



**TINGKAT EFISIENSI  
PENGKELONTORAN ENDAPAN SEDIMEN  
DI WADUK PLTA PB. SUDIRMAN**

**TESIS**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil

Oleh :

**HARI KRISETYANA.  
L 4 A 0 0 1 0 2 0**

**PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS DIPONEGORO.  
SEMARANG  
TH. 2008**

# LEMBAR PENGESAHAN

## TINGKAT EFISIENSI PENGSELONTORAN ENDAPAN SEDIMEN DI WADUK PLTA PB. SUDIRMAN

Disusun Oleh :

**HARI KRISETYANA**  
**L 4 A 0 0 1 0 2 0**

Dipertahankan di Depan Tim Penguji pada Tanggal :  
18 Maret 2008

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

**TIM PENGUJI TESIS :**

**KETUA,**

**Ir. Pranoto SA, Dipl.HE, MT. : .....**

**SEKRETARIS :**

**Ir. Sri Sangkawati, MS : .....**

**ANGGOTA :**

- 1. Dr. Ir. Suripin, M.Eng. : .....**
- 2. Dr. Ir. Haryanto, MSc. : .....**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO  
PROGRAM PASCA SARJANA  
MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**Ketua,**

**Dr. Ir. Suripin, M. Eng.**

## ABSTRAK

Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Air ( PLTA ) PB. Soedirman dengan kapasitas terpasang sebesar 3 x 61,5 MW berlokasi di Kabupaten Banjarnegara, dibangun oleh PT. PLN (Persero) dan mulai beroperasi pada tahun 1988. Saat ini dioperasikan dan dikelola oleh anak perusahaan PT. PLN (Persero ) yang bergerak dibidang pembangkitan, yaitu PT. Indonesia Power.

Laju sedimentasi yang cukup tinggi dari Sungai Serayu, mengakibatkan endapan sedimen semakin meningkat dari tahun ketahun. Sedimen yang masuk waduk setiap tahun sebesar 4,19 juta m<sup>3</sup>. Hasil pengamatan PT. Indonesia Power sampai tahun 2006, volume air waduk PLTA PB. Soedirman berkurang, dari semula 148,28 juta m<sup>3</sup> menjadi 72,56 juta m<sup>3</sup>., dan endapan sedimen dalam waduk sudah mencapai 75,72 juta m<sup>3</sup> atau 51,06 % dari volume total waduk.

Penggelontoran sedimen telah dilaksanakan oleh Pengelola PLTA PB. Soedirman mulai tahun 1996 sampai dengan tahun 2006, namun total volume sedimen yang digelontor baru sebesar 685.476 m<sup>3</sup>. Volume sedimen ini sangat kecil dibandingkan dengan volume sedimen yang masuk ke waduk setiap tahun. Penelitian ini akan menganalisa tingkat efisiensi dari penggelontoran sedimen di PLTA PB. Soedirman.

Hasil studi ini menunjukkan bahwa pelaksanaan penggelontoran sedimen di PLTA PB. Soedirman tidak efisien. Hal ini berdasarkan alasan-alasan dari hasil analisa, antara lain sebagai berikut :

- Kecepatan air penggelontor sedimen, ketinggian elevasi permukaan air waduk, serta volume air dan lama waktu penggelontoran sedimen, tidak memberikan hasil yang signifikan terhadap volume sedimen yang dapat dikeluarkan dari dalam waduk.
- Konsentrasi sedimen rata-rata pada saat flushing hanya sebesar 0,0571
- Nilai Flushing efficiency rata-rata dari perhitungan beberapa metode adalah 0,017578

Pelaksanaan Penggelontoran sedimen harus tetap dilaksanakan agar sedimen tidak mengganggu operasi waduk, dan saat yang paling baik berdasarkan analisa pada penelitian ini adalah :

- Pada bulan Februari, April, Oktober dan Desember, atau pada bulan basah.
- Lama flushing yang paling efektif adalah 15 menit.

## ABSTRACT

The Hydro Electric Power Plant of PB. Soedirman with the installed capacity of 3 x 61.5 MW located at Banjarnegara Region, was built by PT. PLN (Persero) and started the operation on 1988. It is now operated and managed by PT. Indonesia Power as corporate unit business of State Electricity Company ( PT. PLN ).

Sedimentation becomes a problem on the reservoir management in the future. PT. Indonesia Power reservoir monitoring reported that the sediment inflow to the reservoir reaches 4.19 million m<sup>3</sup> every year. Reservoir capacity have decreased from 148.28 million m<sup>3</sup> in 1988 to 72.56 million m<sup>3</sup> in 2006, and the sediment deposit in the reservoir reached 75.72 million m<sup>3</sup> or 51.06 % of the total of reservoir capacity.

Flushing of sediment deposit have been carried out since 1996, but the total sediment deposit flushed out by drawdown culvert is 685.476 m<sup>3</sup>. There is a very small volume of flushing sediment compare to the annual quantity inflowing sediment. This study analyse the flushing efficiency of reservoir sediment deposit of PLTA PB. Soedirman

The study concluded that the efficiency of flushing sedimentation method of PLTA PB. Soedirman low. It is caused by :

- Flushing water velocity, elevation of reservoir water level, volume of water and duration time for flushing had not give the significant effect to the volume of sediment flushed out.
- Sediment concentration avarege is 0,0571.
- Average value of flushing efficiency of some method calculation is 0,017578.

Concerning to the reservoir and Power Plant operation, flushing of sediment deposit of PLTA PB. Soedirman must be done. Referring to the analyses result of this study, the ideal moment to execute flushing is :

- Month of February, April, October and December or the wet season.
- Effective duration time of flushing is 15 minute.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, hanya karena petunjuk-Nya Tesis ini dapat tersusun untuk diajukan kepada Tim Penguji. Tesis dengan judul “ Tingkat Efisiensi Penggelontoran Endapan Sedimen Di Waduk PLTA PB.Soedirman “ disusun untuk memenuhi persyaratan dalam Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang

Pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak DR.Ir. Suripin, M.Eng, DR.Ir. Suharyanto, MSc, Ir. Pranoto.S.A, MT dan Ir. Sri Sangkawati, MS, selaku Tim Penguji, yang telah memberikan bantuan maupun bimbingan dalam penyelesaian tesis ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Mrica, PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah Dan DI. Yogyakarta, PT.PLN (Persero) PIKITRING JAWA,BALI & NUSRA, dosen dan civuitas akademika UNDIP dan istri serta anak saya tercinta yang semuanya telah membantu saya.

Akhir kata besar harapan penulis semoga Tesis ini dapat bermanfaat untuk menambah khazanah ilmu pengetahuan, khususnya di biidang sumber daya air maupun untuk penelitian dimasa mendatang.

