

PIPA GERAK TERAPUNG SEBAGAI ALTERNATIF USAHA PENGENDALIAN SEDIMENTASI PADA WADUK



Oleh :

Ir. Setiyadi, MT

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
Semester Genap 2010/2011

PIPA GERAK TERAPUNG SEBAGAI ALTERNATIF USAHA PENGENDALIAN SEDIMENTASI PADA WADUK¹

Setiyadi²

ABSTRACT

Reservoir as a facility of water resource management is threatened by sedimentation. Consider that reservoir construction cost is very expensive, reservoir sediment control becomes a strategic action. This paper presents a controlling method of reservoir sedimentation i.e. sediment flushing method. This method uses a moveable pipe that exploits the water potential energy. As an alternatif method, sediment flushing of reservoir should be studied further in order to check the level of relevance for reservoirs in Indonesia.

ABSTRAK

Waduk sebagai sarana pengelolaan sumber daya air terancam kelestariannya oleh sedimentasi. Mengingat biaya pembangunan waduk sangat besar maka pengendalian sedimentasi waduk merupakan langkah yang strategis. Pada makalah ini disajikan salah satu cara pengendalian sedimentasi waduk yaitu: Pengurasan sedimen dengan pipa gerak yang bekerja secara gravitasi dengan memanfaatkan potensi energi air. Cara ini perlu diteliti lebih jauh sebagai alternatif pengendalian sedimentasi waduk untuk mengetahui tingkat kecocokannya bagi berbagai waduk di Indonesia.

I. PENDAHULUAN.

Dalam upaya melestarikan waduk sebagai sarana pemanfaatan sumber daya air, masalah berat yang kita hadapi adalah sedimentasi yang akan memenuhi seluruh tampungan waduk. Demikian pula yang terjadi pada waduk-waduk yang ada di Indonesia pada umumnya, sehingga dikhawatirkan tidak akan mencapai umur yang direncanakan. Untuk mengatasi masalah ini, disamping meneruskan usaha-usaha yang telah dilaksanakan yaitu pengolahan daerah tangkapan air (*catchment area*), harus dicari alternatif lain untuk menda-

patkan cara yang lebih efektif dan efisien.

Banyak cara yang telah dilakukan manusia untuk mengendalikan sedimentasi dalam waduk yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Efisiensi dan efektifitas suatu sistem pengendalian tersebut sangat tergantung pada karakteristik waduk dan daerah tadahan airnya.

Dengan mempelajari karakteristik dan daerah tadahan air waduk Gajah mungkur, dicoba menganalisis penggunaan pipa gerak terapung untuk mengurangi sedimentasi dalam waduk.

¹ Ditulis untuk Jurnal EMAS

² Staf pengajar Jurusan Sipil FT UKI, Jakarta

II. METODOLOGI

Pada tulisan ini kami pakai metode :

- **Studi Literatur.**

Kajian kami tentang thema sedimentasi, kami angkat di sini dari berbagai sumber tentang Morfologi Sungai dan permasalahan sedimen. Kami tinjau juga pentingnya Daerah Tangkapan Airnya (DTA) di bagian hulu sungai, yang mempunyai pengaruh besar pada proses transport sediment. Pengaruh itu meliputi, susunan alluvial geologi/tanah, siklus hidrologi, besarnya debit air sungai.

III. TINJAUAN TEORI SEDIMENTASI WADUK.

3.1. Sumber Sedimen.

Sedimen yang masuk dalam waduk, baik sedimen kasar maupun halus, berasal dari erosi daerah tangkapan airnya. Laju erosi daerah tangkapan air di Indonesia umumnya cukup tinggi, sehingga banyak bahan sedimen yang terangkut ke sungai yang menjadi sumber sedimentasi waduk. Hal ini akibat dari faktor-faktor sebagai berikut :

