

PENGARUH DESAIN PIPA HISAP TERHADAP KINERJA PENGHISAPAN SEDIMEN KE HILIR WADUK

Erman Mawardi¹✉, Isdiyana², Yanto Wibawa³

¹Peneliti Utama Bidang Teknik Hidraulik, ²Kepala Balai BHGK, ³Staf Balai BHGK
Pusat Litbang Sumber Daya Air, Jl. H. Juanda No. 193, Bandung
✉E-mail: erman.mawardi@yahoo.com

Diterima: 16 Desember 2009; Disetujui: 26 Maret 2010

ABSTRAK

Pembangunan bendungan di sungai akan mengakibatkan berkurangnya pasokan sedimen ke hilir bendungan, sehingga di ruas sungai bagian hilir akan timbul berbagai persoalan seperti degradasi dasar sungai, gangguan lingkungan sungai, dan sebagainya. Di samping itu, waduk akan mengalami sedimentasi yang menimbulkan masalah pengurangan kapasitas tampungan waduk. Berkaitan dengan itu diperlukan teknologi untuk mengalirkan sedimen dari waduk ke sungai hilir bendungan. Konsep teknologi untuk mengalirkan sedimen dari waduk ke hilir bendungan dan mengurangi sedimentasi di waduk adalah dengan merancang teknologi pipa hisap sedimen. Untuk mempelajari pengaruh desain teknologi pipa hisap, terhadap penghisapan sedimen, maka dilakukan percobaan pengaliran dengan bantuan uji model fisik di laboratorium hidrolika Balai BHGK Pusat Litbang Sumber Daya Air. Teknologi pipa hisap sedimen yang dirancang terdiri dari empat tipe. Berdasarkan hasil percobaan pengaliran disimpulkan bahwa teknologi pipa hisap sedimen Tipe 4 dapat mengalirkan material sedimen jenis pasir ke sungai hilir bendungan lebih efektif dibandingkan dengan tipe lainnya.

Kata kunci: *Teknologi pipa hisap, uji model fisik, percobaan pengaliran, penggerusan setempat, sedimentasi.*

ABSTRACT

The construction of a dam in a river shall reduce the sediment flow into downstream face of dam structure, so that many problems such as river bed degradation, or destruction of the river environment shall be encountered in this part of river. Additionally, sedimentation shall also occur in the reservoir which likewise may decrease the reservoir storage capacity. Related with these problems, a technology is to be introduced to drain sediment from the reservoir to downstream part of the dam. The conceptual technology of flowing sediment from the reservoir into downstream part of the dam and thus reducing sediment in the reservoir, introduces the design of a sediment suction pipe. In this context, Pusair researchers had studied the influence of the suction pipe design on the sediment flow by carrying out a physical model test at the Hydraulic Laboratory of the Research Center for Water Resources. The designed sediment suction pipe the so called suction pipe technology consists of 4 types. Results of the flow test show that the sediment suction pipe technology Type 4 can carry coarse sand material into the river downstream the dam more effectively than other types.

Keywords: *Suction pipe technology, physical model, the flow test, local scouring, sedimentation.*

PENDAHULUAN

Pembangunan bendungan di Palung Sungai mengakibatkan berkurangnya pasokan sedimen ke hilir, sehingga pada ruas sungai bagian hilir akan timbul berbagai masalah seperti degradasi dasar sungai, gangguan lapisan pelindung dasar sungai, tebing longsor dan sebagainya. Di samping itu, di daerah genangan waduk akan terjadi pengendapan sedimen yang akan menimbulkan masalah pengurangan kapasitas tampungan waduk.

Berkaitan dengan itu diperlukan teknologi untuk mengalirkan sedimen dari tampungan waduk ke sungai hilir bendungan. Konsep yang dirancang adalah teknologi pipa hisap sedimen. Dalam rangka mempelajari konsep teknologi pipa hisap sedimen tersebut dilakukan percobaan pengaliran dengan bantuan uji model fisik.

Tujuan percobaan ini antara lain mempelajari pengaruh desain pipa hisap terhadap penghisapan sedimen dari genangan waduk ke sungai

bagian hilir bendungan ditinjau dari segi hidraulik, mempelajari konsep desain teknologi pipa hisap sedimen yang paling efektif dan mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan karakteristik hidraulik pipa hisap yang tidak bisa dilakukan secara teoritis.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium hidrolika Balai BHGK Pusat Litbang SDA pada tahun 2010. Percobaan pengaliran dilakukan di saluran sepanjang 20 meter, lebar satu meter, dan tinggi 1,5 meter.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep teknologi hamparan lempengan material kedap air dan pipa hisap (*Sheet and Suction Pipe Facility/SSPF*) dijadikan acuan dalam penyelidikan yang akan dilakukan pada percobaan ini. Dalam *4th International Symposium on Modern Technology of Dam*, Sakurai dkk., 2007, mengemukakan tentang teknik penggunaan hamparan lempengan material kedap air dan pipa hisap (*Sheet and Suction Pipe Facility/SSPF*) dan katup udara (*Air Valve Facility/AVF*) untuk pengaliran sedimen dari genangan waduk ke hilir. Sakurai dkk, melakukan percobaan pengaliran di Laboratorium *Public Work Research Institute Tsukuba-shi*, Jepang. Percobaan pengaliran dilakukan dengan bantuan uji model fisik.

Uji model fisik dilakukan pada tangki air yang panjangnya 4,5 m, lebar 2,5 m dan tinggi 1,3 m. Hamparan pasir dengan ketebalan 0,8 m diletakkan pada dasar tangki dan pipa lengkap dengan lempengan material kedap air dipasang di atas hamparan pasir. Aliran air yang masuk ke dalam tangki disuplai dari pompa dengan debit konstan. Pada waktu yang sama, tinggi muka air di dalam tangki dijaga konstan dengan menggunakan pelimpah berupa ambang persegi. Pintu dipasang di ujung bagian hilir pipa untuk mengatur debit dari alat penghisap sedimen.

