

MODEL PENGENDALIAN SEDIMENTASI WADUK MRICA DENGAN FLUIDISASI

SEDIMENTATION CONTROL MODEL OF MRICA RESERVOIR USING FLUIDIZATION

Suroso^{#1}, Wahyu Widiyanto^{*1}

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil UNSOED
Purwokerto Indonesia

E-mail:surosost@yahoo.com³third

Abstract— Sediment rate of Mrica reservoir is much faster than its early design by which it causes life time service of Mrica reservoir becoming shorter than previous assumption. Sediment control has been being operated by flushing, but it seems less optimal. This research aims to develop both laboratory models of fluidization and fluidizer systems for controlling sedimentation in Mrica reservoir.

This research was carried out to experiment model in a laboratory regarding effectiveness of fluidization system especially to support sediment flushing. Sample sediment tested was from Mrica reservoir bed. There were two models including a flushing model alone and a flushing model assisted by a fluidizer pipe. Experiment was conducted in various discharges, sediment depths, and pipe pressures.

The research results show that sediment category in Mrica reservoir is cohesive material consisting around 80% of medium to coarse silt. Compared to the flushing mechanism alone, the combination of flushing and fluidization can increase the volume of sediment removal by 67.54 %, 67.88 %, and 71.26 % for the discharges of 0.123 litre/sec, 0.185 litre/sec, and 0.369 litre/sec respectively. The combination of flushing and fluidization is also able to improve model efficiency by around 4.38 %, 4.54 %, and 5.07 % for the same variation of discharges.

Keywords— Sedimentation, Reservoir, Fluidizer

PENDAHULUAN

Waduk yang sangat strategis di kawasan eks karesidenan Banyumas yang terdiri dari empat kabupaten yaitu Banjarnegara, Purbalingga, Banyumas dan Cilacap adalah waduk Mrica. Waduk yang berlokasi di Kabupaten Banjarnegara dan beroperasi pertama kali pada tahun 1988 merupakan waduk yang airnya bersumber dari sungai Serayu yang mengalir di keempat kabupaten di atas. Waduk Mrica ini disamping berfungsi meningkatkan mutu dan pelayanan air irigasi, juga mendukung dan menunjang pertumbuhan industri. Hal ini dikarenakan waduk Mrica dimanfaatkan juga sebagai pembangkit tenaga listrik yang sangat diperlukan dalam proses produksi di setiap industri.

Dalam pengelolaan sumberdaya air waduk sering dijumpai permasalahan-permasalahan yang menyangkut aspek perencanaan, operasi dan pemeliharaan (Sudjarwadi, 1987). Salah satu persoalan utama yang terjadi dalam operasi dan pemeliharaan waduk untuk penyediaan air irigasi dan bidang lainnya adalah semakin langkanya ketersediaan air pada waktu-waktu tertentu. Pada sisi lain permintaan air untuk berbagai kebutuhan cenderung semakin meningkat sebagai akibat peningkatan jumlah penduduk, beragamnya pemanfaatan air, berkembangnya pembangunan, serta kecenderungan menurunnya kualitas air akibat pencemaran oleh berbagai kegiatan (Bustomi, 2003).

Ketersediaan air waduk Mrica dari tahun ke tahun semakin menurun. Penurunan ketersediaan air waduk Mrica tersebut disebabkan kerusakan lingkungan dengan maraknya penjarahan hutan yang mengakibatkan gundulnya hutan disekitar waduk. Sehingga pada saat musim penghujan, air hujan yang jatuh pada permukaan tanah lebih banyak menjadi aliran permukaan menuju ke laut dari pada yang meresap ke dalam tanah mengisi cekungan air tanah sebagai penyuplai air waduk.

Terjadinya penggundulan hutan juga menyebabkan tingginya erosi di daerah hulu atau di sub daerah aliran sungai dari beberapa sungai yang bermuara ke waduk, sehingga sedimentasi menjadi tinggi dan mengakibatkan pengurangan kapasitas waduk (De Cesare, G., et.al., 2001) yang mempengaruhi jumlah ketersediaan air waduk serta pada akhirnya berpengaruh terhadap umur layanan operasi waduk tersebut.

Menurut Kironoto (1999), penentuan masa operasi waduk didasarkan pada berbagai faktor yang terkait, seperti besar angkutan sedimen (*suspended dan bed load*) di alur sungai, nilai erosi DAS, nilai *trap efficiency* waduk, dan data fisik waduk. Umur rencana operasi waduk Mrica pada saat perencanaan dan pembangunan adalah 55 tahun. Menurut beberapa hasil penelitian yang terkait erat dengan permasalahan sedimentasi waduk dengan penekanan pada masalah umur ekonomi waduk menunjukkan bahwa meskipun secara angka berbeda-beda karena tergantung pendekatan metode yang

digunakan, akan tetapi kebanyakan hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan umur layanan operasi waduk Mrica yang menjadi lebih pendek dari perencanaan dan pembangunan awal.

