada tabel 4. dapat dilihat presentase sedimen yang tertangkap di kantong sedimen untuk setiap kelas butiran yang menunjukkan efektifitas dimensi kantong sedimen yang berbeda-beda dalam menangkap sedimen yang terbawa oleh aliran. Dari hasil analisa teoritis seperti tampak pada tabel 4. terlihat bahwa dengan luasan penampang melintang yang semakin besar dapat meningkatkan presentase sedimen yang tertangkap di kantong. Pengaruh yang lebih signifikan terlihat ketika panjang kantong sedimen diperbesar hingga 1050 m. Untuk kedalaman yang sama sedalam 5.5 m, kantong sedimen sepanjang 350 m dapat menangkap 29.08 % *kerikil* sedangkan untuk kantong sedimen sepanjang 1050 m presentase *kerikil* yang tertangkap adalah sebesar 87.23%. Hal yang sama berlaku juga untuk butiran pasir dan lanau.

D. Permodelan Kantong Sedimen pada HEC-RAS 4.1.0

Dari hasil analisa teoritis, diketahui ragam dimensi-dimensi kantong sedimen dengan presentase tangkapan sedimennya masing-masing. Efektifitas kantong sedimen berlaku untuk satu jenis kelas butiran saja yakni *kerikil*, pasir atau lanau. Sedangkan pada kenyataannya di lapangan, sedimen yang terbawa oleh aliran sudetan terdiri dari campuran beberapa kelas butiran. Begitu juga untuk sedimen yang terbawa oleh aliran Sudetan Pelangwot, dimana komposisi butirannya adalah 90% pasir dengan sisanya merupakan campuran *kerikil* dan lanau.

Kantong sedimen yang akan dimodelkan pada HEC-RAS adalah kantong sedimen dengan kedalaman 0.5 m dan panjang 1050 m. Dimensi tersebut dipilih dengan pertimbangan dimensi tersebut adalah yang paling efisien untuk diterapkan di lapangan. Efektifitas tangkapan cenderung meningkat relatif kecil apabila luasan penampang melintang ditingkatkan dengan memperdalam kantong dibandingkan dengan memperpanjang kantong. Sedangkan biaya yang dibutuhkan untuk menggali kantong lebih besar dan lebih sulit untuk dilakukan daripada memperpanjang kantong.

Tabel 4.
Presentase Sedimen yang Tertangkap Kantong Sedimen

Koordinat Sediment Trap			Efektifitas Sediment Trap (%)			
River Station	Lebar (m)	Kedalaman Asli (m)	Kedalaman yang Digali (m)	Panjang (m)	Gravel	Silt
STA + 11.462	105	4	0.5	350	24	9
				700	48	18
				1050	71	28
				350	26	10
				700	53	20
				1050	79	31
			1.5	350	29	11
				700	58	22
				1050	87	34
				350	24	9
				700	48	19
				1050	72	28
STA + 8.855	110	5.8	0.5	350	26	10
				700	52	20
				1050	78	30
				350	28	11
				700	56	22
				1050	84	32
			1.5	350	27	10
				700	53	21
				1050	80	31
				350	29	11
				700	58	22
				1050	87	34
STA + 4.907	120	5	1	350	31	12
				700	63	24
				1050	94	36
			1.5	350	31	12
				700	63	24
				1050	94	36

Sumber : Hasil Perhitungan

Selain itu, efektifitas tangkapan sedimen untuk kantong dengan dimensi 0.5 m dan 1050 m berkisar antara 27-30 % untuk pasir. Dengan tiga buah kantong sedimen yang ditempatkan di tiga koordinat yang berbeda, diharapkan kantong sedimen dengan dimensi tersebut dapat menangkap hingga 90% sedimen berpasir.

Dengan tiga kantong sedimen yang dibuat pada Sudetan Pelangwot, volume maksimum sedimen yang dapat ditampung adalah 175.875 m³. Sedangkan volume sedimen yang mengendap selama musim penghujan menurut *transport function* adalah 325.030,23 m³. Sehingga agar kantong sedimen dapat berfungsi optimum kantong perlu dikosongkan lagi sebagai aktivitas pemeliharaan sudetan setiap 3 bulan sekali. Ilustrasi 3 dimensi kantong sedimen berdimensi 0.5 m dan 1050 m dapat dilihat pada gambar 5.

Dari hasil permodelan dengan menggunakan HEC-RAS 4.1.0 diketahui pola sedimentasi pada sudetan yang sudah ditambahkan kantong sedimen. Kendati durasi simulasi sudah disesuaikan dengan periode pemeliharaan kantong setiap 3 bulan sekali, HEC-RAS 4.1.0 tidak mampu memodelkan butiran-butiran sedimen yang terperangkap pada kantong sedimen sepenuhnya. Dari hasil simulasi masih terlihat adanya sedimen yang mengendap di luar kantong sedimen di sepanjang sudetan.