Semarang, Maret 2008

Penyusun

## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL  | i         |
| LEMBAR PENGESAHAN  | ii        |
| ABSTRAK  | iii       |
| ABSTRACT   | iv        |
| KATA PENGANTAR   | v         |
| DAFTAR ISI.....  | vi        |
| DAFTAR TABEL.....  | vii       |
| DAFTAR GAMBAR.....   | viii      |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | ix        |
| DAFTAR NOTASI.....   | x         |
| <br>   |           |
| <b>BAB. I    PENDAHULUAN</b>                                       |           |
| 1.1.    Umum.....  | 1         |
| 1.2.    Pokok Permasalahan.....                                    | 1         |
| 1.3.    Pembatasan Masalah.....                                    | 2         |
| 1.4.    Tujuan Penelitian.....                                     | 2         |
| 1.5.    Kontribusi Penelitian.....                                 | 3         |
| <br>   |           |
| <b>BAB. II    LANDASAN TEORI.</b>                                  |           |
| <b>2.1.    Sedimentasi Pada Waduk.....</b>                         | <b>4</b>  |
| <b>2.2.    Pengeluaran Sedimen Dari Dalam Waduk.....</b>           | <b>5</b>  |
| 2.2.1. Pengeluaran Sedimen Pada Kondisi Belum Mengendap            | 5         |
| 2.2.2. Pengeluaran Sedimen Pada Kondisi Sudah Mengendap            | 6         |
| <b>2.3.    Pengeluaran Sedimen Dengan Metoda Flushing.....</b>     | <b>7</b>  |
| 2.3.1. Definisi Flushing.....                                      | 7         |
| 2.3.2. Klasifikasi Flushing.....                                   | 7         |
| 2.3.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Flushing.....               | 9         |
| <b>2.4.    Pengeluaran Sedimen Dengan Metoda Dredging.....</b>     | <b>9</b>  |
| <b>2.5.    Uji Statistik Data Penggelontoran Sedimen.....</b>      | <b>10</b> |
| <b>2.6.    Penggelontoran Sedimen Dengan Drawdown Culvert.....</b> | <b>11</b> |
| 2.6.1. Perhitungan Kecepatan Dan Debit AirPenggelontor Sedimen     | 12        |
| 2.6.2. Perhitungan Debit Dan Konsentrasi Sedimen.....              | 13        |
| 2.6.3. Perhitungan Kecepatan Air Dalam Waduk.....                  | 14        |
| 2.6.4. Grafik Hjulstrom.....                                       | 14        |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| 2.7.            | <b>Efisiensi Penggelontoran Sedimen ( Flushing Efficiency )</b> | 16 |
| 2.7.1.          | Flushing Efficiency With Partial Drawdown.....                  | 16 |
| 2.7.2.          | Flushing Efficiency With Reservoir Emptying.....                | 17 |
| 2.7.3.          | Metode Perhitungan Flushing Efficiency.....                     | 17 |
| 2.7.4.          | Perhitungan Flushing Efficiency.....                            | 21 |
| <b>BAB. III</b> | <b>METODOLOGI DAN PROSEDUR PENELITIAN</b>                       |    |
| 3.1.            | Bagan Alir Pola Pikir Kajian.....                               | 27 |
| 3.2.            | Bagan Alir Penelitian.....                                      | 29 |
| 3.3.            | Pengumpulan Data.....   | 31 |
| 3.3.1.          | Data Penggelontoran Sedimen.....                                | 31 |
| 3.3.2.          | Data Pengukuran Kedalaman Waduk.....                            | 35 |
| 3.3.3.          | Perhitungan Flushing Efisiensi.....                             | 36 |
| <b>BAB.IV.</b>  | <b>ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>                              |    |
| 4.1.            | Analisa Data.....   | 38 |
| 4.1.1.          | Data Teknis PLTA PB. Soedirman.....                             | 38 |
| 4.1.2.          | Data Penggelontoran Sedimen PLTA PB. Soedirman                  | 40 |
| 4.1.3.          | Analisa Statistik Rangkaian Data Flushing.....                  | 43 |
| 4.1.4.          | Analisa Kecepatan Air Penggelontor Sedimen.....                 | 48 |
| 4.1.5.          | Analisa Kecepatan Air Penggelontor Sedimen di Waduk             | 50 |
| 4.1.6.          | Analisa Konsentrasi Sedimen.....                                | 51 |
| 4.1.7.          | Perhitungan Efisiensi Penggelontoran Sedimen.....               | 54 |
| 4.1.8.          | Analisa Pola Penggelontoran Sedimen.....                        | 60 |
| 4.1.9.          | Pengaruh PenggelontoranSedimenTerhadap Operasi Waduk69          |    |
| 4.1.10.         | Analisa Finansial.....  | 72 |
| 4.2.            | Pembahasan.....   | 76 |
| 4.2.1.          | Pelaksanaan Penggelontoran Sedimen.....                         | 76 |
| 4.2.2.          | Pola Penggelontoran Sedimen.....                                | 82 |
| 4.2.3.          | Alternatif Metode Lain Pengeluaran Sedimen Dari Waduk           | 83 |
| 4.2.4.          | Perhitungan Finansial Metode Flushing.....                      | 86 |

|                             |  |    |
|-----------------------------|--|----|
| 4.2.5.                      | Perhitungan Finansial Metode Dredging.....           | 86 |
| 4.2.6.                      | Faktor Penyebab Penggelontoran Sedimen Tidak Efisien | 87 |
| <b>BAB.V.</b>               | <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>                          |    |
| 5.1.                        | Kesimpulan.....                                      | 89 |
| 5.2.                        | Saran.....   | 91 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> ..... |  | 93 |



## DAFTAR TABEL

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Tabel 2.1.   | Flushing Efficiency Dengan Partial Drawdown                  | 16  |
| Tabel 2.2.   | Flushing Efficiency Dengan Reservoir Emptying                | 17  |
| Tabel 2.3.   | Type Operasi Waduk   | 25  |
| Tabel.2.4.   | Berat Jenis Material Menurut Type Operasi Waduk              | 25. |
| Tabel 2.5.   | Nilai Faktor K   | 26  |
| Tabel 3.1.   | Perhitungan Volume Air Dan Sedimen Drawdown Culvert          | 34  |
| Tabel 4.1,   | Perhitungan Volume Air Dan Sedimen Flushing                  | 41  |
| Tabel 4.2.   | Perhitungan Volume Air Dan Sedimen Flushing                  | 43  |
| Tabel 4.3.   | Data flushing PLTA PB. Soedirman Th. 1996 – 2006             | 44  |
| Tabel 4.4.   | Perhitungan Kecepatan Air Penggelontor Sedimen               | 49  |
| Tabel 4.5    | Rekapitulasi Perhitungan Kecepatan Air Di Waduk ( Vsec)      | 51  |
| Tabel 4.6.   | Perhitungan Konsentrasi Sedimen Hasil Flushing Th.1996-2006  | 53  |
| Tabel 4.7.   | Perhitungan Flushing Efficiency Metode Acker And Thompson    | 55  |
| Tabel 4.8.   | Perhitungan Flushing Efficiency Metode Atkinson              | 58  |
| Tabel 4.9.   | Rekapitulasi Hasil Analisa Konsentrasi Sedimen               | 60  |
| Tabel.4.10.  | Rekapitulasi Hasil Analisa Flushing Efficiency               | 61  |
| Tabel.4.11.  | Rata-rata Volume Air Dan Sedimen Hasil Flushing Tiap bulan   | 62  |
| Tabel.4.12.  | Jarak Waktu Flushing Dan Volume Sedimen                      | 65  |
| Tabel.4.13.  | Volume Air Saat Flushing Pada Tiap Sample                    | 66  |
| Tabel 4.14.  | Volume Sedimen Saat Flushing Pada Tiap Sample                | 67  |
| Tabel 4.15.. | Prosentase Sedimen Pada Volume Air Saat Flushing Tiap sample | 68  |
| Tabel 4.16.  | Volume Air Inflow Dan Outflow Tahun 1988 – 2006              | 69  |
| Tabel 4.17.  | Akumulasi Volume Air Inflow Dan Outflow                      | 70  |
| Tabel 4.18.  | Perhitungan Biaya Flushing Dalam kWh Dan Rupiah              | 73  |
| Tabel 4.19.  | Perhitungan Kerugian Tanpa Flushing dalam kWh Dan Rupiah     | 75  |
| Tabel 4.20.  | Nilai Flushing Efficiency Rata-rata                          | 81  |