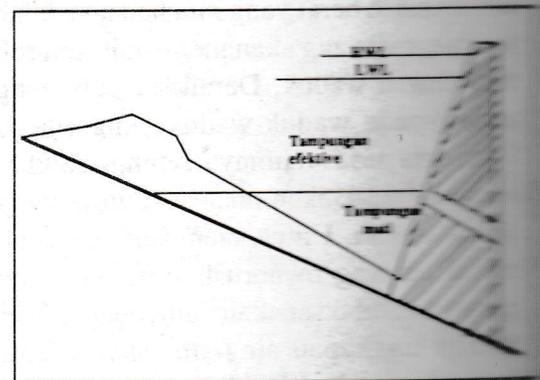
- a. Struktur geologi yang tidak mantap karena terletak di daerah patahan (Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara dan Sulawesi).
- b. Banyak efektifitas gunung berapi yang menghasilkan material lepas.
- c. Laju pelapukan batuan yang cukup tinggi karena beriklim tropika basah.
- d. Praktek pengolahan tanah yang kurang memperhatikan konservasi tanah. Sebagian besar lahan daerah tadahan dihuni oleh petani dengan taraf hidup yang relatif rendah,

sehingga mereka kurang memperhatikan bahaya erosi lahan dalam berjuang mempertahankan hidup, agar dapat hidup layak.

Dengan kondisi seperti di atas disertai dengan curah hujan yang tinggi mengakibatkan banyak bahan sedimen yang terangkut ke sungai, yang menjadi sumber sedimentasi waduk.

3.2. Distribusi Sedimen.

Sedimen yang masuk kedalam waduk tersebut di seluruh genangan waduk dengan mengikuti pola tertentu. Sedimen kasar yang berasal dari angkutan dasar (*bed load*) mengendap di cekungan waduk sekitar mulut sungai dan membentuk permukaan yang hampir datar. Sedangkan sedimen halus yang berasal dari angkutan tersuspensi tersebar jauh ke seluruh genangan waduk hingga mencapai pintu pengambilan.

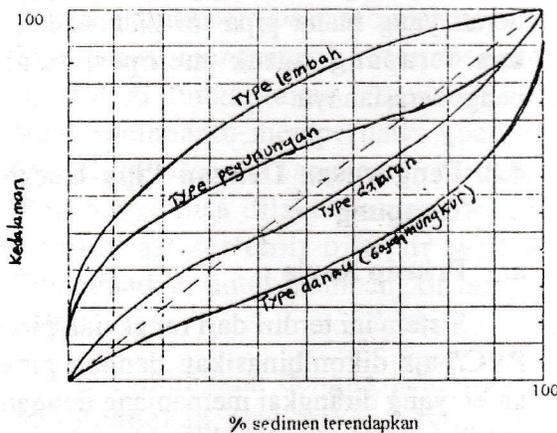


Gambar 3.1. Penyebaran Sedimen Dalam Waduk.

Pola penyebaran sedimen dalam ditentukan oleh :

- a). karakteristik butiran sedimen.
- b). bentuk genangan waduk.
- c). kedalaman air waduk.

Makin halus ukuran sedimen, butiran sedimen terendapkan makin jauh pula dari mulut sungai. Pada umumnya butiran halus mempunyai gradasi yang merata sehingga pada arah memanjang pada waduk, sedimen halus membentuk endapan dengan ketebalan yang hampir merata, pada bagian yang paling dalam membentuk endapan yang lebih tebal sebanding dengan kedalamannya (lihat gambar 3.2). Pola pengendapan ini akan memberikan bentuk akhir endapan yang relatif datar.



Gambar 3.2. Pola Pengendapan Sedimen tersuspensi

IV. P E N G E N D A L I A N S E D I M E N T A S I.

Waduk yang telah dipenuhi sedimen akan hilang fungsinya sebagai penampung air/pemasok air (irigasi, industri, dan domestik), pembangkit tenaga listrik, pengendali banjir, perikanan dan lain-lain. Bekas genangan waduk akan membentuk sebuah rawa yang sulit dimanfaatkan, bahkan bisa menjadi sumer penyakit. Disamping itu pada waduk dengan bendungan tinggi, jika bangunan pelimpahnya kurang kokoh,

bekas waduk ini merupakan potensi bencana yang tidak kecil.