Penelitian yang dilakukan oleh PLN Sektor Mrica (UGM, 1994) menyatakan bahwa usia operasi waduk berdasar data *echo sounding* dengan berbagai anggapan berkisar antara 19,88 sampai 31,46 tahun. Sedangkan usia waduk berdasar angkutan sedimen di sungai yaitu 33,3 tahun. Srimulat dan Soewarno (1995) menyatakan bahwa laju pengurangan kapasitas waduk cukup besar terjadi di waduk Mrica yaitu sebesar 2,50 %/tahun. Sedangkan Kironoto, B. A., (2000) menyatakan bahwa laju sedimentasi waduk Mrica adalah 3,005 juta m³/tahun. Darmono (2001) menyimpulkan bahwa laju sedimentasi waduk Mrica berdasarkan metode analisis model adalah sebesar 4.298.245,10 m³/tahun, berdasarkan metode Meyer-Peter-Muller (MPM) sebesar 3.142.780,77 m³/tahun, berdasarkan metode Brune sebesar 4.116.931,28 m³/tahun. Sedangkan laju erosi permukaan lahan DAS Serayu Hilir mencapai 180,272 ton/ha/tahun dan diklasifikasikan ke dalam tingkat bahaya erosi kelas berat (kelas IV). Penelitian yang dilakukan oleh Dicky Jamaluddin Malik (2006) menunjukkan bahwa umur layanan operasi waduk Mrica berdasarkan metode *dead storage* adalah 10,43 tahun dengan volume *dead storage* waduk adalah 45 juta m³. Sedangkan umur layanan operasi waduk Mrica menggunakan metode *the empirical area reduction method* adalah 41 tahun dengan volume sedimen sebesar 181.22 juta m³.

Hasil-hasil penelitian tersebut di atas menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan laju sedimentasi sehingga mempercepat pendangkalan waduk yang pada akhirnya adalah akan mempersingkat umur layanan operasi waduk Mrica. Menurut Sudjarwadi (1995), bahwa waduk di daerah tropika basah mempunyai persoalan sedimentasi yang cukup cepat. Hal ini diyakini bahwa pada daerah tropis basah mempunyai curah hujan yang cukup tinggi dan menyebabkan terjadinya laju erosi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang tinggi, sehingga aliran sungai juga akan membawa angkutan sedimen yang cukup tinggi pula. Kondisi demikian diperparah dengan adanya sistem pengolahan lahan yang keliru terutama di hulu DAS Serayu tepatnya di daerah Dieng, Kabupaten Wonosobo. Demikian juga dinyatakan oleh Johnson, B.E., et al. (2000) bahwa proses erosi sangat dipengaruhi oleh gerakan air, angin, dan kegiatan geologis lainnya.

Pemecahan permasalahan sedimentasi waduk terutama waduk Mrica sampai saat ini dirasa belum maksimal. Menurut Hartman (2004) untuk menjaga kapasitas waduk supaya tetap lestari diantaranya adalah dengan mengurangi laju sedimentasi yang masuk ke waduk dengan cara program konservasi DAS, bangunan pengendali erosi, penangkap sedimen di daerah hulu waduk dll. Namun jika sedimen sudah terlanjur ada di waduk maka perlu dibuang dengan cara pengambilan mekanik (*dredging*) atau penggelontoran (*flushing*). Penggelontoran sedimen di waduk Mrica sudah dilakukan

sejak lama namun hasilnya dirasa kurang maksimal. Terbukti dari berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi pengurangan kapasitas waduk dari tahun ke tahun. Rencana pengerukan (*dredging*) endapan sedimentasi waduk sangat tidak mungkin. Pengerukan endapan sedimen memerlukan biaya yang sangat besar. Bahkan biaya mobilisasi peralatan pengerukan (*dredging*) lebih mahal dibandingkan biaya operasi pengerukan (*dredging*). Menurut salah seorang pengelola waduk Mrica dari PT. Indopower UPB Mrica (Tri, 2006) bahwa biaya yang digunakan untuk pengerukan endapan sedimen waduk bisa digunakan untuk membangun waduk baru.

Dengan dasar penghematan biaya dalam pemeliharaan/pengendalian sedimentasi waduk supaya waduk Mrica terjaga kelestariannya, maka peneliti mencoba menerapkan suatu metode untuk mengatasi masalah ini. Peneliti mencoba membuat suatu model dalam skala laboratorium yang menirukan/mendekati kondisi waduk Mrica yang sesungguhnya yaitu model "semprotan air melalui pipa *fluidizer*". Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model fisik laboratorium sistem penggelontoran (*flushing*) dan sistem semprotan air (*fluidization*) untuk pengendalian endapan sedimen di waduk Mrica Banjarnegara.