## DAFTAR GAMBAR

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gambar 2.1.  | Mekanisme Sedimentasi Waduk                                | 4  |
| Gambar 2.2.  | Penyebaran endapan material suspended load                 | 4  |
| Gambar 2.3.. | Pengurasan Sedimen Dengan Density Current                  | 6  |
| Gambar 2.4.. | Penggelontoran Sedimen Dengan Flushing                     | 8  |
| Gambar 2.5.. | Penampang waduk dan Drawdown Culvert                       | 12 |
| Gambar 2.6.  | Grafik Hjulstrom   | 15 |
| Gambar 3.1   | Bagan Alir Pola Pikir Penelitian                           | 28 |
| Gambar 3.2.. | Bagan Alir Penelitian                                      | 30 |
| Gambar 3.3.  | Grafik debit dan T waktu pembukaan drawdown culvert        | 32 |
| Gambar 3.4.  | Pengukuran crossection diatas dan dibawah permukaan waduk  | 35 |
| Gambar 4.1.  | Lay Out Waduk PLTA Waduk PB. Soedirman                     | 39 |
| Gambar 4.2.  | Potongan Memanjang Intake Drawdown Culvert                 | 40 |
| Gambar 4.3.  | Grafik Debit (Q) Dan Durasi Flushing (T)                   | 41 |
| Gambar 4.4.  | Grafik Konsentrasi Sedimen Pada Saat Flushing Th.1996-2006 | 54 |
| Gambar 4.5.  | Grafik Flushing Efficiency Ackers And Thompson             | 56 |
| Gambar 4.6.  | Grafik Flushing Efficiency Atkinson                        | 59 |
| Gambar 4.7.  | Grafik Volume Sedimen Hasil Flushing Perbulan              | 63 |
| Gambar 4.8.  | Grafik Jarak Waktu Pelaksanaan Flushing Sedimen            | 65 |
| Gambar 4.9.  | Grafik Perbandingan Volume Air Dan Sedimen                 | 68 |
| Gambar 4.10. | Grafik Volume Air Inflow Dan Outflow Tanpa Flushing        | 71 |
| Gambar 4.11. | Grafik Volume Air Inflow Dan Outflow Dengan Flushing       | 72 |
| Gambar 4.12. | Grafik Hubungan Volume Air Dan Volume Sedimen              | 77 |
| Gambar 4.13. | Grafik Hubungan Lama Flushing Dan Volume Sedimen           | 79 |

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A.. Peta Lokasi Penelitian
- Lampiran B. Lay Out Waduk PLTA PB.Soedirman
- Lampiran C. Karakteristik PLTA PB.Soedirman
- Lampiran D. Perhitungan Volume Air Dan Sedimen Pada Pelaksanaan Flushing
- Lampiran E. Analisa Statistik Pengaruh Volume Air Terhadap Volume Sedimen
- Lampiran F. Analisa Statistik Pengaruh Lama Flushing Terhadap Volume Sedimen
- Lampiran G. Perhitungan Ketinggian Air waduk (H)
- Lampiran H. Perhitungan Kecepatan Air Penggelontor Sedimen (V)
- Lampiran I. Grafik Kecepatan Air Penggelontor Sedimen
- Lampiran J. Perhitungan Konsentrasi Sedimen
- Lampiran K. Perhitungan Kecepatan Air Penggelontor Sedimen Di Waduk
- Lampiran L. Rekapitulasi Kecepatan Air Penggelontor Sedimen Di Waduk
- Lampiran M. Perhitungan Flushing Efficiency Metode Ackers And Thompson
- Lampiran N. Perhitungan Flushing Efficiency Metode Atkinson
- Lampiran O. Grafik Flushing Efficiency Metode A.Thompson Dan Atkinson
- Lampiran P. Perhitungan Biaya Flushing kWh Dan Rupiah
- Lampiran Q. Perhitungan Kerugian Tanpa Dilaksanakan Flushing Dalam kWh Dan Rupiah
- Lampiran R. Volume , Elevasi Waduk Rata-Rata Perbulan
- Lampiran S. Volume Air Inflow , Irigasi Dan Turbin Perbulan
- Lampiran T. Volume Air Inflow Dan Outflow PLTA PB.Soedirman Th.1988-2006
- Lampiran U. Grafik Volume Waduk Dan Volume sedimen Th. 1988 – 2006
- Lampiran V. Gambar Perkembangan Laju Sedimentasi Th. 1988 - 2006

## DAFTAR NOTASI

|                |   |  |
|----------------|---|--|
| A              | = | Luas penampang drawdown culvert, $m^2$   |
| C              | = | Konsentrasi sedimen, %   |
| Co             | = | Total sediment concentration of outflow, $kg/m^3$  |
| Ci             | = | Total sediment concentration of inflow, $kg/m^3$   |
| E              | = | Flushing efisiensi   |
| g              | = | Grafitasi, besarnya 9,80 $m/dt^2$  |
| H              | = | Ketinggian muka air waduk dari elevasi dasar waduk, m.   |
| Lo             | = | Annual quantity of sediment flushed out, kg  |
| Li             | = | Annual quantity of sediment inflow, kg   |
| Ld             | = | Annual quantity of sediment deposit, kg  |
| Qa             | = | Debit air penggelontor sedimen, $m^3/dt$   |
| Qs             | = | Debit Sedimen, $m^3/dt$  |
| Va             | = | Kecepatan air penggelontor sedimen, m/dt   |
| Vs             | = | Kecepatan aliran sedimen, m/dt   |
| Vsec           | = | Kecepatan air penggelontor di tiap section waduk, m/dt   |
| Vol.air        | = | Volume air penggelontor sedimen, $m^3$   |
| Vol.sed        | = | Volume sedimen tergelontor, $m^3$  |
| Vo             | = | Volume air outflow, $m^3$  |
| Vi             | = | Volume air inflow, $m^3$   |
| V <sub>2</sub> | = | Storage capacity of reservoir after flushing, $m^3$  |
| V <sub>1</sub> | = | Storage Capacity of reservoir before flushing, $m^3$   |
| Vd             | = | Volume of deposit sedimen flushed out, $m^3$   |
| Vori           | = | Original live capacity of the reservoir, $m^3$   |
| Vso            | = | Outflowing sediment volume during flushing, $m^3$  |
| Vsi            | = | Inflowing sediment volume during flushing, $m^3$   |
| T <sub>r</sub> | = | Fraction of year that the river's sediment load will take to refill V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> |
| T <sub>f</sub> | = | Fraction of year used for flushing   |
| ρ              | = | Berat jenis endapan sedimen dalam waduk, kg/m  |

# **BAB. I.**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. UMUM**

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok dari berbagai sektor, antara lain sektor rumah tangga, bisnis, industri maupun sektor lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini telah dibangun Pembangkit Tenaga Listrik diantaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air ( PLTA ).