4.1. Cara-cara Pengendalian Sedimen

4.1.1. Pengelolaan Daerah Tadahan Air (DTA)

Usaha Pengendalian sedimentasi waduk yang hingga kini masih populer adalah pengelolaan Daerah Tangkapan Airnya. Teknik Pengelolaan Daerah Tangkapan Air untuk pengendalian erosi antara lain sebagai berikut :

a. Penghijauan dan Terasering.

Pengelolaan lahan kritis dengan penghijauan dan terasering sangat efektif untuk daerah kawasan hutan dan tanah negara lainnya. Cara ini dapat memperbaiki kualitas lahan serta mengendalikan erosi dan aliran permukaan. Akan tetapi untuk lahan milik rakyat cara ini kurang berhasil karena sulit mengendalikan aktifitas penduduk yang cenderung menjangkau proses terjadinya erosi di beberapa tempat, misalnya pengelolaan lahan kering di daerah perbukitan sangat mempercepat laju erosi. Disisi lain, pengelolaan lahan yang mampu meningkatkan kesuburan tanah, mengakibatkan tingkat erodibilitas tanah menjadi lebih besar. Maka apabila lahan yang telah dikelola tersebut tidak bisa dipertahankan atau terjadi bencana (kebakaran hutan, pelongsoran tebing, kerusakan lahan dan lain-lain) akan lebih banyak material yang tererosi.

b. Pembangunan Dam Pengendali Sedimen.

Cara ini sangat efektif untuk mencegah sedimen agar tidak masuk ke

dalam waduk utama, tetapi dalam hal ini hanya mampu mengontrol sebagian kecil dari daerah tangkapan air dan kapasitas tampungannya juga terbatas. Disamping biaya pembangunannya yang relatif besar, dam pengendali ini hanya bisa dibangun pada tempat-tempat tertentu yang memenuhi persyaratan topografi.

4.1.2. Pengerukan

Pengerukan bisa dilakukan dengan alat mekanik pada keadaan kering dan bisa dibantu sistem hidraulika pada keadaan tergenang. Pada umumnya cara ini jarang digunakan/diterapkan karena tidak efisien kecuali jika diperlukan bahan timbunan dari hasil pengerukan tersebut.

4.1.3 Pengurasan

4.1.3.1. Pengurasan Dengan Pintu Dasar

Cara ini efektif untuk waduk dengan genangan yang sempit dan memanjang dan pengurasan dilakukan pada saat muka air rendah sehingga bisa terjadi aliran yang cukup kuat untuk menggelontorkan sedimen. Penggelontoran harus sering dilakukan karena jika sudah memadat sulit tergelontor, maka cara ini membutuhkan banyak surplus air. Jika genangan waduk cukup lebar, maka hanya sedimen di depan pintu penguras saja yang bisa tergelontor. Jadi cara ini kurang efektif dan tidak menghemat air, tetapi pengurasan sedimen dengan pintu dasar ini bisa membilas endapan sampah sekitar pintu pengambilan.

Pembilasan ini bisa efisien jika bisa memanfaatkan fenomena density current yang mungkin terjadi dalam genangan

waduk.

4.1.3.2. Pengurasan Dengan Pipa Tetap

Cara ini tidak jauh berbeda dengan pengurasan dengan pintu dasar, yaitu bahwa efek pengurasan hanya di depan mulut pipa saja.

4.1.3.3. Pengurasan Dengan Pipa Gerak

Mengingat bentuk Waduk di Indonesia umumnya relatif lebar dan pendidat dengan prosentase sedimen halus yang besar, cara pengurasan yang lebih cocok adalah dengan menggunakan pipa gerak yang mana pipa ini bisa diletakkan terapung untuk mempermudah pengoperasiannya.