Rancangan model teknologi ini berupa pipa hisap dan hamparan lempengan material kedap air. Fasilitas ini akan menghisap sedimen dengan memanfaatkan perbedaan tinggi antar energi potensial air di waduk dan di sungai bagian hilir. Pipa dipotong dan diberi bukaan sepanjang bagian bawahnya dan penghisapan sedimen dilakukan melalui bukaan bawah pipa tersebut. Pada saat bentuk dasar endapan sedimen berubah akibat terjadinya pengangkutan sedimen melalui pipa ke hilir, maka terjadi kesulitan penghisapan sedimen, karena adanya celah antara pipa hisap dan permukaan sedimen. Akibatnya, hanya air yang terhisap.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan pipa yang fleksibel dan lempeng material kedap air dipasang pada bagian atas pipa

untuk dapat menekan pipa turun dan masuk ke permukaan sedimen. Bukaan pada bagian bawah pipa berfungsi sebagai bukaan pemasukan dan menghasilkan zone tekanan rendah pada lempeng material kedap airnya. Setelah sedimen terbilas menggunakan teknologi ini, maka terbentuk lubang berbentuk kerucut terbalik pada endapan sedimen yang tersisa. Jika sudut geser dalam dari material endapan sedimen dianggap 30° , lubang yang berbentuk kerucut terbalik dengan kedalaman lubang 15 m dengan jari-jari permukaan lubang 26 m, yang setara dengan volume sedimen sebesar 10.000 m^3 .

Berdasarkan hasil pengamatan sebelumnya, yang menggunakan pipa PVC (*polyvinyl chloride*) dengan diameter dalam 101,6 mm, dikonfirmasi bahwa teknik pengaliran sedimen dengan menggunakan lempengan kedap air dan pipa hisap ini dapat mengalirkan sedimen pasir, mencapai kedalaman dari kerucut terbalik sebesar lima kali diameter pipa. Selanjutnya model diubah di mana bawah pipa bagian udiknya dipotong. Pipa dirancang, untuk mengamankan bukaan lubang pemasukan di bagian udik pipa agar tidak tertimbun selama pengaliran sedimen. Sedimen yang dipakai pada percobaan ini adalah pasir silika dengan distribusi ukuran partikelnya *uniform*. Diameter rata-rata partikel adalah 1,3 mm.

Berdasarkan hasil percobaan di atas diketahui material pasir non kohesif dapat dialirkan ke hilir bendungan. Kedalaman lubang yang terbentuk sesudah percobaan mencapai lima kali diameter pipa hisap. Untuk debit air yang lebih besar dan diameter partikel sedimen yang lebih kecil, debit sedimen meningkat. Bila debit air terus meningkat, kuantitas sedimen yang terhisap dari lubang bukaan pipa bagian hilir juga meningkat. Jika lubang yang berbentuk kerucut terbalik bertambah besar, debit sedimen menjadi lebih besar.

Prasarana penyimpan air buatan dikenal dengan sebutan waduk, embung, dan situ. Waduk dan embung adalah bangunan yang berfungsi menyimpan air hujan dalam suatu wadah atau kolam dan kemudian dioperasikan untuk berbagai kebutuhan. Waduk dan embung dapat berfungsi sebagai konservasi lahan, dan penyediaan air. Salah satu cara melakukan konservasi terhadap sumber daya air adalah dengan menyimpan sebagian besar aliran permukaan berupa debit sungai dan air hujan yang melimpah pada musim hujan di dalam prasarana penyimpan air seperti waduk dan embung dan dimanfaatkan pada musim berikutnya. (Kamir dan Anne 2008).

Konservasi didefinisikan sebagai "tata kelola pemanfaatan oleh manusia terhadap biosfir agar di dapatkan manfaat berkesinambungan terbesar dengan menjaga potensi-potensinya untuk memem-

nuhi hajat-hajat dan aspirasi-aspirasi yang akan datang” (*World Conservation Strategy by the International Union for Conservation or Nature and Natural Resources*). Konservasi menurut UU No. 7/2004 adalah upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang.

Pada beberapa waduk bendungan di Indonesia telah terjadi pengendapan sedimen yang relatif tinggi. Pembuangan sedimen dari dalam waduk dapat dilakukan dengan cara: (HR. Mulyanto, 2008)

- 1) Penggelontoran sedimen secara hidraulik; yang dapat dilakukan jika pada bangunan tersedia fasilitas bangunan pembuang sedimen, dan tersedia debit yang cukup. Berdasarkan hasil penyelidikan dengan uji model penggelontoran sedimen ternyata hanya dapat membersihkan sebagian endapan sedimen di bagian udik bukaan (*outlet*) pintu. Pada kasus tertentu jumlah sedimen yang terkuras tidak seimbang dengan volume air yang terbuang untuk mengurasnya. Pada bagian yang agak jauh di udik lubang bilas, sedimen sudah agak padat atau terkonsolidasi sehingga perlu waktu dan debit yang lebih besar untuk menghanyutkannya. Hanya sedimen yang baru saja mengendap atau mengendap mendekati waktu proses penggelontoran yang akan lebih mudah tergerus.
- 2) Pengerukan sedimen (*dredging*); dapat dilakukan secara mekanis. Pekerjaan ini memerlukan biaya yang mahal dan pada umumnya dilakukan pada kondisi tertentu. Biasanya dilakukan untuk mengatasi endapan sedimen yang mengganggu bukaan outlet waduk, pemanfaatan air untuk turbin dan sebagainya. Pada pekerjaan pengerukan waduk akan dijumpai beberapa masalah yaitu peralatan pengerukan bersifat spesifik yang disesuaikan dengan kedalaman waduk, jenis endapan, transportasi peralatan pengerukan ke lokasi waduk yang mengalami hambatan (jembatan, ruang bebas, jalan dan sebagainya), pembuangan sedimen hasil kerukan, lahan tempat pembuangan sedimen hasil kerusakan dan sebagainya.

Dengan demikian pembuangan sedimen dari waduk dapat dilakukan secara hidraulik dengan persyaratan tertentu dan dengan cara manual (*dredging*).

Penanggulangan endapan sedimen di waduk pada waduk Bendungan Yahagi di Jepang direncanakan pengaliran sedimen dengan teknologi *suction method*. Pada waduk ini

dijumpai masalah pengendapan sedimen yang relatif besar. Endapan sedimen di waduk umumnya fraksi pasir. Untuk penanggulangan jangka panjang, pengendapan sedimen pada waduk ini direncanakan dengan teknologi *suction method*. Teknologi *suction method* adalah sistem penghisapan sedimen dari waduk ke hilir dengan mengalirkannya melalui saluran terowongan *bypass*. Sedimen dari waduk dihisap dengan sistem *siphoned off* dan dialirkan melalui *bypass tunnel* ke daerah hilir bendungan. Keuntungan metode ini antara lain adalah penggunaan air waduk untuk penghisapan sedimen relatif kecil. (E. Mawardi, 2010).

METODOLOGI

Metodologi penelitian ini dilakukan dengan bantuan uji model fisik di laboratorium hidrolika, yang dilaksanakan dengan mengikuti tahapan kegiatan pengumpulan data, pembuatan rancangan model, pembuatan model, melakukan percobaan pengaliran. Hasil percobaan pengaliran dianalisis dan dievaluasi. Selama percobaan berlangsung dilakukan pula pengamatan secara visual.