Dari pembangunan berbagai Pembangkit Tenaga Listrik, maka dibandingkan dengan Pembangkit Listrik lain, PLTA merupakan Pembangkit Tenaga Listrik dengan harga jual energi listrik per kWh yang paling murah, karena digerakkan dengan tenaga air. Sementara pembangkit lain yang memakai bahan bakar minyak atau batubara, harga energi listrik per kWh jualnya relatif mahal.

Namun dengan berkembangnya waktu, banyak kondisi waduk mengalami masalah endapan sedimen di dalam waduk. Demikian halnya dengan lokasi penelitian ini, yaitu PLTA PB. Soedirman. Menurut data yang ada, sedimentasi didalam waduk setiap tahun semakin bertambah, sehingga endapan sedimen dapat mengurangi kapasitas waduk.

PLTA Panglima Besar Soedirman terletak di Kabupaten Banjarnegara Propinsi Jawa Tengah, merupakan waduk serbaguna dengan rencana umur waduk selama 50 tahun. Manfaat waduk PLTA PB. Soedirman antara lain adalah untuk Pembangkit Listrik dengan kapasitas sebesar 3 x 61,5 MW, irigasi dengan debit 11 m<sup>3</sup>/dt., perikanan darat, pariwisata dan manfaat waduk yang lain. Selesai dibangun tahun 1988 dan saat ini dikelola oleh PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Mrica Banjarnegara.

### **1.2. POKOK PERMASALAHAN**

Hasil pengamatan PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Mrica Banjarnegara, sedimen yang masuk ke dalam waduk setiap tahun sebesar 4,19 juta m<sup>3</sup>. Volume sedimen yang mengendap dalam waduk sudah mencapai 75,72 juta m<sup>3</sup> atau 51,06 % dari volume total waduk. Sehingga mengakibatkan volume air waduk berkurang dari awal operasi sebesar 148,28 juta m<sup>3</sup> menjadi 72,56 juta m<sup>3</sup>.

Penggelontoran sedimen mulai dilaksanakan tahun 1996 dan sampai dengan tahun 2006 telah dilakukan sebanyak 25 kali. Volume air penggelontor sedimen yang dibutuhkan sebesar  $9.882.600 \text{ m}^3$ , dengan total volume sedimen yang telah digelontor keluar dari dalam waduk melalui bangunan penggelontor sedimen drawdown culvert ) sebesar  $685.476 \text{ m}^3$ .

Volume sedimen yang dapat dikeluarkan dari waduk tersebut sangat kecil ( 16,36 % ) dari volume sedimen yang masuk waduk sebesar 4,19 juta  $\text{m}^3$  pertahun, atau 6,93 % dari volume air penggelontor sedimen yang harus dikeluarkan dari waduk. Maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis tingkat efisiensi dan pola penggelontoran sedimen yang telah dilaksanakan oleh PLTA. PB. Soedirman saat ini, dengan harapan bisa mendapatkan pola penggelontoran sedimen yang lebih optimal.

### **1.3. PEMBATASAN MASALAH**

Dalam penelitian ini diambil batasan-batasan sebagai berikut :

- Penelitian akan dilakukan secara empiris atau pengolahan data sekunder dari hasil survey atau pengukuran yang sudah ada.
- Penelitian hanya dilakukan terhadap kinerja penggelontoran sedimen dan tidak meneliti konstruksi bangunan yang sudah ada.
- Data yang diambil adalah yang berhubungan dengan data air dan sedimen yang masuk waduk (inflow), serta data air dan sedimen yang keluar waduk (outflow) yang berkaitan dengan penggelontoran endapan sedimen ( flushing ).

### **1.4. TUJUAN PENELITIAN**

Laju sedimentasi di waduk PLTA PB. Soedirman berdampak pada peningkatan volume endapan sedimen didalam waduk. Untuk mengatasi masalah tersebut, yang telah dilakukan adalah penggelontoran endapan sedimen keluar dari waduk ( flushing ). Maka yang menjadi tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja pola penggelontoran sedimen yang sudah dilaksanakan, serta mendapatkan hasil kajian tingkat efisiensi dan pola penggelontoran endapan sedimen yang lebih optimal di waduk PLTA PB. Sudirman.

## **1.5. KONTRIBUSI PENELITIAN**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang antara lain adalah :

- Mendapatkan hasil kajian tingkat efisiensi penggelontoran endapan sedimen di waduk PLTA PB. Soedirman, serta pola penggelontoran sedimen yang lebih optimal.
- Hasil penelitian ini dapat dipakai sebagai masukan kepada PLTA. PB. Sudirman maupun instansi lain yang terkait, baik dari sisi perencanaan maupun operasional secara terpadu.

## **BAB. II.**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Sedimentasi Pada Waduk**

Perubahan penampang melintang sungai ke penampang melintang waduk yang lebar menyebabkan berkurangnya kecepatan aliran sungai serta daya angkut aliran terhadap sedimen yang terdiri atas material halus yang melayang dalam air waduk ( *suspended load* ) dan material kasar ( *bed load* ).

Material kasar yang bergerak di dekat dasar sungai ( *bed load* ) akan mengendap lebih awal di bagian hulu waduk yang disebut *delta* ( Gambar.2.1 ). Sedimen layang ( *suspended load* ) akan terbawa lebih jauh di waduk dan mengendap kurang lebihnya merata di dasar waduk, menyebabkan berkurangnya kapasitas waduk ( Gambar 2.2 ).

Gambar 2.1. Mekanisme sedimentasi waduk

( Sumber : Jurnal Keairan No-1-Tahun.8-Juli 2001, Lab.Pengaliran FT.Undip)

Gambar 2.2. Penyebaran endapan material suspended load

( Sumber : Jurnal Keairan No-1-Tahun.8-Juli 2001, Lab.Pengaliran FT.Undip)



Secara umum ada tiga kemungkinan untuk mengatasi sedimentasi waduk, yaitu :

- Menjaga/mempertahankan agar sedimen yang masuk waduk serendah mungkin ( *minimization of sediment inflow* )
- Menjaga agar sedimen yang masuk tetap dalam suspensi dan melepaskannya ke hilir sebelum sedimen sempat mengendap ( *sediment sluicing* ).
- Mengeluarkan sedimen yang telah mengendap ( *sediment extraction* )

## **2.2. Pengeluaran Sedimen Dari Dalam Waduk**

Untuk mengeluarkan sedimen dari dalam waduk, ada beberapa metoda yang telah digunakan, namun dalam pelaksanaannya perlu dipertimbangkan baik secara ekonomis dan teknis menguntungkan.