METODE PENELITIAN

A. Peralatan dan Bahan Penelitian

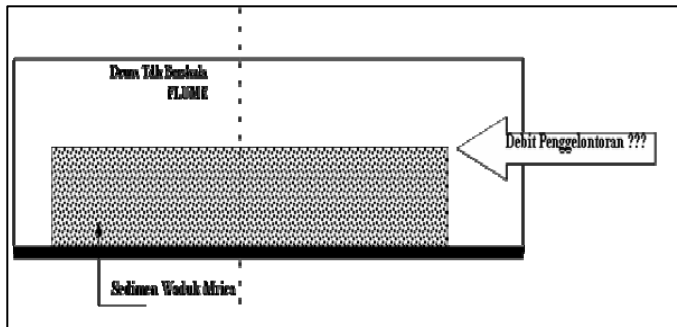
Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini merupakan fasilitas Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Alat-alat yang digunakan tersebut meliputi : Saluran Air (*General Tilting Flume*), Pompa Air, Komputer set, *Analog digital converter*, Manometer tekanan, *Scanner*, Alat Ukur Lebar dan Kedalaman Alur (*Hook dan Point Gauge Instrument*), Bor dan Pemotong dari Listrik, *Stopwatch*, Kamera Photo, Saringan, Oven, *Pionometer*, *Sediment Grabber*, *Soil sampling tools*, perahu, *Echosounder*, *Current meter*. Bahan penelitian ini terdiri dari material Sedimen waduk Mrica, Pipa, Drum, Tiang meteran dan selang, Balok untuk Alas Material Sedimen, Papan Sekat, Was, Lem Pipa, Dop.

1) Pembuatan Model I

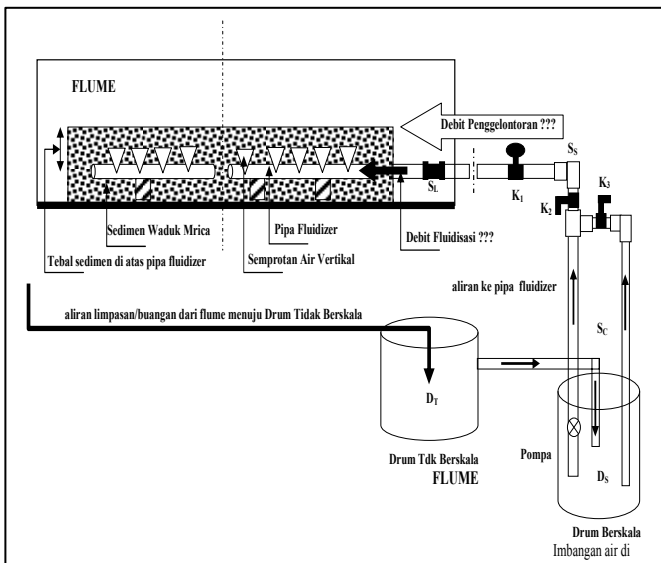
Model I dalam penelitian ini adalah model pengendali sedimen dengan cara penggelontoran dalam skala laboratorium untuk menirukan kondisi nyata waduk Mrica saat ini dengan material sedimen diambil dari waduk tersebut. Model ini bertujuan untuk mencari kebutuhan debit penggelontoran. Proses kerja model I pada prinsipnya adalah menggelontorkan air dalam jumlah debit tertentu sehingga material sedimen yang ada dalam saluran akan mulai tergerus dan terjadi transpor sedimen. Sehingga akan terjadi pengurangan material sedimen di dalam flume yang dapat berupa alur. Secara lebih jelas model I terlihat pada gambar 1.

2) Pembuatan Model II

Model II dalam penelitian ini adalah model pengendalian sedimen dengan kombinasi cara penggelontoran dan fluidisasi menggunakan pipa *fluidizer* yang ditanam di dasar material sedimen. Model ini bertujuan untuk mencari kebutuhan debit penggelontoran dan kebutuhan tekanan pipa *fluidizer*. Proses kerja model II pada prinsipnya adalah memberikan semprotan air vertikal melalui pipa *fluidizer* yang telah ditanam di dasar endapan sedimen pada saat mulai diberikan debit penggelontoran air. Dengan adanya semprotan air melalui pipa *fluidizer* pada dasar endapan sedimen menyebabkan endapan sedimen akan terusik (berhamburan) menjadi *suspended solid*, sehingga memudahkan penggelontoran material sedimen. Secara lebih jelas model II terlihat pada gambar 2.



Gambar 1 Model pengendalian sedimen dengan penggelontoran



Gambar 2 Model pengendalian sedimen dengan penggelontoran dan fluidisasi

3) Analisis Sifat Sedimen

Analisis sifat sedimen meliputi analisis distribusi ukuran butir sedimen, kadar air, berat jenis, kepadatan tanah, porositas dan angka pori dari material sedimen yang langsung diambil dari waduk Mrica. Data variasi pengujian model 1 dan model 2 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

TABEL 1 DATA PENGUJIAN MODEL 1 (PENGELONTORAN/FLUSHING)