PERCOBAAN PENGALIRAN

1 Konsep Desain Pipa Hisap

Konsep desain pipa hisap untuk penghisapan sedimen dari waduk ke sungai bagian hilir dirancang dengan empat tipe model, dengan desain:

1) Tipe 1

Pipa dengan lubang bukaan persegi panjang mendatar berselang-seling di sekeliling dan sepanjang jalur pipa. Ujung udik pipa terbuka. Pipa tak dapat bergerak ke arah vertikal maupun arah horizontal. Pipa tanpa dilengkapi katup pengatur air. Bahan pipa pvc, berdiameter 10 cm, panjang 3,0 meter diletakkan di atas hamparan pasir. Lubang pipa setiap panjang 20 cm, dibuat pada bagian sisi kanan, sisi kiri dan bagian bawahnya. Ukuran lubang pipa yakni panjang 10 cm dan lebar 2 cm.

Bagian hilir pipa dihubungkan ke tampungan sedimen. Perbedaan ketinggian pipa antara udik dan hilir 1,70 meter. Sudut kemiringan pipa antara mendatar dan yang miring sebesar 41°. Keadaan model dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar ini menunjukkan desain pipa hisap sedimen Tipe 1 – Model Seri 0. Panjang pipa 3,0 m, diameter 10 cm, dengan bahan pipa pvc. Pipa berlubang selang-seling di sepanjang pipa. Lubang pipa berukuran panjang 10 cm, lebar 2 cm. Bagian pemasukan pipa menghadap ke arah aliran. Pipa diletakkan di atas hamparan pasir.

2) Tipe 2

Pipa dengan lubang bukaan persegi panjang mendatar dengan jumlah lubang 2/3 kali jumlah lubang Tipe 1. Ujung udik pipa dilengkapi belokan 90° menghadap ke atas. Pipa tak dapat bergerak ke arah vertikal maupun arah horizontal. Pipa dilengkapi katup pengatur air yang ditempatkan di bagian hilir bendungan. Keadaan lainnya sama dengan model Tipe 1.

3) Tipe 3

Pipa dengan lubang bukaan persegi panjang mendatar dengan jumlah lubang 1/2 dari jumlah lubang Tipe 1. Lubang-lubang ditempatkan di bagian udik jalur pipa. Ujung udik pipa dilengkapi belokan 90° menghadap ke atas. Pipa tak dapat bergerak ke arah vertikal maupun arah horizontal. Pipa dilengkapi katup pengatur air yang ditempatkan di bagian hilir bendungan. Keadaan model lainnya sama dengan model Tipe 1. Keadaan model dapat dilihat pada Gambar 2.

4) Tipe 4

Pipa dengan lubang bukaan tunggal di bagian udik jalur pipa. Lubang menghadap ke bawah. Bahan pipa dari karet berdiameter 5 inch atau 12,70 cm. Ujung bawah mulut pipa di potong dengan celah bukaan berbentuk huruf V terbalik. Pipa dilengkapi katup pengatur air yang ditempatkan di bagian hilir bendungan. Pipa dapat bergerak ke arah vertikal. Keadaan model dapat dilihat pada Gambar 3.

2 Fasilitas Saluran Penempatan Pipa Hisap

Model pipa hisap dibangun pada saluran pasangan batu. Bagian tengah saluran terbuat dari dinding kaca. Panjang saluran 20,0 meter, lebar 1,00 meter, dan tinggi 1,50 meter. Di atas dasar saluran diletakkan hamparan pasir alam berdiameter $d_{50}=0,45$ mm. Kedalaman pasir setinggi 60 cm. Ukuran partikel pasir *uniform* dan kerapatan massa, $\rho_s=2550$ kg/m³. Di bagian hilir saluran dibangun bak tampungan pasir dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi 2,0 m x 1,0 m x 80 cm. Jumlah aliran ke saluran diukur dengan alat ukur debit.

3 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penyelidikan yaitu:

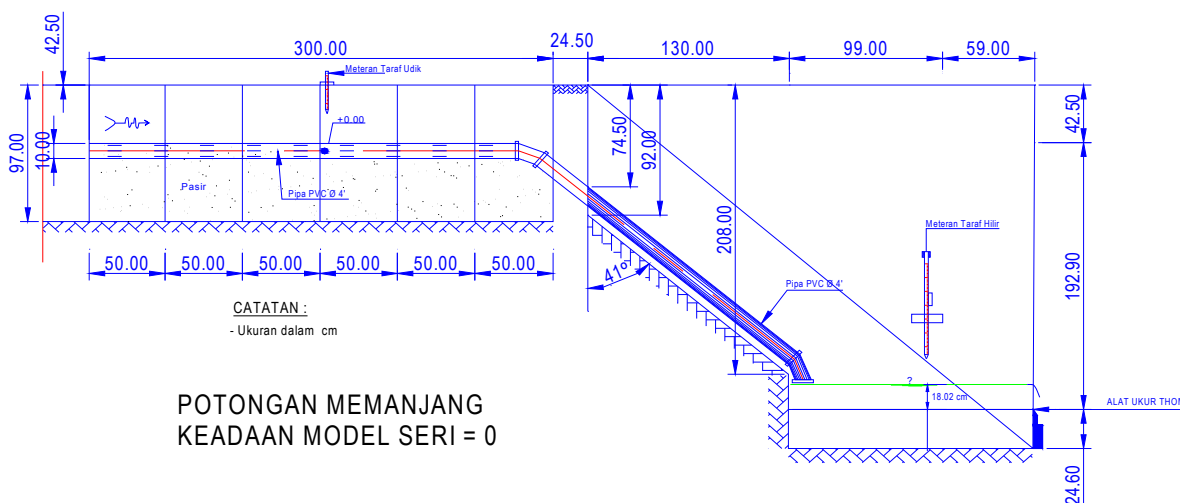
- Alat pengukur debit aliran air tipe Thomson.
- Meteran taraf sebagai alat pengukur tinggi muka air.
- Alat untuk pengukur kecepatan aliran.
- Alat pengukur jumlah sedimen yang tertampung di bak tampung.
- Waterpas dan theodolit, zat warna, kamera.

Peralatan tersebut di atas merupakan peralatan yang tersedia di laboratorium hidrolika.