Pada prinsipnya terdapat dua kondisi sedimen yang akan dikeluarkan dari dalam waduk yaitu :

- a. Sedimen belum mengendap dalam waduk ( masih melayang )
- b. Sedimen sudah mengendap dalam waduk.

### **2.2.1. Pengeluaran Sedimen Pada Kondisi Belum Mengendap**

Untuk kondisi-kondisi khusus yakni kandungan sedimen sangat tinggi sehingga menyebabkan *high density gradient* dan dasar sungai asli lurus dengan kemiringan tajam, aliran masuk tidak terdistribusi secara merata ke seluruh waduk, tetapi akan mengalir dibawah air waduk yang relatif jernih, mengikuti dasar sungai asli. Aliran ini biasa dinamakan *density current* yang dapat dimanfaatkan untuk *flushing sediment*.

Maka pada kondisi sedimen belum mengendap didasar waduk, untuk mengeluarkan sedimen dari waduk dapat menggunakan cara klasik tersebut diatas, yaitu dengan memanfaatkan *density current*. Cara ini hanya dapat dilakukan jika tersedia *bottom outlet* dengan kapasitas yang memadai.

### Gambar 2.3. Pengurasan Sedimen Dengan Density Current

( Sumber : Jurnal Keairan No-1-Tahun.8-Juli 2001, Lab.Pengaliran FT.Undip)

Kondisi yang baik untuk pemanfaatan *density current* ( Scheuerlein, 1987 ) adalah :

- a. Beda density antara inflow dan air waduk yang cukup ( kandungan *suspended load* tinggi )
- b. Kemiringan dasar sungai di *entrance* cukup tajam
- c. Waduk cukup dalam dan,
- d. Dasar sungai dibawah waduk lurus

Unesco ( 1985 ) melaporkan bahwa *density current flushing* telah banyak diterapkan dengan sukses untuk mengembalikan kapasitas beberapa waduk seperti, *Lake Mead Reservoir* ( USA ), *Iril Enida Reservoir* ( Algeria ), *Guanting Reservoir* dan *Fengjiashan Reservoir* ( China )

Pemanfaatan *density current* lebih efektif bila dikombinasikan dengan pola operasi waduk. Metode ini dapat menyelesaikan problem sedimentasi di Sanmenxia Reservoir, China ( Long Yugian 1995 ). Pola Operasi yang diterapkan adalah *storing relatively clear water in the nonflood season and disposing the muddy flood season*.

#### **2.2.2. Pengeluaran Sedimen Pada Kondisi Sudah mengendap**

Fakta menunjukkan bahwa sedimen yang telah mengendap tidak mudah untuk dibuat melayang kembali ( *resuspension* ), terutama material berkohesi. Untuk itu, akan sangat menguntungkan kalau dapat memperlambat proses pengendapan dan mencoba untuk membuangnya keluar dari waduk sebelum sedimen sempat mengendap.

Pada kondisi sedimen sudah mengendap dalam waduk, secara umum pengeluaran sedimen dari waduk dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- a. Tanpa bantuan energi dari luar yaitu dengan memanfaatkan energi potensial air waduk untuk menggelontor sedimen (*flushing* )
- b. Dengan bantuan energi dari luar yaitu dilakukan dengan memanfaatkan alat-alat mekanik (*mechanical excavation* ) atau yang umum kita kenal dengan istilah *dredging*.

### **2.3. Pengeluaran Sedimen Dengan Metode Flushing**

#### **2.3.1. Definisi Flushing**

Prinsip dari metode penggelontoran sedimen dengan energi potensial air waduk (*flushing* ) adalah mengeluarkan sedimen dengan mengambil manfaat energi hidrolis akibat beda tinggi antara muka air di depan dan belakang bendungan, untuk mensuplai energi pada *sediment flushing system*.

#### **2.3.2. Klasifikasi Flushing**

Menurut Fan ( 1985 ) secara umum flushing dapat diklasifikasikan kedalam 2 kategori yaitu Empty or Free-flow Flushing dan Flushing With Partial Drawdown.

- a. Empty or free-flow flushing :

Yaitu flushing dilaksanakan dengan cara mengosongkan air waduk, sedangkan aliran air sungai tetap dipertahankan masuk kedalam waduk, untuk selanjutnya digunakan sebagai penggelontor sedimen keluar waduk melalui bottom outlet.

Waktu pelaksanaannya ada 2 cara, yaitu :

- Empty Flushing During Flood Season  
Flushing dilaksanakan pada saat musim hujan atau musim basah.
- Empty Flushing During Non Flood Season  
Flushing dilaksanakan pada saat musim kemarau atau musim kering.

- b. Flushing With Partial Drawdown

Yaitu penggelontoran sedimen dengan cara elevasi air waduk dipertahankan dalam keadaan tinggi, endapan sedimen diarahkan keluar waduk melalui bottom outlet. Dalam pelaksanaannya ada 2 macam cara , yaitu :

- Pressure Flushing

Pada saat flushing dilaksanakan, elevasi air waduk diturunkan ke elevasi paling rendah yang diijinkan ( *Minimum Operation Level* )

- Flushing With High-Level Outlet

Flushing dilaksanakan dengan membuat *Underwater Dike* di waduk untuk menaikkan endapan sedimen ke *High Level Bypass Channel* yang elevasinya lebih tinggi dari elevasi intake.

Gambar.2.4. Penggelontoran Sedimen Dengan Flushing

( Sumber : Jurnal Keairan No-1-Tahun.8-Juli 2001, Lab.Pengaliran FT.Undip)

### **2.3.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Flushing**

Efektif tidaknya hasil penggelontoran sedimen ( flushing ) dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut

- a. Dimensi dari flushing outlet
- b. Posisi dari flushing outlet
- c. Penampang waduk dan kecuraman dasar waduk
- d. Panjang, pendek, lebar dan tidaknya waduk
- e. Lurus tidaknya waduk kearah outlet
- f. Distribusi dan kepadatan sedimen
- g. Ketersediaan air waduk untuk penggelontoran sedimen
- h. Frekuensi penggelontoran sedimen
- i. Kondisi cathment area dari waduk.

#### **2.4. Pengeluaran sedimen Dengan Metode Dredging**

Pengeluaran sedimen dari dalam waduk dengan metode dredging, yaitu mengeluarkan sedimen dengan menggunakan alat-alat mekanik. Metode yang digunakan ada 2 cara yaitu dengan hydraulic dredging ( waduk tidak dikeringkan ) atau dengan dry excavation ( waduk dalam keadaan kosong )

Beberapa metode dredging diantaranya adalah :

- a. *Hydraulic Suction Dredges*
- b. *Siphon Dredge*
- c. *Jet Pump*
- d. *Cable- Suspended Dredge Pumps*
- e. *Mechanical Dredges*
- f. *Sediment Removal by Explosives*

Namun cara ini disamping tidak ekonomis dapat menimbulkan beberapa masalah lingkungan, misalnya polusi waduk dan masalah bahan buangan.