4.2. Pengurasan Dengan Pipa Gerak Terapung

a. Prinsip Kerja :

Sistem ini terdiri dari rangkaian pipa PVC/baja dikombinasikan dengan pipa karet, yang dirangkai memanjang dengan sambungan elastis dan diletakkan di atas ponton sehingga pipa bisa digerakkan dengan leluasa. Dengan gerakan ini mulut pipa bisa diarahkan pada sedimen di seluruh dasar waduk. Pengurasan berdasarkan aliran isap secara gravitasi.

Diameter pipa ditentukan berdasarkan panjang pipa, tinggi energi yang tersedia dan debit pengurasan agar didapat aliran air yang cukup mampu menguras sedimen. ujung hilir pipa diletakkan di sekitar dasar sungai hilir dan dilengkapi dengan pintu pengatur debit, sedangkan ujung huluanya diturunkan ke dasar waduk. Pemindahan mulut pipa dilayani dengan sebuah perahu motor. Mulut pipa bisa dibuat berenang

untuk penyederhanaan gerakan mulut pipa kesegala penjuru waduk. Jika pipa dibuat bercabang, mulut pipa harus dilengkapi dengan penutup supaya pengoperasiannya bisa dijalankan hanya dengan satu mulut saja.

b. Kelebihan Dan Kelemahan.

Dibandingkan dengan sistem pengelolaan Daerah Tangkapan Airnya, cara ini lebih efisien dan lebih efektif untuk mengendalikan sedimentasi waduk dan manfaatnya bisa segera diperoleh. Disamping itu pelepasan sedimen ke hilir bisa untuk mengontrol keseimbangan morfologi sungai, akan tetapi cara ini tidak membantu memperbaiki kualitas DTA nya (Daerah Tangkapan Airnya). Dan hanya bisa dilakukan pada waktu surplus air terlebih bila air waduk dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik.

Dibandingkan dengan pengurasan menggunakan pipa dasar tetap, cara ini lebih realistis karena terhindar dari problem tersumbat dan efek pengurasannya bisa mencapai seluruh genangan waduk. Pipa gerak terapung ini bisa dibangun sebagai instalasi tambahan pada waduk yang sudah ada, tidak seperti pipa dasar tetap yang harus dibangun bersamaan dengan pembangunan waduk. Akan tetapi cara ini lebih rumit serta biaya pembangunan dan pengoperasiannya lebih mahal.

Masalah utama pada sistem ini adalah jika air waduk juga dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik, karena tidak

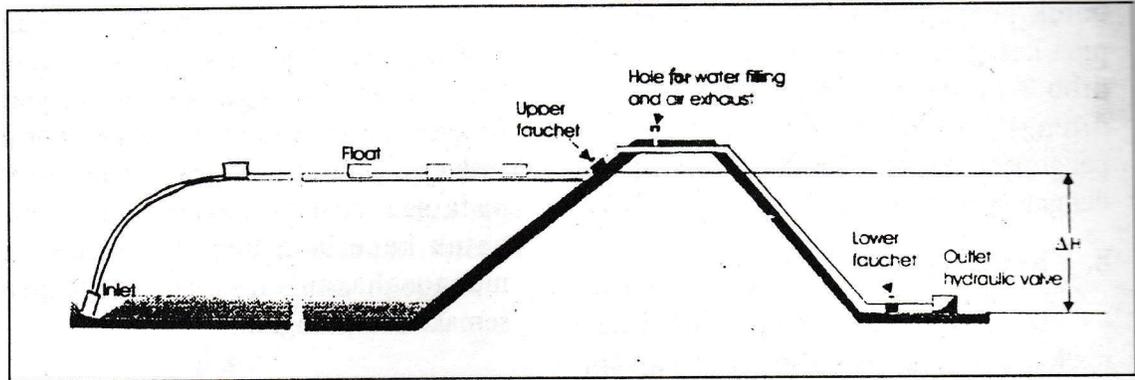
mungkin tenaga air yang dilepas dari waduk digunakan bersama-sama untuk pengurasan dan sekaligus untuk pembangkit listrik. Untuk mengatasi hal ini maka pengurasan harus banyak dilakukan pada saat-saat surplus air, jika perlu untuk keperluan pengurasan dengan mengusahakan efisiensi pengurasan semaksimal mungkin.