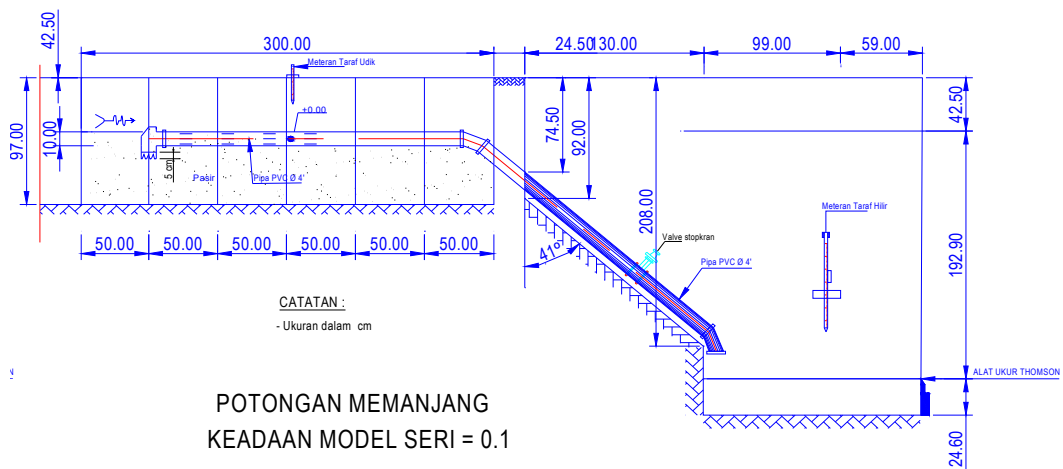
4 Prosedur Percobaan dan Indikator Keberhasilan Penghisapan Sedimen

Prosedur percobaan pengaliran dilakukan sebagai berikut:

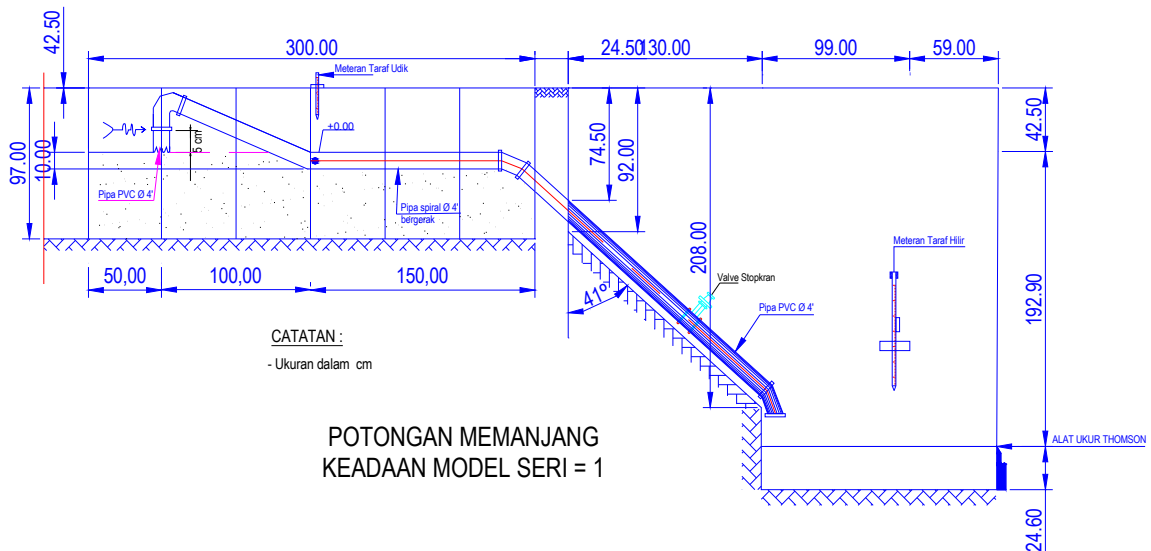
- Air dialirkan ke saluran di mana model pipa hisap dibangun, dengan debit tertentu. Jumlah debit pengaliran diukur pada alat ukur debit. Pengaliran air dicoba dengan beberapa variasi debit.



Gambar 1 Desain Pipa Hisap Sedimen Tipe 1



Gambar 2 Desain Pipa Hisap Sedimen Tipe 3



Gambar 3 Desain Pipa Hisap Tipe 4

- 2) Elevasi muka air di atas pipa hisap, di udik pipa hisap dan di hilirnya diukur ketinggiannya saat sedang pengaliran.
- 3) Di akhir percobaan jumlah sedimen yang terhisap dan terkumpul pada bak tampungan sedimen diukur jumlahnya dan keadaan penggerusan setempat di sekitar pipa hisap dibuat garis ketinggiannya atau garis kontur.
- 4) Lama pengaliran 60 menit dan 30 menit di model.
- 5) Percobaan pengaliran untuk Tipe 1 yang tidak dilengkapi katup pengatur air di hilir, dilakukan dengan mengatur debit pemasukan dari bagian udiknya sehingga diperoleh tiga variasi tinggi air. Sedangkan pipa hisap Tipe 2, 3 dan 4, percobaan pengaliran dilakukan dengan mengatur bukaan katup pengatur air di hilir sedemikian rupa sehingga diperoleh tinggi muka air udik yang tetap atau konstan.
- 6) Indikator keberhasilan penghisapan sedimen dari setiap desain pipa hisap adalah seberapa banyak jumlah sedimen yang terhisap pada bak tampung di akhir percobaan pengaliran dan seberapa besar kedung penggerusan setempat yang terjadi di sekitar pipa hisap di akhir percobaan.

Teknologi pipa hisap sedimen ini akan menghisap sedimen dengan memanfaatkan perbedaan tinggi antar energi potensial air di udik bendungan dan di bagian hilirnya.

5 Hasil Percobaan Pengaliran

Percobaan pengaliran dilakukan terhadap model dengan beberapa variasi debit air. Prosedur percobaan dilakukan seperti disebut pada pasal sebelumnya. Hasil percobaan dituangkan dalam Tabel 1 & 2 dan Gambar 4, 5, 6.

Gambar 2 adalah desain pipa hisap sedimen Tipe 3 – Model Seri 0,1. Panjang pipa 2,50 m, diameter 10 cm. Bahan pipa pvc. Pipa yang berlubang hanya bagian udik saja sepanjang 1,50 m. Bagian pemasukan pipa menghadap ke arah bawah pasir. Pipa juga terletak di atas hamparan pasir.