*Karena dalam penelitian ini hanya dibatasi pada penggelontoran sedimen dengan metoda flushing, maka untuk selanjutnya metoda Mechanical Excavation Dan Dredging tidak dibahas.*

#### **2.5. Uji Statistik Data Penggelontoran Sedimen**

Pengujian data dengan metode statistik adalah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variabel satu dengan variabel lainnya, dari data hasil pengukuran pada saat penggelontoran sedimen ( flushing ).Yang dimaksudkan dalam penelitian ini yaitu ada tidaknya pengaruh volume air penggelontor sedimen dan lama waktu flushing dengan volume sedimen yang dihasilkan.. Uji statistik pada penelitian ini digunakan metode Regresi Linier, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Membuat tabel rekapitulasi data volume air penggelontor sedimen dan lama flushing (sebagai variabel x ), sedangkan volume sedimen ( sebagai variabel y ).
- b. Menentukan model regresi linier, dengan rumus persamaan garis lurus :

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \dots\dots\dots (2.1)$$

Koefisien regresi linier, dihitung dengan rumus :

$$b_1 = \frac{\sum n \cdot x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \cdot \bar{x} \dots\dots\dots (2.3)$$

- c. Kecocokan model  
 Pengujian hypotesis regresi linier, dilakukan dengan pengujian hipotesis bahwa  $\beta_1$  sama dengan sebuah konstanta sebagai berikut :

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

Dengan statistika penguji :

$$F_o = \frac{SS_R/1}{SS_E/(n-2)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Menentukan F dari tabel yaitu  $F_{\alpha, 1, n-2}$  ,  $H_0$  ditolak apabila  $F_o > F_{\alpha, 1, n-2}$ , yang berarti menerima  $\beta_1 \neq 0$ , atau  $\beta_1$  mempunyai nilai sebuah konstanta, dengan tingkat signifikansi ( 1 -  $\alpha$  ) 100 %.

- d. Koefisien Determinasi  
 Untuk mempertimbangkan ketepatan model regresi dapat dicek dengan menghitung koefisien determinasi :

$$R^2 = \frac{SS_R}{SE_{YY}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Nilai  $R^2$  adalah  $0 \leq R^2 \leq 1$  yang merupakan jumlah variabilitas dalam data yang diperoleh dalam model regresi.

e. Koefisien Korelasi

Analisis korelasi merupakan metode statistik untuk mengukur hubungan antara dua variabel prediksi  $y$  dan variabel  $x$ , yang dinyatakan dengan koefisien korelasi ( $= r$ ). Nilai koefisien korelasi adalah  $-1 \leq R \leq 1$ .

Koefisien korelasi variabel  $x$  dan variabel  $y$  dinyatakan dengan rumus :

$$r = \frac{\text{Cov}(x, y)}{S_x \cdot S_y} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk mengetahui adanya hubungan variabel  $x$  dan variabel  $y$  adanya korelasi dilakukan dengan uji hipotesis :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Dengan statistika pengujian :

$$t_o = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan mengikuti distribusi  $t$  dan derajat kebebasan  $n-2$ , maka  $H_0$  ditolak jika  $|t_o| > t_{\alpha/2, n-2}$ , yang berarti menerima  $\rho \neq 0$  atau  $\rho$  mempunyai nilai sebuah konstanta, dengan tingkat signifikansi  $(1 - \alpha) 100\%$ .

**2.6. Penggelontoran Sedimen Dengan *Drawdown Culvert***

Perencanaan posisi dan dimensi bottom outlet atau gorong-gorong penguras sedimen (*drawdown culvert*) didasar waduk, serta ketinggian air waduk akan berpengaruh kepada kecepatan air penggelontor sedimen dan banyaknya butiran-butiran sedimen yang keluar dari dalam waduk.

**2.6.1. Perhitungan Kecepatan Dan Debit Air Penggelontor Sedimen**

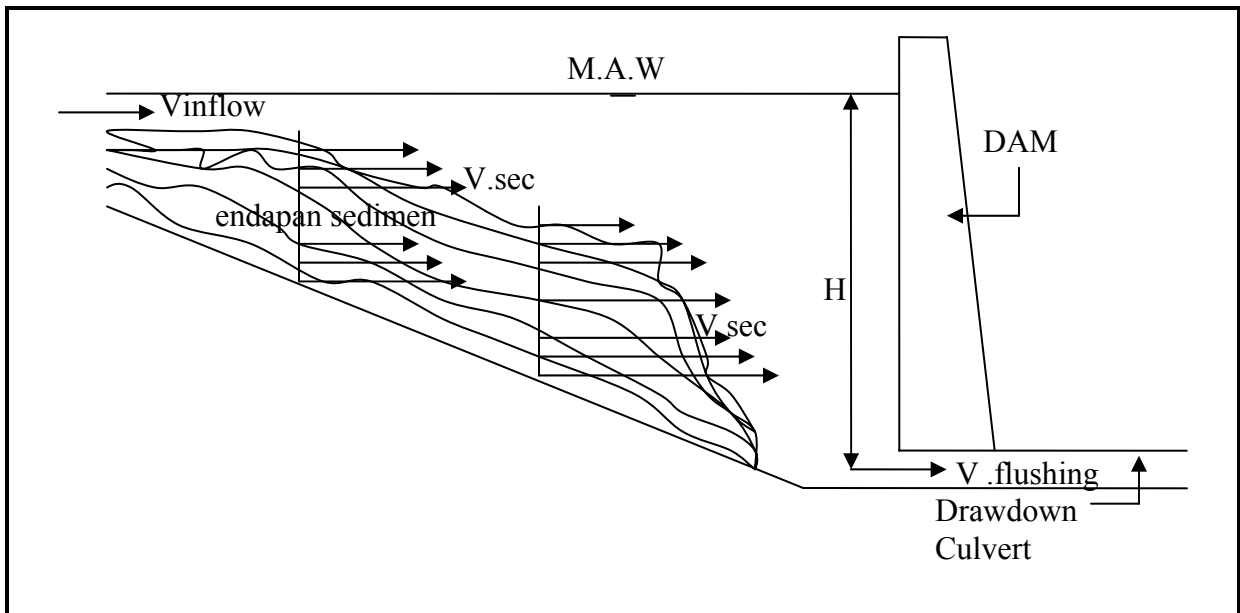
Melakukan analisis terhadap kecepatan air penggelontor sedimen, dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan air terhadap penggelontoran sedimen yang mengendap didalam waduk, untuk dibuang keluar melalui drawdown culvert.