c. Penempatan Pipa

Tata letak pipa penguras pada waduk yang sedang di bangun bisa direncanakan dengan lebih leluasa untuk disesuaikan dengan keperluannya, sedangkan pada waduk yang sudah ada, pipa harus diletakkan di atas bendungan. Desain alignment vertikal pipa pada dasarnya harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

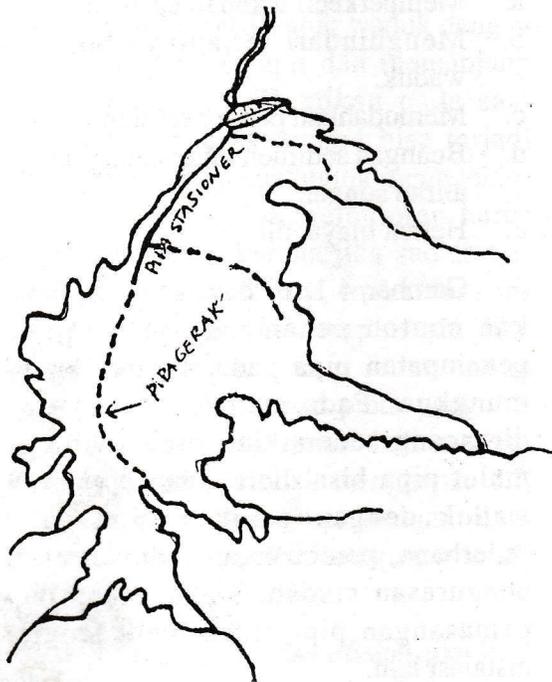
- a. Memperkecil tekanan ekstrim.
- b. Menghindari terjadinya bocoran waduk.
- c. Memudahkan pengoperasiannya.
- d. Buangan sedimen tidak mengganggu aliran sungai.
- e. Hemat biaya, dll.

Gambar 4.1. di bawah ini merupakan contoh penampang memanjang penempatan pipa pada waduk Gajahmungkur. Pada denah, letak pipa dirancang sedemikian rupa sehingga mulut pipa bisa diarahkan ke seluruh waduk dengan gerakan pipa yang sederhana, pembuangan sedimen hasil pengurasan mudah dilaksanakan dan pemasangan pipa tidak mengganggu instalasi lain.



Gb. 4.1. Penempatan pipa gerak terapung memanjang

Kesulitan yang dihadapi adalah jika energi air untuk mengisap sedimen kurang kuat akibat pipa terlalu panjang sedangkan tinggi tenaga air yang tersedia terbatas, padahal sedimen kasar justru terletak pada tempat yang jauh (mulut sungai). Jika menghadapi hal yang seperti ini terpaksa sebagian tampungan waduk dikorbankan terisi sedimen kasar.



Gambar 4.2. Denah Penempatan Pipa pada Waduk Gajahmungkur

Untuk menghitung besarnya debit pengurasan digunakan rumus pengaliran dalam pipa :

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{fL/D + e + 1}}$$

$$Q = A.V$$

Keterangan :

- V = kecepatan aliran air (m/det)
- g = gravitasi (9.81 m/det²)
- D = diameter lubang pipa (m)
- H = tinggi tenaga air (m)
- f_L = koefisien kehilangan tenaga akibat kekasaran pipa.
(ditentukan dengan grafik Moody)
- e = koefisien kehilangan tenaga pada sambungan pipa.
- Q = Debit aliran air (m³/det).