No	Kode pengujian	Debit Penggelontoran/Flushing		Tinggi/Tebal Sedimen (mm)	Tinggi Air (mm)
		M3/det	liter/det		
1	FL1.1.1.1	0,0003691	0,3691467		85
2	FL1.1.1.2	0,0003691	0,3691467	60	100
3	FL1.1.1.3	0,0003691	0,3691467		120
4	FL1.2.1.1	0,0001846	0,1845733		85
5	FL1.2.1.2	0,0001846	0,1845733	60	100
6	FL1.2.1.3	0,0001846	0,1845733		120
7	FL1.3.1.1	0,0001230	0,1230489		85
8	FL1.3.1.2	0,0001230	0,1230489	60	100
9	FL1.3.1.3	0,0001230	0,1230489		120
10	FL1.1.2.1	0,0005537	0,5537200		85
11	FL1.1.2.2	0,0005537	0,5537200	80	95
12	FL1.1.2.3	0,0005537	0,5537200		147
13	FL1.2.2.1	0,0002769	0,2768600		85
14	FL1.2.2.2	0,0002769	0,2768600	80	95
15	FL1.2.2.3	0,0002769	0,2768600		147
16	FL1.3.2.1	0,0001846	0,1845733		85
17	FL1.3.2.2	0,0001846	0,1845733	80	95
18	FL1.3.2.3	0,0001846	0,1845733		147
19	FL1.1.3.1	0,0008785	0,8785000		145
20	FL1.1.3.2	0,0008785	0,8785000	100	120
21	FL1.1.3.3	0,0008785	0,8785000		140
22	FL1.2.3.1	0,0004393	0,4392500		110
23	FL1.2.3.2	0,0004393	0,4392500	100	120
24	FL1.2.3.3	0,0004393	0,4392500		145
25	FL1.3.3.1	0,0002928	0,2928333		110
26	FL1.3.3.2	0,0002928	0,2928333	100	120
27	FL1.3.3.3	0,0002928	0,2928333		145

4) Analisis Hasil Pengujian Model I

Analisis pengujian Model I berupa analisis kebutuhan debit penggelontoran yaitu dengan cara membuat hubungan antara waktu penggelontoran dengan lebar maupun tinggi alur yang tercipta untuk berbagai variasi debit penggelontoran dan berbagai variasi tebal/kedalaman sedimen. Dari analisis ini akan diketahui efektifitas penggelontoran dalam mengendalikan sedimen untuk kasus sedimentasi waduk Mrica.

Tabel 10 DATA PENGUJIAN MODEL 2 (FLUIDISASI).

No	Kode pengujian	Debit Flushing		Tinggi/Tebal Sedimen (mm)	Tinggi Air (mm)	Tekanan Fluidisasi (cm)		
		M3/det	liter/det			Hulu	Hilir	Rata2
1	FL1.1.1.1	0,0003691	0,3691467	60	85	106,8	106,0	106,4
2	FL1.1.1.2	0,0003691	0,3691467		100	147,5	129,0	138,3
3	FL1.1.1.3	0,0003691	0,3691467		120	162,0	138,5	150,3
4	FL1.2.1.1	0,0001846	0,1845733	60	85	154,0	147,0	150,5
5	FL1.2.1.2	0,0001846	0,1845733		100	142,0	128,0	135,0
6	FL1.2.1.3	0,0001846	0,1845733		120	164,5	137,0	150,8
7	FL1.3.1.1	0,0001230	0,1230489	60	85	142,0	122,0	132,0
8	FL1.3.1.2	0,0001230	0,1230489		100	138,0	130,0	134,0
9	FL1.3.1.3	0,0001230	0,1230489		120	157,0	138,0	147,5
10	FL1.2.2.1	0,0002769	0,2768600	80	85	118,5	107,0	112,8
11	FL1.2.2.2	0,0002769	0,2768600		95	120,8	107,2	114,0
12	FL1.2.2.3	0,0002769	0,2768600		147	117,8	107,8	112,8
13	FL1.3.2.1	0,0001846	0,1845733	80	85	120,0	106,0	113,0
14	FL1.3.2.2	0,0001846	0,1845733		95	110,5	90,0	100,3
15	FL1.3.2.3	0,0001846	0,1845733		147	116,5	109,8	113,2
16	FL1.1.2.1	0,0005537	0,5537200	80	85	120,8	107,2	114,0
17	FL1.1.2.2	0,0005537	0,5537200		95	121,0	101,5	111,3
18	FL1.1.2.3	0,0005537	0,5537200		147	116,7	94,2	105,5
19	FL1.1.3.1	0,0008785	0,8785000	100	145	124,0	110,0	117,0
20	FL1.1.3.2	0,0008785	0,8785000		120	126,0	124,0	125,0
21	FL1.1.3.3	0,0008785	0,8785000		140	125,0	121,0	123,0
22	FL1.2.3.1	0,0004393	0,4392500	100	110	123,5	111,4	117,5
23	FL1.2.3.2	0,0004393	0,4392500		120	157,0	120,0	138,5
24	FL1.2.3.3	0,0004393	0,4392500		145	139,0	123,5	131,3
25	FL1.3.3.1	0,0002928	0,2928333	100	110	125,0	116,0	120,5
26	FL1.3.3.2	0,0002928	0,2928333		120	128,0	117,0	122,5
27	FL1.3.3.3	0,0002928	0,2928333		145	141,0	124,0	132,5