Keterbatasan HEC-RAS dalam memodelkan sedimentasi pada kantong sedimen disebabkan HEC-RAS menggunakan kecepatan rata-rata yang bernilai sama untuk setiap penampang melintang di setiap *time step* simulasi. Sedangkan pengaruh kantong sedimen sangat besar diakibatkan oleh kecepatan aliran

yang tereduksi agar butiran-butiran sedimen mulai mengendap. Potongan memanjang Sudetan Pelangwot dengan kantong sedimen dan hasil simulasi *quasi-unsteady* dapat dilihat pada gambar 6.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Volume angkutan sedimen yang mengendap di Sudetan Pelangwot dari Sungai Bengawan Solo memiliki nilai yang berbeda-beda bergantung dari *transport function* yang digunakan. Dengan menggunakan *transport function* Acker-White, Engelunda Hansen dan Yang, perkiraan volume angkutan sedimen yang mengendap di Sudetan Pelangwot berturut-turut adalah 656.301,40 m³, 325.030,23 m³ dan 1.384.853,18 m³. Hasil analisa menggunakan *transport function* Engelund Hansen dianggap yang paling sesuai dengan kondisi asli di lapangan.
2. Berdasarkan hasil simulasi *quasi-unsteady flow* dengan menggunakan HEC-RAS 4.1.0 diketahui sedimentasi terjadi di hampir sepanjang Sudetan Pelangwot. Sedimentasi dominan terjadi di area hilir Pintu Air Floodway pada STA +12.000 hingga STA +10.000
3. Perubahan elevasi dasar saluran di Sudetan Pelangwot pada akhir durasi simulasi *quasi-unsteady flow* akibat sedimentasi yang terjadi berkisar antara -0.20 m sampai 0.41 m berdasarkan *transport function* Engelund Hansen.
4. Pengendalian sedimen yang paling optimal dapat dilakukan di Sudetan Pelangwot adalah dengan penambahan kantong sedimen pada sudetan sehingga aktivitas pengerukan rutin dapat dilakukan secara terpusat dan menghemat biaya operasional. Dimensi kantong sedimen yang efisien dapat direncanakan di Sudetan Pelangwot adalah sedalam 0.5 m sepanjang 1050 m, yang mampu menangkap partikel sedimen yang dominan berpasir sebanyak 30%. Untuk dapat menangkap seluruh sedimen yang terbawa aliran di Sudetan Pelangwot, kantong sedimen dapat direncanakan di tiga titik di sepanjang sudetan menyesuaikan koordinat sudetan dengan agradasi terbesar dengan total volume 175.875 m³. Aktivitas pemeliharaan kantong sedimen direncanakan untuk dilakukan setiap 3 bulan sekali.

B. Saran

1. Simulasi yang digunakan dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1.0 merupakan permodelan 1 dimensi dengan keterbatasan tidak dapat menghitung angkutan sedimen secara *real time*. Untuk hasil yang lebih maksimal permodelan bisa dilanjutkan dengan menggunakan model 2 atau 3 dimensi.
2. Inflow dari Rawa Jabung dan efek dari *backwater* di muara sudetan bisa disertakan untuk meningkatkan akurasi prediksi sedimentasi yang terjadi.
3. Perencanaan pemeliharaan yang dibahas terbatas hanya membahas secara sederhana aktivitas

pengerukan sedimentasi. Perencanaan lebih lanjut bisa dilakukan dengan memperhitungkan aspek biaya dan metode pelaksanaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggrahini. 1986. Diktat Hidrolika Saluran Terbuka. Surabaya.
- [2] Chow, Ven Te. 1985. Open Channel Hydraulics Versi Bahasa Indonesia. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [3] Chow, Ven Te., Maidment, David R. Mays., Larry W. 1988. Applied Hidrology. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- [4] Dingman, S.Lawrence. 2009. Fluvial Hydraulics, New York : Oxford University Press.
- [5] Julien, Pierre Y. 2007. River Mechanics. Cambridge : Cambridge University Press.
- [6] Keith R. Dyer. 1990. Coastal and Estuarine Sediment Dynamics. Bidston. John Wiley & Sons.
- [7] Sosrodarsono, Suyono., Tominaga, Masateru. 1994. Perbaikan dan Pengaturan Sungai. Surabaya : Pradnya Paramita.
- [8] USACE / Baird & Associates. 2001. Sediment Trap Assesment, Saginaw River, Michigan. Detroit. Baird & Associates.
- [9] U.S. Army Corps of Engineers . 2010. HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. California : Hydrologic Engineering Center.
- [10] U.S. Army Corps of Engineers. 2010. HEC-RAS Applications Guide. California : Hydrologic Engineering Center.
- [11] U.S. Army Corps of Engineers. 2010. HEC-RAS User's Manual. California : Hydrologic Engineering Center.
- [12] Vanoni, Vito A. 2006. Sedimentation Engineering. California : American Society of Civil Engineers.
- [13] Yang, Chih Ted. 1996. Sediment Transport: Theory and Practice. Singapore : McGraw Hill Book Company.