d. Kemungkinan Penempatan Pada Waduk Gajah Mungkur

Waduk Gajahmungkur yang mulai beroperasi tahun 1981 adalah waduk terbesar di Daerah Tangkapan Air

Bengawan Solo. Dengan tampungan efektif sebesar 440 hm³ ditambah tampungan mati sebesar 120 hm³, dan tampungan kendali debit 250 hm³, waduk ini diandalkan berfungsi sebagai pengendali banjir, penyedia air irigasi dan pembangkit tenaga listrik. Umur ekonomi waduk ini diperkirakan 100 tahun dengan asumsi laju erosi permukaan Daerah Tangkapan airnya sebesar 1.2 mm/th.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Litbang Pengairan tahun 1986, diketahui ternyata besarnya laju erosi mencapai 4.48 mm/th, jauh lebih besar dari perkiraan semula. Sehubungan dengan ini kemudian digalakkan usaha pengelolaan Daerah Tangkapan Air baik secara biologis maupun mekanis. Tahun 1988 (tujuh tahun setelah beroperasi) dilakukan penelitian lagi oleh Proyek Bengawan Solo. Hasilnya menunjukkan bahwa laju erosi DTA turun menjadi 3.0 mm/th yang identik dengan laju sedimen waduk 2,8 juta ton/tahun, sementara tampungan mati telah terisi sedimen sebesar 40 hm³ dan umur ekonomis waduk diperkirakan mencapai 65 tahun.

Berdasarkan penelitian tersebut nampak bahwa jika hanya mengandalkan pengelolaan Daerah Tangkapan Airnya saja, masih terjadi sedimentasi yang membahayakan kelestarian waduk. Oleh karena itu perlu segera dipikirkan tindakan lain untuk mengendalikan sedimentasi pada waduk tersebut. Salah satu kemungkinan adalah dengan sistem pengurasan yang menggunakan pipa gerak terapung.

Dari seluruh sedimen yang sudah mengendap dalam waduk diperkirakan 80 % berasal dari sedimen tersuspensi.

Dengan HWL + 140.00 dan dasar bendungan pada +110.00, tinggi tenaga air yang tersedia untuk pengurasan bisa diambil 25 m. Panjang pipa yang dibutuhkan ditetapkan 4.000 m. Dengan menggunakan pipa berbagai diameter dengan kekasaran dinding 2 mm, sedangkan kehilangan tenaga pada sambungan diabaikan, didapat besarnya kecepatan dan debit air seperti ditunjukkan tabel 1. Untuk memperkirakan kemampuan pengurasan dihitung besarnya kecepatan geser aliran dengan rumus :

$$U^* = \sqrt{gRI}$$

Keterangan :

- U* = kecepatan geser (m/det)
- R = jari-jari hidrolis = D/4 (m)
- I = kemiringan garis tenaga = 25/4000
- g = percepatan gravitasi = 9,81 m/det²

Tabel 1. Kecepatan dan Debit pengurasan.

Diameter pipa (meter)	Kecepatan aliran (m/det)	Debit Air (m ³ /det)	Kecepatan geser aliran (m/det)
1.00	2.31	1.81	0.124
1.25	2.70	3.31	0.138
1.50	2.99	5.28	0.152
2.00	3.50	11.00	0.175

Besaran butiran sedimen yang bisa tersedot ke atas diperkirakan dengan grafik pada gambar 6, dengan asumsi bahwa butiran akan terangkut jika kecepatan jatuhnya lebih kecil dari pada kecepatan geser aliran, sedangkan besarnya butiran yang dapat terseret oleh kecepatan geser

$$U * 2 = 0.055 \cdot g \cdot d \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

Dimana :

- d = diameter butiran (m)
 ρ_s = massa jenis sedimen (diambil 2650 kg/m³)
 ρ_w = massa jenis air (1000 kg/m³).