5) Analisis Hasil Pengujian Model II

Analisis hasil pengujian model II meliputi analisis kebutuhan tekanan pipa fluidizer dan analisis kebutuhan debit penggelontoran. Analisis kebutuhan tekanan pipa fluidizer adalah mencari hubungan kebutuhan tekanan pipa fluidizer yang digunakan untuk semprotan air vertikal (fluidisasi) material sedimen pada kedalaman tertentu. Artinya, berapa tekanan pipa yang dibutuhkan untuk memberikan daya pancaran air vertikal supaya sedimen dengan kedalaman tertentu yang dibuat bervariasi mulai berhamburan. Dari analisis ini akan diketahui berapa daya pompa yang diperlukan untuk melakukan semprotan air vertikal pada kedalaman sedimen tertentu. Analisis kebutuhan debit penggelontoran adalah membuat hubungan antara waktu *running* dengan lebar maupun tinggi alur yang tercipta untuk berbagai variasi debit penggelontoran dengan tekanan pipa fluidizer yang ditentukan.

Dari analisis ini akan diketahui efektifitas sistem semprotan air vertikal pipa fluidizer dalam mengendalikan sedimen untuk kasus sedimentasi waduk Mrica.

6) Pembahasan hasil pengujian kedua model

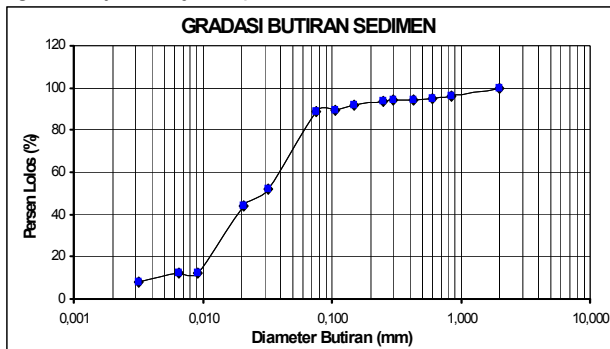
Pembahasan hasil kedua model adalah membandingkan efektifitas dan efisiensi pengendalian sedimen dari model I dan model II. Efektifitas dilihat dari pengurangan jumlah sedimen sedangkan efisiensi dilihat dari jumlah debit penggelontoran dan besar tekanan yang diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4. Hasil Analisis Sifat Sedimen

Sedimen yang dipakai dalam penelitian ini diambil dari material sedimentasi waduk Mrica Banjarnegara dengan maksud supaya mampu mewakili karakteristik sedimen waduk Mrica. Penyebaran ukuran butiran dilakukan dengan

dengan analisis saringan/ayakan dan analisis hidrometer yang hasilnya disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Gradasi Butiran Sedimen

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui diameter-butiran sedimen yang penting dan sering digunakan diantaranya adalah $d_{16} = 0,005$ mm; $d_{25} = 0,015$ mm; $d_{50} = 0,03$ mm; $d_{75} = 0,05$ mm; dan $d_{84} = 0,07$ mm, serta beberapa parameter butiran sedimen seperti ukuran butiran rerata (d_m), koefisien sebaran butiran (S_o) dan deviasi standar (σ_D). Karena parameter koefisien sebaran butiran (S_o) bernilai antara 1,5 dan 2, maka material sedimen waduk Mrica termasuk dalam ukuran butiran dengan tingkat keseragaman sedang. Selain dilakukan pengujian gradasi, material sedimen juga diuji sifat fisik lainnya meliputi berat jenis (G_s), koefisien permeabilitas dan kadar air (ω). Nilai-nilai dari parameter sifat-sifat sedimen yang dipergunakan dalam penelitian ini ditampilkan dalam Tabel 3.

TABEL 2 SIFAT-SIFAT MATERIAL SEDIMEN

Parameter sifat sedimen	Nilai	Satuan
Diameter Median (d_{50})	0,03 mm	Mm
Diameter Rerata (d_m)	0,01871	Mm
KoefSebaran Butiran (S_o)	1,82574	-
Deviasi Standar (σ_D)	3,74166	-
Berat Jenis (G_s)	2,65	-
Kadar Air (ω)	44,95	%
KoefPermeabilitas (k)	0,01272	cm/det

Berdasarkan sifat-sifat sedimen tersebut maka sedimen waduk Mrica termasuk kategori lumpur sedang sampai kasar. Hal ini ditunjukkan dengan persentase butiran yang berdiameter lebih dari 0,063 mm kurang dari 20 % dengan kata lain kandungan pasir dari sedimen waduk Mrica kurang dari 20 %. Dengan demikian sedimen lebih bersifat kohesif daripada granuler. Hal ini perlu menjadi catatan tersendiri mengingat sistem fluidisasi akan lebih efektif untuk diterapkan pada sedimen berbutir granuler.

B. Hasil Pengujian Model 1

Data hasil pengujian model 1 yang diperoleh dari percobaan flushing adalah tinggi sedimen dan alur yang terbentuk untuk berbagai variasi tinggi sedimen mula-mula dan tinggi air di atas sedimen serta debit penggelontoran. Hasil pengujian menunjukkan terjadi perubahan konfigurasi dasar alur atau permukaan sedimen dasar akibat adanya debit penggelontoran.