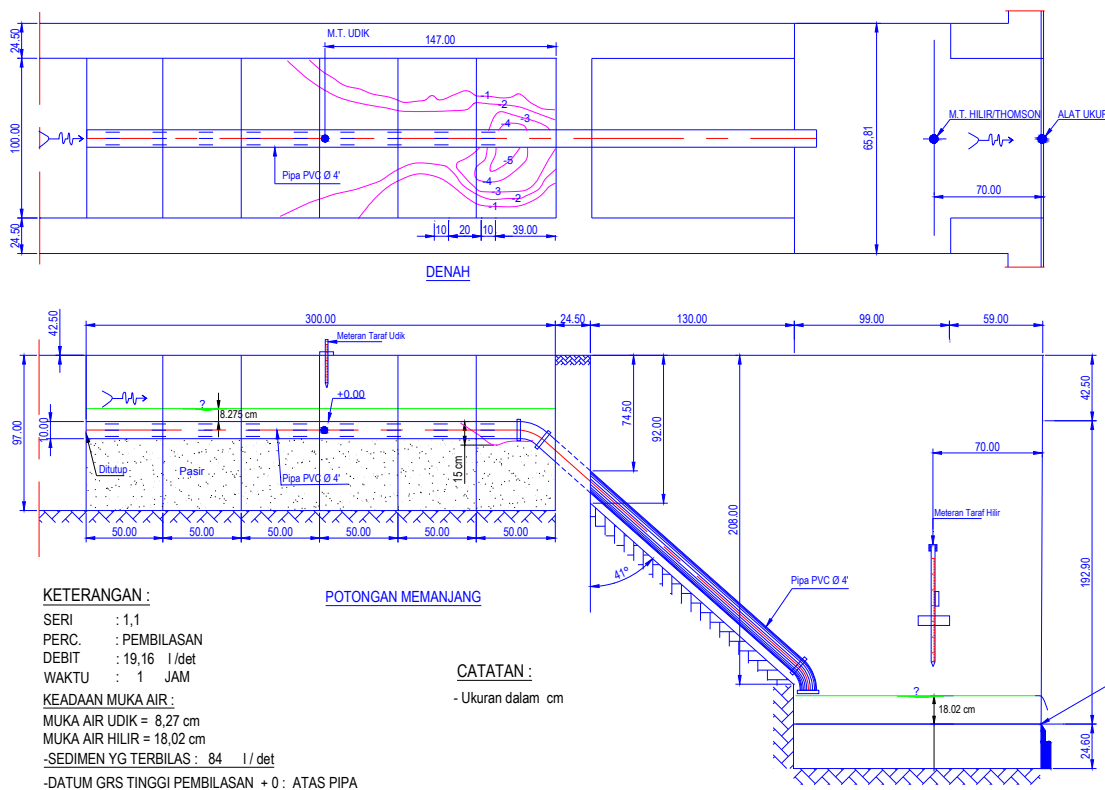
Gambar 3 adalah desain pipa hisap sedimen Tipe 4 – Model Seri 1. Panjang pipa 2,50 m, diameter 10 cm. Bahan bagian pangkal pipa pvc dan bagian ujung karet spiral. Pipa yang berlubang hanya bagian mulut saja. Bagian pemasukan pipa menghadap ke arah bawah atau pasir. Pipa bagian pangkal terletak di atas hamparan pasir dan bagian ujung pipa terletak agak tinggi dari permukaan pasir.

Gambar 4 adalah keadaan hasil percobaan penggerusan setempat, model Tipe 1. Penggerusan setempat yang terjadi sesudah percobaan pengaliran hanya di bagian pangkal pipa saja. Kedung

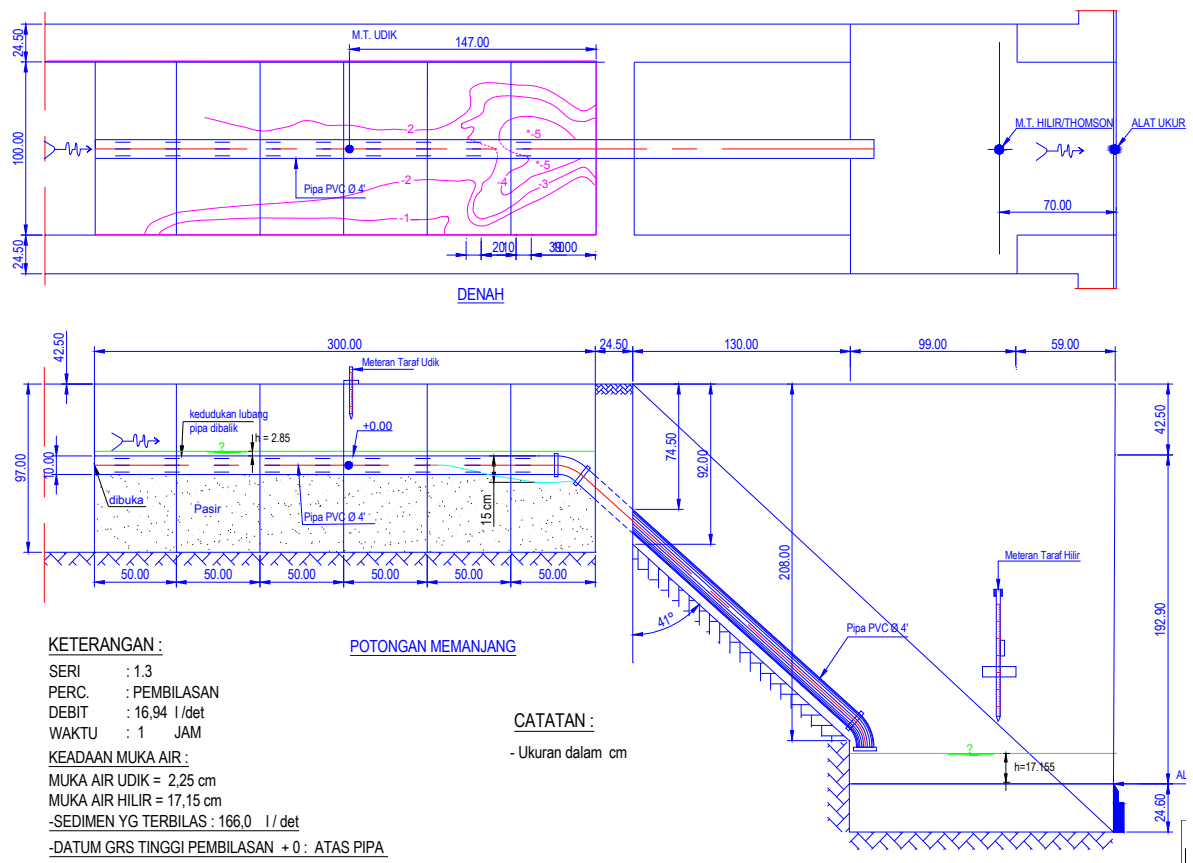
penggerusan setempat tidak dalam. Desain bentuk ini ternyata tidak efektif menghisap sedimen.