Tabel 2. Butiran sedimen dapat terkuras.

Diameter pipa (m)	Diameter maksimal butiran tersedot (mm)	Diameter maksimal butiran terseret (mm)
1.00	0.8	1.7
1.25	0.9	2.1
1.50	1.0	2.6
2.00	1.1	3.4

Dari uraian di atas terlihat bahwa sebagian besar sedimen dalam waduk dapat tersedot oleh sistem pengurasan ini. Sedimen yang dapat tersedot ini, lebih mudah terangkut di sepanjang pipa horisontal, sehingga menjamin tidak terjadinya penyumbatan dalam pipa. Pemilihan dimensi pipa ditentukan oleh biaya pembangunan, biaya operasi, gradasi sedimen dan ketersediaan air pengurasan.

Kapasitas pengurasan tergantung pada konsentrasi sedimen yang tersedot, yang besarnya sangat dipengaruhi oleh cara pengoperasian mulut pipa. Sedangkan besarnya konsentrasi maksimal hingga kini belum ada formula untuk menghitungnya.

Dengan asumsi sedimen terkuras bisa mencapai 30 %, bila digunakan pipa 1,50 m mampu menguras sedimen dengan

angka yang cukup memadai untuk mengendalikan laju sedimentasi waduk 8 hm³/tahun.

V. KESIMPULAN

1. Dari uraian di depan, dapat disimpulkan bahwa usaha pengendalian sedimentasi dalam waduk perlu segera ditingkatkan, disamping melakukan pengelolaan Daerah Tangkapan Air (Catchment Area) yang ditangani oleh Departement Kehutanan. Para pakar teknik hidraulik dituntut mencari terobosan baru guna alternatif lain yang lebih efektif dan efisien untuk melestarikan fungsi waduk.
2. Dalam rangka penelitian cara-cara pengendalian sedimentasi pada waduk yang paling cocok untuk waduk-waduk yang sudah dibangun di Indonesia, perlu dicoba penerapan sistem pengurasan dengan pipa gerak terapung. Hal ini berguna untuk penelitian efektifitas dan efisiennya, serta menentukan desain yang sempurna, terutama pada waduk Gajah Mungkur.
3. Hingga tahun 1988, meskipun volume tampungan mati Waduk Gajahmungkur masih tersisa 80 hm³ (dua pertiganya), namun fungsi waduk sudah mulai terganggu karena volume tampungan efektif sudah berkurang karena sebagian sedimen terendapkan di atas elevasi tampungan mati. Oleh karena itu usaha pengendalian sedimentasi di atas

merupakan kebutuhan yang mendesak untuk segera dilaksanakan. Apabila tidak dimungkinkan untuk menerapkan sistem ideal dengan pipa penguras yang sangat panjang, karena keterbatasan dana, pipa dapat dibuat lebih pendek yang mampu menguras sedimen di sekitar lokasi bendung, termasuk di sekitar bangunan pengambilan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

3. Indratmo Soekarno (1997), *Morfologi Sungai*, ITB, Bandung.
4. P4-PU (1986), *Monitoring of Erosion / Sedimentation in Wonogiri Basin*, Dep. Public Work. PIPWSBS.
6. Suripin (1998), *Hubungan Antara Karakteristik Daerah Tangkapan Air dan Sediment Delivery Ratio*, makalah seminar PIT XV HATHI, Bandung.
5. Soewarno (1991), *Hidrologi, Pengukuran Dan Pengelolaan Data Aliran Sungai*, Nova, Bandung.
2. Balai Penyelidikan Sungai (1989), *Monitoring Erosi DAS Waduk Wonogiri*, Pusat Litbang Pengairan, Bandung.
1. Badan Penelitian Dan Pengembangan PU (1997), Departemen Pekerjaan Umum, *Katalog Hasil Penelitian Dan Pengembangan Bidang Pekerjaan Umum*, Edisi 1997.