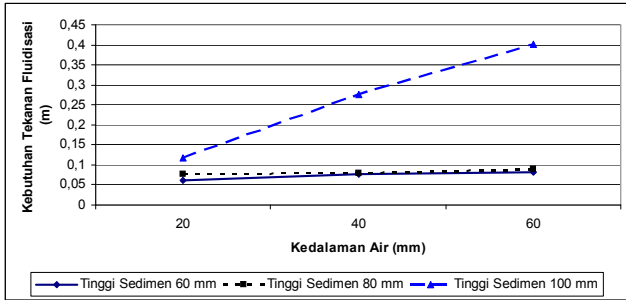
Pada percobaan dengan tebal sedimen 60 cm diperoleh hasil bahwa untuk debit penggelontoran yang sama namun tinggi muka air di atas sedimen dibuat variasi yang semakin membesar, maka kecenderungan terjadi perubahan profil dasar saluran akibat gerusan semakin mengecil. Hal ini dipahami bahwa semakin besar tinggi air maka semakin tinggi pula tekanan dan gaya hidrostatik, sehingga akan menghambat arus penggelontoran. Sebaliknya, semakin besar debit penggelontoran akan mengakibatkan perubahan dasar saluran yang juga besar. Besar volume sedimen terbuang dan tingkat efektifitas pengurangan sedimen untuk debit penggelontoran 0,123 liter/det, 0,185 liter/det, dan 0,369 liter/det secara berturut-turut adalah 699.536 mm^3 (5,29 %), 700.493 mm^3 (5,31 %), dan 728.870 mm^3 (5,52 %).

Pada percobaan dengan tebal sedimen 80 cm diperoleh hasil volume sedimen terbuang rata-rata dan tingkat efektifitas pengurangan sedimen untuk debit flushing 0,185 liter/det, 0,277 liter/det, dan 0,554 liter/det berturut-turut adalah $1.701.780 \text{ mm}^3$ (9,669 %), $1.706.658 \text{ mm}^3$ (9,697 %), dan $1.727.159 \text{ mm}^3$ (9,813 %). Hasil di atas menunjukkan terjadi peningkatan volume sedimen terbuang dibandingkan dengan ketebalan sedimen 60 mm. Hal ini disebabkan material sedimen lebih banyak dengan tingkatan kepadatan total lebih rendah.

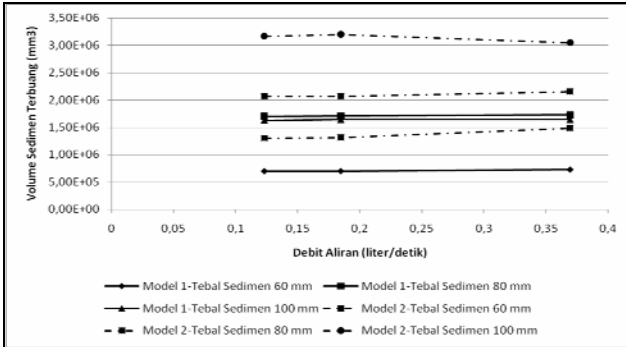
Pada percobaan dengan tebal sedimen 100 cm diperoleh hasil bahwa untuk variasi ketinggian air dan variasi debit penggelontoran tidak terjadi perbedaan konfigurasi pengurangan sedimen dasar yang cukup berarti dibandingkan dengan ketebalan sedimen 80 mm. Hal ini disebabkan telah terjadi pemadatan sedimen yang kebanyakan materialnya terdiri dari jenis lumpur dan lempung. Material lumpur dan lempung mempunyai sifat yang cepat terjadi pemadatan. Besar volume sedimen terbuang rata-rata dan tingkat efektifitas pengurangan sedimen untuk debit flushing 0,293 liter/det, 0,439 liter/det, dan 0,879 liter/det secara berturut-turut adalah $1.624.493 \text{ mm}^3$ (7,384 %), $1.639.383 \text{ mm}^3$ (7,452 %), dan $1.640.141 \text{ mm}^3$ (7,455 %).

C. Hasil Pengujian Model 2

Model II dalam penelitian ini adalah model pengendali sedimen dengan cara penggelontoran yang dikombinasikan dengan fluidisasi. Kebutuhan tekanan fluidisasi pada pipa fluidizer untuk berbagai variasi ketebalan sedimen dan variasi ketinggian air dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