Gambar 5 adalah keadaan hasil percobaan penggerusan setempat, model Tipe 2. Penggerusan setempat yang terjadi sesudah percobaan pengaliran di bagian pangkal dan bagian tengah pipa. Debit pengaliran lebih kecil dari percobaan sebelumnya. Kedung penggerusan setempat yang terjadi sesudah percobaan lebih dalam dari sebelumnya. Diketahui bahwa jika muka air udik lebih rendah penggerusan setempat yang terjadi lebih dalam dibandingkan jika debit lebih besar.

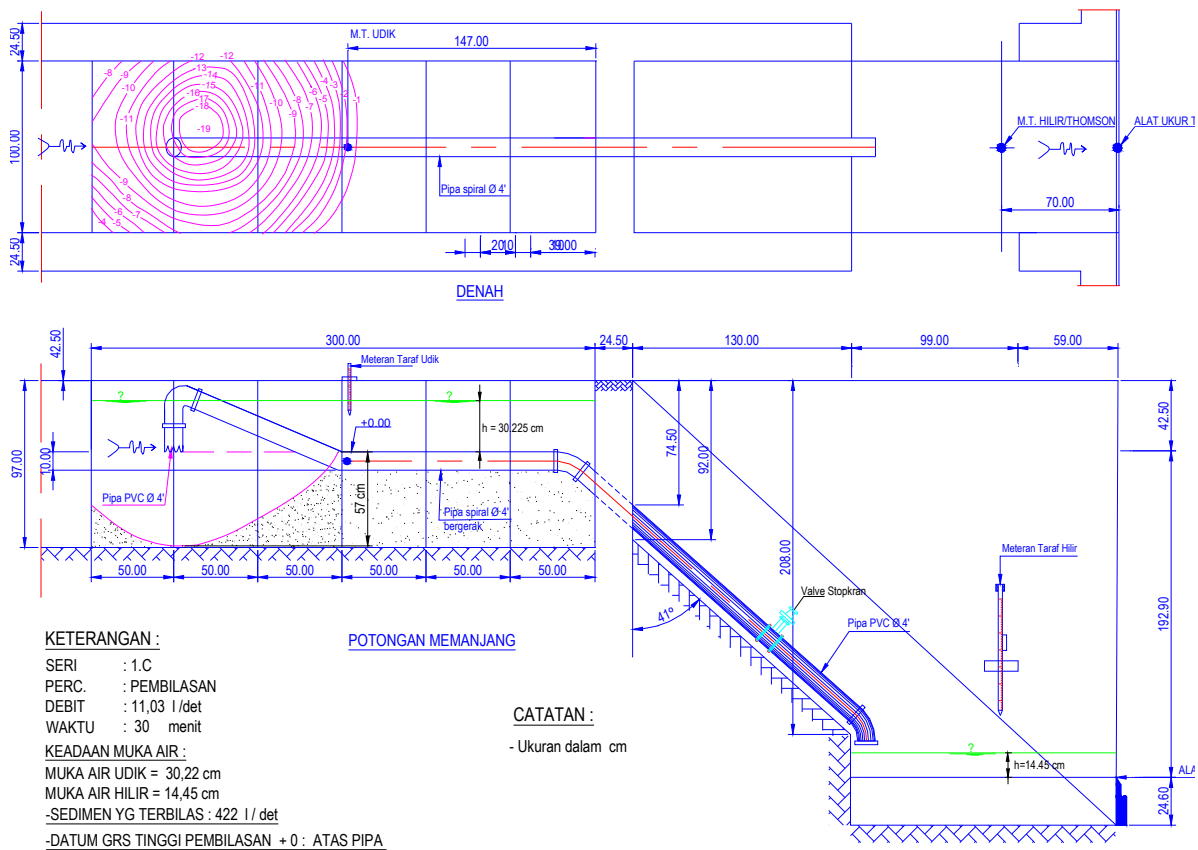
Gambar 6 adalah keadaan hasil percobaan penggerusan setempat terhadap model Tipe 4. Penggerusan setempat yang terjadi sesudah percobaan pengaliran di bagian mulut pipa lebih dalam dan lebih luas. Kedung penggerusan setempat mencapai dasar saluran. Dibandingkan dengan hasil-hasil percobaan sebelumnya model Tipe 4 ini jauh lebih efektif. Penghisapan sedimen lebih besar. Bentuk desain lubang pipa yang terletak di bagian mulut pipa ternyata lebih besar menghisap sedimen, dibandingkan dengan desain lubang pipa yang berselang seling di sepanjang pipa.



Gambar 4 Keadaan Hasil Percobaan Penggerusan Setempat Model Tipe 1



Gambar 5 Keadaan Hasil Percobaan Penggerusan Setempat Model Tipe 2



Gambar 6 Keadaan Hasil Percobaan Penggerusan Setempat, Model Tipe 4

Tabel 1 Hasil Percobaan Pengaliran Penghisapan Sedimen

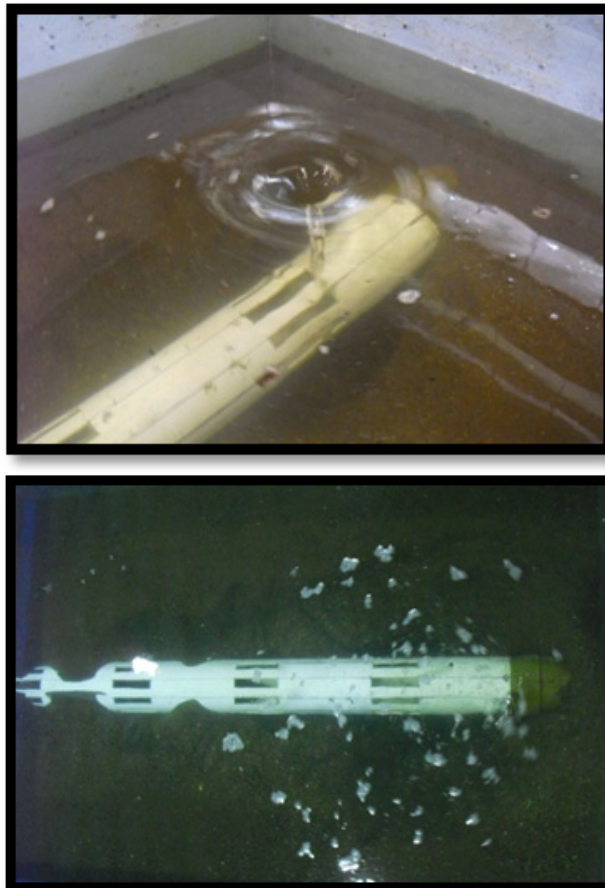
No. Seri Percobaan	Debit (liter/s)	Lama pengaliran (menit)	Tinggi muka air udik (cm)	Jumlah sedimen terhisap (liter)	Keterangan
1.1	19,16	60	8,30	84	Tipe 1
1.2	24,67	60	13,14	111	Tipe 1
1.3	16,94	60	2,25	166	Tipe 1
2.1	6,29	60	9,70	54	Tipe 1
2.2	13,90	60	19,93	40	Tipe 2
2.3	7,62	60	30	12	Tipe 2
3.1	13,68	35	10,25	50	Tipe 3
3.2	13,31	30	20,0	26	Tipe 3
3.3	16,17	35	35,9	22	Tipe 3
4.1	15,6	30	28,9	400	Tipe 4
4.2	6,21	30	20,0	500	Tipe 4
4.3	11,0	30	30,0	422	Tipe 4