**a. Kecepatan Air Penggelontor Sedimen**

Apabila ketinggian air waduk pada saat penggelontoran sedimen adalah  $H$  , maka besarnya kecepatan air penggelontor sedimen adalah :

$$V = \sqrt{2.g.H} \dots\dots\dots (2.8.)$$

- Dimana :
- $V$  = Kecepatan air penggelontor pada drawdown culvert ( m/dt )
  - $g$  = Gravitasi, besarnya 9,8 m/dt<sup>2</sup>
  - $H$  = Ketinggian air waduk ( m )



Gambar 2.5 Penampang waduk dan drawdown culvert

**b. Debit Air Penggelontor Sedimen**



Perhitungan debit air yang melewati saluran atau gorong-gorong tergantung besarnya kecepatan air dan luas penampang saluran atau gorong-gorong. Maka besarnya debit air penggelontor sedimen adalah :

$$Q_w = V \cdot A \dots\dots\dots (2.9).$$

- Dimana :
- $Q_w$  = Debit air ( $m^3/dt$ )
  - $V$  = Kecepatan air ( $m/dt$ )
  - $A$  = Luas penampang saluran atau gorong-gorong ( $m^2$ )

Luas penampang drawdown culvert tergantung dari disain bentuk penampangnya , diantaranya adalah :

- persegi  $A = S \cdot S \dots\dots\dots (2.10)$

- persegi panjang :  $A = p \cdot l \dots\dots\dots (2.11)$

- lingkaran :  $A = \pi \cdot r^2 \dots\dots\dots (2.12)$

- persegi dan setengah lingkaran :  $A = (S \cdot S) + (0,5)(\pi r^2) \dots\dots (2.13)$

- Dimana :
- $A$  = Luas penampang saluran ( $m^2$ )
  - $S$  = Sisi penampang saluran (m)
  - $p$  = Panjang penampang saluran (m)
  - $l$  = Lebar penampang saluran (m)

**2.6.2. Perhitungan Debit Dan Konsentrasi Sedimen**

Debit sedimen di drawdown culvert adalah :

$$Q_s = C \cdot k \cdot Q_w \dots\dots\dots (2.14)$$

Atau konsentrasi sedimen adalah :

$$C = Q_s / Q_w \cdot k \dots\dots\dots (2.15)$$

- Dimana :
- $k$  = 0,0864
  - $C$  = konsentrasi sedimen (mg/l)
  - $Q_w$  = debit air ( $m^3/dt$ )
  - $Q_s$  = debit sediment (ton/hari)

**2.6.3. Perhitungan Kecepatan Air Dalam Waduk**

Pada saat dilaksanakan penggelontoran endapan sedimen , maka akan terjadi aliran air waduk ke drawdown culvert. Untuk mengetahui seberapa besar kecepatan air di drawdown culvert (  $V$  ) digunakan Persamaan 2.8, sedangkan kecepatan air di waduk (  $V_{sec}$  ) digunakan Persamaan 2.16.

Untuk menghitung  $V_{sec}$  perlu diketahui terlebih dahulu luas penampang di tiap-tiap section waduk. Pengukuran kedalaman waduk dilakukan dengan metode Hydrographic Survey, yaitu merupakan metode pengamatan yang meliputi pengukuran dan pemetaan jumlah akumulasi endapan sedimen di waduk. Pengukuran menggunakan peralatan echo sounding yang diletakkan diatas perahu dikompilasikan dengan pengamatan atau pengukuran tanah.

Pengukuran bawah air dilakukan dengan mengukur kedalaman air dibawah perahu yang posisinya berada diatas permukaan waduk. Sedangkan pengukuran tanah ditujukan untuk menentukan elevasi dari permukaan tanah dengan metode terrestrial. Data dari kedua metode tersebut digabung untuk menyusun penampang potongan melintang, dengan demikian diketahui luas penampang melintangnya. (  $A_{SEC}$  ).

Maka kecepatan air penggelontor sedimen dalam waduk pada saat dilakukan penggelontoran sedimen, adalah :

$$V_{SEC} = Q_w / A_{SEC} \dots\dots\dots ( 2.16 )$$

- Dimana :
- $Q_w$  = Debit air penggelontor sedimen (  $m^3/dt$  )
  - $A_{SEC}$  = Luas potongan melintang waduk (  $m^2$  )
  - $V_{SEC}$  = Kecepatan air penggelontor di waduk (  $m/dt$  )

**2.6.4. Grafik Hjulstrom**

Untuk mengetahui seberapa jauh kecepatan air waduk mampu menggelontor endapan sedimen , yaitu dengan menggunakan Grafik Hjulstrom (1935 ). Dengan menggunakan besarnya kecepatan air di drawdown culvert, maupun di tiap-tiap section waduk, dapat diketahui dimensi ( grain diameter ) dari partikel sedimen yang dapat digelontor.

Pada Grafik Hjulstrom, kecepatan air adalah sebagai ordinat dan gradasi sedimen sebagai absis. Maka apabila diketahui kecepatan air tertentu, akan didapat gradasi sedimen tertentu dan pengaruh kecepatan terhadap sedimen sebagai berikut :

- a. Pada area sedimentation, maka air dengan kecepatan tersebut tidak bisa membawa material sedimen dan akan mengendap.
- b. Pada area transportation, maka air dengan kecepatan tersebut sedikit berpengaruh terhadap material sedimen yaitu diantara mengendap dan terbawa air.
- c. Pada area erosion, dengan kecepatan air tersebut material sedimen bisa tererosi dan terbawa air.

Untuk lebih jelasnya Diagram Hjulstrom dapat dilihat pada gambar 2.6 seperti dibawah ini. Sebagai contoh dapat kita lihat, bahwa :

- Pada kecepatan air  $V = 20 \text{ cm/dt}$  s/d  $300 \text{ cm/dt}$ , dapat mengerosi dan mengangkut sedimen dengan gradasi  $0,001 \text{ mm}$  s/d  $30 \text{ mm}$ .
- Pada kecepatan air  $V = 0,1 \text{ cm/dt}$  s/d  $20 \text{ cm/dt}$ , gradasi sedimen  $0,001 \text{ mm}$  s/d  $2 \text{ mm}$  dapat terbawa air.
- Akan tetapi pada kecepatan air  $V = 0,1 \text{ cm/dt}$  s/d  $20 \text{ cm/dt}$  tersebut diatas, gradasi sedimen  $2 \text{ mm}$  s/d  $500 \text{ mm}$  tidak bisa terbawa air atau mengendap.

Gambar. 2.6. Grafik Hjulstrom

( Sumber : Reservoir Sedimentation Handbook, G.L.Morris, J.Fan )

## 2.7. Efisiensi Penggelontoran Sedimen ( flushing efisiency ).

Menurut G.L.Morris Dan J.Fan (1997), definisi flushing efficiency adalah rasio dari volume endapan sedimen yang larut dalam volume air yang digunakan selama flushing pada interval waktu tertentu. Apabila volume air inflow ( $V_i$ )  $m^3$  dan outflow ( $V_o$ )  $m^3$ , konsentrasi sedimen inflow ( $C_i$ )  $kg/m^3$  dan outflow ( $C_o$ )  $kg/m^3$ , sedangkan berat jenis endapan sedimen  $\rho$   $kg/m^3$ , maka flushing efficiency adalah :

$$Fe = (V_o C_o - V_i C_i) / \rho V_o$$

### 2.7.1. Flushing Efficiency With *Partial Drawdown*

Flushing efficiency penggelontoran sedimen dengan menggunakan sebagian air waduk (*partial drawdown*) untuk menggelontor sedimen, hasilnya rata-rata kurang efektif. Karena sedimen yang digelontor tidak bisa maksimal atau hanya sebagian kecil, maka termasuk type very low flushing efficiency.