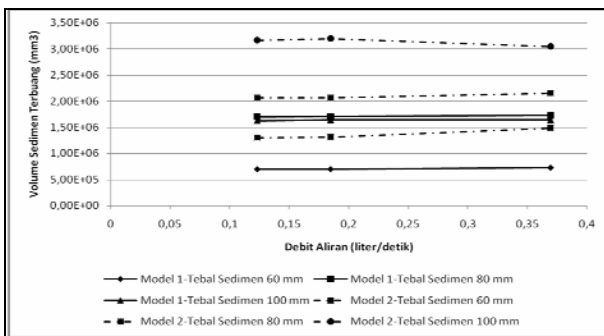


Gambar 4 Kebutuhan Tekanan Fluidisasi Untuk Berbagai Tinggi Sedimen



Gambar 5 Kebutuhan Tekanan Fluidisasi Untuk Berbagai Kedalaman Air

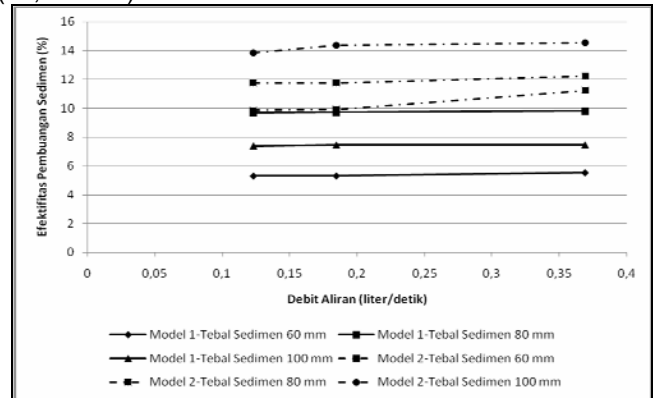
Dari Gambar 4 dan 5 terlihat bahwa kebutuhan tekanan fluidisasi akan bertambah seiring dengan bertambahnya ketebalan sedimen maupun ketinggian aliran. Namun demikian, pertambahan kebutuhan fluidisasi akan meningkat tajam pada kasus bertambahnya ketebalan sedimen jika dibandingkan dengan pada kasus bertambahnya ketinggian aliran. Hal ini dikarenakan gaya tahanan akibat material sedimen lebih besar dibandingkan gaya tahanan air untuk ketinggian yang sama.



Gambar 6 Hubungan Debit aliran dan volume sedimen terbuang

Berdasarkan gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa volume sedimen yang terbuang pada model II lebih banyak dibandingkan model I untuk berbagai variasi debit penggelontoran. Pada percobaan dengan tebal sedimen 60 cm diperoleh hasil bahwa besar volume sedimen terbuang dan tingkat efektifitas pengurangan sedimen akibat fluidisasi dan penggelontoran (model II) dengan debit flushing 0,123 liter/det, 0,185 liter/det, dan 0,370

liter/det berturut-turut adalah 1.303.152,5 mm³ (9,8724 %), 1.311.710,1 mm³ (9,9372 %), dan 1.483.788,4 mm³ (11,2408 %).



Gambar 7 Hubungan debit aliran dan efektifitas pembuangan sedimen

Pada percobaan dengan tebal sedimen 80 cm menghasilkan volume sedimen terbuang dan tingkat efektifitas pengurangan sedimen untuk debit flushing 0,123 liter/det, 0,185 liter/det, dan 0,370 liter/det berturut-turut adalah 2.068.637,7 mm³ (11,7572 %), 2.150.260,9 mm³ (12,2174 %), dan 3.164.173,9 mm³ (13,8449 %).

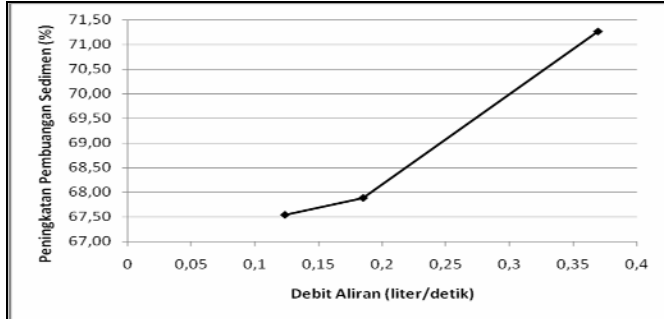
Pada percobaan dengan tebal sedimen 100 cm diperoleh hasil besar volume sedimen terbuang rata-rata dan tingkat efektifitas pengurangan sedimen untuk debit flushing 0,12305 liter/det, 0,18457 liter/det, dan 0,36915 liter/det berturut-turut adalah 3.164.173,9 mm³ (13,8449 %), 3.199.246,4 mm³ (14,3826 %) dan 3.045.884,1 mm³ (14,5420 %).

D. Pembahasan

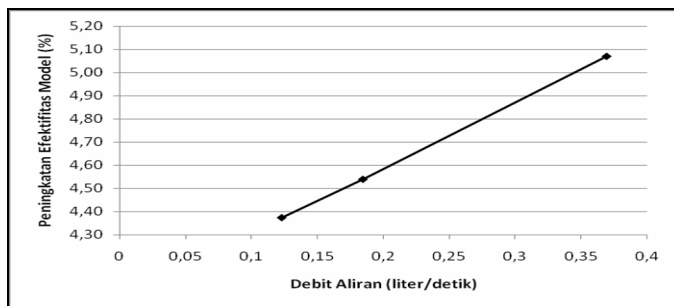
Fenomena yang terjadi pada penggelontoran adalah gerusan dasar yang berlangsung selama aliran diberikan dengan kecepatan tinggi yang menghasilkan kecepatan geser dan tegangan geser melebihi nilai kritisnya sehingga terjadi pergerakan sedimen dasar. Angkutan sedimen yang terjadi ini terutama adalah mekanisme angkutan sedimen dasar. Hasil gerusan ini menyebabkan material sedimen terbuang dan terbentuk alur baru. Untuk memperbesar angkutan sedimen dilakukan dengan cara memperbesar angkutan sedimen dengan mekanisme sedimen melayang. Fluidisasi merupakan cara untuk mengusik dasar saluran agar ada material sedimen yang tersuspensi menyebabkan angkutan sedimen totalnya meningkat yang berasal dari komponen sedimen dasar dan sedimen melayang.