Tabel 2 Hasil Percobaan Pengaliran Penggerusan Setempat

No. Seri Percobaan	Debit (liter/s)	Lama pengaliran (menit)	Tinggi muka air udik (cm)	Gerusan setempat terdalam (cm)	Keterangan
1.1	19,16	60	8,30	15	Tipe 1
1.2	24,67	60	13,14	18	Tipe 1
1.3	16,94	60	2,25	15	Tipe 1
2.1	6,29	60	9,70	15	Tipe 1
2.2	13,90	60	19,93	15	Tipe 2
2.3	7,62	60	30	13,5	Tipe 2
3.1	13,68	35	10,25	21	Tipe 3
3.2	13,31	30	20,0	15	Tipe 3
3.3	16,17	35	35,9	15	Tipe 3
4.1	15,6	30	28,9	51	Tipe 4
4.2	6,21	30	20,0	57	Tipe 4
4.3	11,0	30	30,0	57	Tipe 4

Tabel 3 Debit Sedimen Terhisap

No. Seri Percobaan	Debit (liter/s)	Jumlah sedimen terhisap (liter)	Debit sedimen (liter/s)
1.1	19,16	84	0,023
1.2	24,67	111	0,031
1.3	16,94	166	0,046
2.1	6,29	54	0,015
2.2	13,90	40	0,011
2.3	7,62	12	0,003
3.1	13,68	50	0,024
3.2	13,31	26	0,014
3.3	16,17	22	0,010
4.1	15,6	400	0,222
4.2	6,21	500	0,278
4.3	11,0	422	0,234



Gambar 7 Keadaan Percobaan Saat sedang Pengaliran Model Tipe 1

Hasil percobaan pengaliran untuk mengetahui keadaan penghisapan sedimen disajikan pada Tabel 1 di atas. Dengan berbagai seri percobaan terhadap beberapa tipe diketahui jumlah pengaliran sedimen dalam satuan waktu tertentu. Dari keempat tipe maka Tipe 4 adalah yang berpengaruh paling tinggi terhadap penghisapan sedimen. Penghisapan sedimen terbesar terjadi untuk Tipe 4. Jika muka air di atas pipa lebih rendah penghisapan sedimen lebih tinggi. Hal ini tampak pada pengaliran model Tipe 4.

Hasil percobaan pengaliran untuk mengetahui keadaan penggerusan setempat disajikan pada Tabel 2 di atas. Dengan berbagai seri percobaan terhadap beberapa tipe diketahui keadaan penggerusan setempat. Dari ke empat tipe maka Tipe 4 adalah tipe yang paling berpengaruh menghisap sedimen sehingga penggerusan setempat yang terjadi sesudah percobaan pengaliran lebih dalam. Penggerusan setempat yang terjadi pada Tipe 4 kurang lebih tiga kali lebih dalam dibandingkan dengan model lainnya. Berdasarkan percobaan pengaliran yang dilakukan seperti dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 di atas dapat dihitung debit sedimen terhisap seperti dituangkan pada Tabel 3.

Berdasarkan gambaran debit sedimen yang terhisap seperti Tabel 3 di atas dapat diketahui hal-hal sebagai berikut:

- 1) Debit sedimen terbesar yang terhisap yaitu 0,278 l/s untuk desain pipa hisap sedimen Tipe 4.
- 2) Untuk Tipe 1 s.d Tipe 3 penghisapan sedimen berkisar antara 0,003 s.d 0,046 l/s.
- 3) Efektivitas penyedotan sedimen yang tinggi terjadi pada bentuk desain pipa hisap Tipe 4.
- 4) Desain pipa hisap Tipe 1 s.d Tipe 3 kurang efektif menghisap sedimen ke hilir.

Gambar 7 merupakan keadaan pipa sedang pengaliran.

Keadaan model pipa hisap Tipe 1 berlubang selang-seling. Model pipa hisap terletak di atas hamparan pasir setinggi 60 cm pada saluran, panjang 20,0 m lebar dan tinggi 1,0 m. Pada Gambar 7 tampak *vortex* aliran penghisapan sedimen dan foto bagian bawahnya tampak keadaan penggerusan setempat yang terjadi pada bagian pangkal pipa saja.

6 Pembahasan Hasil Percobaan

Berdasarkan pengamatan secara visual selama percobaan pengaliran dan mempelajari hasil sesudah percobaan pengaliran terhadap model Tipe 1 s.d Tipe 3 dapat diketahui hal-hal sebagai berikut.

1) Pembahasan Hasil Model Tipe 1

Jumlah sedimen yang terhisap dari waduk ke hilir relatif kecil. Kedalaman lubang penggerusan setempat sesudah percobaan pengaliran relatif dangkal dan dengan lokasi hanya sekitar lubang/bukaan pipa. Lubang-lubang pipa yang menghisap sedimen hanya pada lubang pipa bagian pangkal saja. Lubang-lubang yang lain pada bagian ujung pipa tidak berfungsi sama sekali menghisap sedimen. Sedimen terbesar yang terhisap 84 liter. Lubang penggerusan setempat terdalam yang terjadi hanya di sekitar lubang pipa bagian pangkal dengan kedalaman 25 cm atau 1,5 kali diameter pipa. Disimpulkan bahwa desain pipa hisap model ini tidak efektif mengalirkan sedimen ke hilir.

2) Pembahasan Hasil Model Tipe 2

Untuk meningkatkan penghisapan sedimen ke hilir dilakukan beberapa modifikasi desain pipa hisap. Modifikasi yang dilakukan yaitu bagian *inlet* pipa yang tertutup dibuat menjadi terbuka. Lubang di bagian pangkal pipa di tiga tempat ditutup. Bagian ujung pipa dipotong sepanjang 50 cm sehingga panjang pipa menjadi 2,50 meter. Bagian *inlet* pipa dibuat menjadi tegak dan ditutup.