Hasil pengujian fluidisasi dikombinasikan dengan flushing pada ketebalan sedimen 60 mm menghasilkan peningkatan pembuangan sedimen sebesar 603.616,2 mm³ (86,3 %), 611.217,4 mm³ (87,3), dan 754.918,8 mm³ (103,6%). Demikian juga pada ketebalan sedimen 80 mm terjadi peningkatan pembuangan sedimen sebesar 366.858,0 mm³ (21,6 %), 362.617,4 mm³ (21,2 %), dan 423.101,4 mm³ (24,5). Pada ketebalan sedimen 100 mm terjadi pembuangan sedimen sebesar 1.539.681,2 mm³ (94,8 %), 1.559.863,8 mm³ (95,1 %), dan 1.405.742,6 mm³

(85,7 %). Volume pembuangan sedimen rata-rata untuk debit aliran 0,123 liter/det, 0,184 liter/det, dan 0,369 liter/det berturut-turut adalah 67,54 %, 67,88401 %, dan 71,25983 % serta meningkatkan efisiensi model sebesar 4,373921 %, 4,539336 %, dan 5,069969 %



Gambar 8 Peningkatan pembuangan sedimen untuk berbagai debit aliran



Gambar 9 Peningkatan efisiensi model untuk berbagai debit aliran

KESIMPULAN

Jenis sedimen di dasar waduk Mrica adalah lumpur sedang sampai kasar dengan diameter rata-rata butiran 0,0187 mm. Kandungan pasir pada sedimen waduk Mrica hanya sekitar 20 % sehingga material bersifat kohesif.

Kombinasi flushing dan fluidisasi mampu meningkatkan volume sedimen terbuang dengan besaran untuk debit aliran 0,123 liter/detik; 0,185 liter/detik; dan 0,369 liter/detik berturut-turut adalah sebesar 67,54 %, 67,88 %, dan 71,26 % terhadap model flushing.

Kombinasi flushing dan fluidisasi mampu meningkatkan efisiensi model pembuangan sedimen dengan besaran untuk debit aliran 0,123 liter/detik; 0,185 liter/detik; dan 0,369 liter/det berturut-turut adalah sebesar 4,38 %, 4,54 %, dan 5,07 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Penelitian UNSOED, yang telah memberi kesempatan dan biaya penelitian melalui dana DIPA UNSOED tahun anggaran 2007 dengan Nomor Kontrak:1001/J23.6/PL/2007, tanggal : 19 Pebruari 2007

DAFTAR PUSTAKA

- Darmono, 2001. *Penggunaan Beberapa Metode Untuk Prediksi Laju Endapan Sedimen di Waduk PB Jenderal Sudirman*. Tesis, Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- De Cesare, G., Schleiss, A., Hermann, F., 2001. *Impact of Turbidity Currents on Reservoir Sedimentation*. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 127, No. 1, pp. 6-16.
- Dicky Jamaludin Malik, 2006. *Perkiraan Umur Layanan Waduk Mrica Banjarnegara Jawa Tengah dengan Metode Kapasitas Tampung Mati (Dead Storage) dan Distribusi Sedimen (The Empirical Area Reduction)*. Tugas Akhir, Program Sarjana Teknik, Program Studi Teknik Sipil UNSOED, Purwokerto.
- Johnson, B.E., Julien, P.Y., Molnar, D.K., Watson, C.C., 2000. *The Two Dimensional Upland Erosion Model CASC2D-SED*. *Journal of The American Water Resources Association*, American Water Resources Association, Vol.36, No.1, pp. 31-42.
- Kironoto, B.A., 1999. *Studi Sedimentasi Waduk Sermo dan Penanggulannya*. Laporan Akhir, PT. Tatareka Paradya, Yogyakarta.
- Soewarno, 1991. *Hidrologi (Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai)*. Penerbit Nova, Bandung.
- Srimulat, Soewarno, 1995. *Pengaruh Erosi DPS Serayu Hulu Terhadap Pendangkalan Waduk PLTA Pangsar Soedirman*. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan*, No. 34 Th.10-kw1-1995, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Sudjarwadi, 1987. *Teknik Sumberdaya Air*. Diklat, PAU Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Sudjarwadi, 1995. *Kesulitan Prediksi Laju Sedimentasi Waduk Berdasar Data Echo Sounding*. Makalah, Pertemuan Ilmiah Tahunan XII, Himpunan Ahli Teknik Hidraulik (HATHI), Surabaya.
- Tri, 2006. *Komunikasi Pribadi*.
- UGM, 1994. *Penelitian Sedimentasi Waduk PLTA Panglima Besar Sudirman*. Laporan Akhir, PT. PLN (Persero), Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan, Jakarta.