Terhadap desain modifikasi pipa hisap ini dilakukan percobaan pengaliran dengan prosedur yang sama dengan keadaan sebelumnya. Berdasarkan percobaan pengaliran yang dilakukan terhadap pipa hisap ini diketahui bahwa penyedotan sedimen ke hilir lebih meningkat dari keadaan sebelumnya. Lubang penggerusan setempat yang terjadi sesudah percobaan pengaliran lebih dalam dibandingkan dengan keadaan sebelumnya. Namun demikian lubang-lubang pipa yang ada pada bagian lain pipa masih tidak efektif menyedot sedimen. Penyedotan sedimen terbesar terjadi hanya pada bagian pangkal pipa saja.

3) Pembahasan Hasil Model Tipe 3

Pengaruh perubahan desain pipa hisap dipelajari dengan model Tipe 3. Diketahui bahwa penghisapan sedimen lebih besar dibandingkan dengan tipe sebelumnya. Makin besar pengaliran debit air dan kedalaman air di atas pipa rendah penyedotan sedimen semakin besar. Sebaliknya jika muka air di atas pipa makin tinggi pada pengaliran debit air yang sama, daya hisap sedimen makin rendah, sehingga jumlah sedimen yang terhisap juga sedikit. Dibandingkan dengan model sebelumnya model tipe ini lebih baik ditinjau dari segi penghisapan sedimen dan kedung penggerusan setempat.

Beberapa modifikasi desain pipa seperti pemotongan panjang pipa bagian ujung, penutupan lubang pipa di bagian pangkal,

penutupan *inlet* pipa, dan mengubah *inlet* pipa dari mendatar menjadi menghadap ke atas hanya memberikan pengaruh sedikit lebih besar dibandingkan dengan model sebelumnya. Efektifitas penyedotan sedimen masih relatif rendah. Lubang gerusan setempat yang terjadi tidak dalam.

4) Pembahasan Hasil Model Tipe 4

Berdasarkan pengamatan secara visual selama percobaan pengaliran dan mempelajari hasil sesudah percobaan pengaliran terhadap model Tipe 1 s.d Tipe 3 diketahui bahwa pengaliran sedimen ke hilir tidak efektif. Oleh karena itu desain pipa hisap diubah menjadi model Tipe 4.

Berdasarkan hasil percobaan pengaliran yang dilakukan terhadap model tipe ini diketahui bahwa jumlah sedimen yang tersedot dari waduk ke hilir relatif besar. Keadaan penggerusan setempat sesudah percobaan pengaliran relatif dalam. Lubang penggerusan setempat terdalam yang terjadi di sekitar mulut pipa cukup luas.

Bahwa teknik penghisapan sedimen dengan menggunakan pipa hisap model Tipe 4 dapat menghisap sedimen relatif besar. Setelah sedimen terhisap menggunakan metoda ini, terbentuk lubang gerusan berbentuk kerucut terbalik pada endapan sedimen yang tersisa. Jika tinggi muka air rendah, kuantitas sedimen yang terhisap menjadi lebih besar dibandingkan jika muka air tinggi.

Gigi-gigi pada *inlet* pipa menyebabkan mulut pipa tidak tertutup oleh sedimen dan memberikan pengaruh terhadap penghisapan sedimen. Pipa yang *flexible* dapat bergerak ke arah bawah dapat menghisap sedimen lebih efektif. Lubang penggerusan setempat yang terjadi mencapai 18 cm atau 1,8 kali diameter pipa. Sedimen yang terhisap dan mengalir ke hilir sejumlah 500 liter atau sepuluh kali lebih besar dibandingkan dengan model sebelumnya.

5) Ringkasan Hasil Percobaan

Secara ringkas diketahui beberapa hal sebagai berikut:

- a) Proses pengaliran sedimen melalui pipa sangat dipengaruhi oleh efek hisapan dan aliran turbulen yang terjadi di sekitar lubang bukaan. Hal ini terlihat pada tipe bukaan dengan banyak lubang di sepanjang jalur pipanya. Penggerusan setempat terjadi hanya di sekitar lubang bukaan terhilir.
- b) Lubang bukaan yang paling efektif dalam menghisap sedimen adalah lubang bukaan tunggal yang menghadap ke bawah (Tipe 4), dimana dengan besar debit air yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan percobaan

menggunakan tipe bukaan lainnya, debit sedimen yang terhisap lebih besar.

- c) Tekanan air yang besar di atas permukaan sedimen mengakibatkan berkurangnya efek hisapan sedimen.
- d) Berkaitan dengan hasil percobaan seperti diuraikan di atas maka model Tipe 4 dapat dicoba di lapangan sebagai *pilot project*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan pengaliran terhadap pipa hisap sedimen Tipe 1 s.d Tipe 3 diketahui pengaruhnya terhadap penghisapan sedimen ke hilir relatif kecil dan tidak efektif. Lubang penggerusan setempat yang terjadi di sekitar lubang-lubang pipa tidak dalam. Teknologi desain pipa hisap bentuk ini selanjutnya sulit dikembangkan.

Disimpulkan bahwa pipa hisap sedimen seperti model Tipe 4 jauh lebih efektif dan jauh lebih tinggi penghisapan sedimennya ke hilir dibandingkan dengan teknik penghisapan sedimen pipa hisap model sebelumnya.

Pada model pipa hisap Tipe 4 sedimen yang terhisap ke hilir relatif besar. Lubang penggerusan setempat yang terjadi di sekitar "mulut" pipa cukup dalam. Teknologi pipa hisap bentuk ini selanjutnya dapat dikembangkan untuk mengalirkan sedimen dari waduk ke hilir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan di Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan (Balai BHGK) yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam kegiatan penyelidikan dengan model fisik ini.

Terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan peneliti yang telah memberikan kontribusinya dalam kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 1995. *Pedoman Teknis Sederhana Bangunan Pengaliran untuk Pedesaan*. Jakarta: PT. Medisa.
- Erman Mawardi. 2010. *Partisipasi Masyarakat dan Pengelolaan Sumber Daya Air di Jepang*. Bandung: Alfabeta.
- HR. Mulyanto, 2008, *Efek Konservasi dari Sistem Sabo untuk Pengendalian Sedimentasi Waduk*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kamir R. Brata dan Anne Nelistya. 2008. *Lubang Resapan Biopori*. Depok: Penebar Swadaya.

Toshiyuki Sakurai, N.Hakoishi, and J. Kashiwai, T. Izumia, eds. 2007. Development of Sediment Supply Measures for Restoration of Riverbed Environment at the Downstream of the Dam-Sediment Discharge Facility by Sheet and Suction Pipe and Air Valve, Paper. *4th International Symposium on Modern Technology of Dams*. Tokyo.