Contoh flushing efficiency dari beberapa waduk yang melakukan flushing dengan partial drawdown, seperti terlihat pada Tabel. 2.1, menunjukkan flushing dengan debit yang besar  $Q = 21,4 - 2.090 m^3/dt$  dan durasi flushing  $T = 103$  jam s/d 490 jam, flushing efficiency sangat kecil, yaitu  $E = 0,012 - 0,00017$ .

Tabel.2.1. Flushing Efficiency dengan Partial Drawdown

| No | Waduk               | Situasi Outflow  | Tahun Operasi                          | Debit m3    | Durasi         | Flushing Efficiency | Water Sediment Ratio |
|----|---------------------|--|--|-------------|----------------|---------------------|----------------------|
| 1  | 2                   | 3  | 4                                      | 5           | 6              | 7                   | 8                    |
| 1  | Guernsey<br>U.S.A   | Overflow<br>Spillway   | 1960-1962                              | 56,6-198    | 10-18<br>hari  | 0,00017             | 5880                 |
| 2  | Warsak<br>PAKISTAN  | Overflow<br>Spillway   | 1976-1979<br>5 flushings               | 1.410       | 490,5<br>jam   | 0.00169             | 592                  |
| 3  | Liujiangia<br>CHINA | Overflow<br>and outlets<br>water level<br>lowered =<br>4,4-7,8 m | 1981,1984 ,<br>1985,1988               | 1.660-2.090 | 103-107<br>jam | 0,0023-0,0071       | 435-141              |
| 4  | Shuicaozi<br>CHINA  | Overflow<br>Spillway   | 1965, 1966<br>1974, 1978<br>1980, 1981 | 21,4-230    | 3-4<br>hari    | 0,012-0,043         | 83-23                |

Sumber : Reservoir Sedimentation Handbook, G.L.Morris & J. Fan (1997)

### 2.7.2. Flushing Efficiency With *Reservoir Emptying*

Flushing efficiency penggelontoran sedimen dengan cara mengosongkan waduk terlebih dahulu, hasilnya rata-rata lebih baik dari metode partial drawdown. Karena sedimen yang dikeluarkan dari dalam waduk bisa maksimal.

Contoh flushing efficiency dari beberapa waduk yang melakukan flushing dengan metode reservoir emptying, seperti terlihat pada Tabel. 2.2, menunjukkan flushing dengan debit  $Q = 8 - 500 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan durasi flushing  $T = 13 \text{ jam s/d } 157 \text{ hari}$  nilai flushing efficiency yang didapatkan  $E = 0,012 - 0,00017$ .

Tabel.2.2. Flushing Efficiency dengan Reservoir Emptying

| No | Waduk         | Tahun Operasi | Debit $\text{m}^3$ | Durasi Flushing | Flushing Efficiency | Water Sediment Ratio |
|----|---------------|---------------|--------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| 1  | 2             | 4             | 5                  | 6               | 7                   | 8                    |
| 1  | Gebidem       | 1969-1994     | 35                 | 35              | 0,048-0,060         | 21-17                |
|    | SWITZERLAND   |               |                    | hari/th         |                     |                      |
| 2  | Barenburg     | 1985          | 90                 | 20              | 0,06                | 17                   |
|    | SWITZERLAND   |               |                    | hari            |                     |                      |
| 3  | Ferrera       | 1985          |                    |                 | 0,026               | 38                   |
|    | SWITZERLAND   |               |                    |                 |                     |                      |
| 4  | Gen Shan Pei  | 1958-1983     |                    | 53              | 0,0897              | 11                   |
|    | CHINA         |               |                    | hari/th         |                     |                      |
| 5  | Santo Domingo | 1978          | 8-10               |                 | 0,09-0,13           | 11-8                 |
|    | VENEZUELA     |               |                    |                 |                     |                      |
| 6  | Donfanhong    | 1984          | 51                 |                 | 0,056-0,083         | 18-12                |
|    | CHINA         |               |                    |                 |                     |                      |
| 7  | Sefid Rud     | 1980-1987     |                    | 61-157          | 0,022-0,067         | 45-15                |
|    | IRAN          |               |                    | hari            |                     |                      |
| 8  | Zemo Afchar   | 1939-1966     | 72-668             | 13-76           | 0,015-0,096         | 67-10                |
|    | USSR          |               |                    | jam             |                     |                      |
| 9  | Chirurt       | 1968          | 400-500            | 5               | 0,04                | 25                   |
|    | USSR          |               |                    | hari            |                     |                      |

Sumber : Reservoir Sedimentation Handbook, G.L.Morris & J. Fan (1997)

### 2.7.3. Metode Perhitungan Flushing Efficiency

Efisiensi penggelontoran sedimen ( flushing efficiency ) dapat didefinisikan dalam beberapa versi sesuai dengan authornya, antara lain sebagai berikut :

#### a. Metoda Qian

Menurut Qian ( 1982 ) flushing efficiency adalah perbandingan antara volume air yang keluar waduk (  $V_o$  ) dengan volume endapan sedimen yang tergelontor keluar waduk (  $V_d$  ) :

$$E = \frac{V_0}{V_d} \dots\dots\dots (2.17)$$

- Dimana :
- E = Flushing efficiency
  - $V_0$  = Volume air outflow ( $m^3$ )
  - $V_d$  = Volume of deposit flushed out ( $m^3$ )
  - $V_d = V_2 - V_1 = (V_0 C_0 - V_i C_i) / \rho \dots\dots\dots (2.18)$

- Dimana
- $V_2$  = Storage Capacity of reservoir after flushing ( $m^3$ )
  - $V_1$  = Storage Capacity of reservoir before flushing ( $m^3$ )
  - $V_0$  = Volume air outflow ( $m^3$ )
  - $C_0$  = Total sediment concentration of outflow ( $kg / m^3$ )
  - $V_i$  = Volume air inflow ( $m^3$ )
  - $C_i$  = Total sediment concentration of inflow ( $kg / m^3$ )
  - $\rho$  = Berat jenis endapan sedimen ( $kg / m^3$ )

**b. Metoda Ackers and Thompson**

Menurut Ackers and Thompson ( 1987 ), flushing efficiency adalah perbandingan antara jumlah berat sedimen yang keluar waduk tiap tahun (  $L_0$  ) dengan jumlah berat sedimen yang masuk waduk tiap tahun (  $L_i$  ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{L_0}{L_i} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Dimana :
- E = Flushing efficiency
  - $L_0$  = Annual quantity of sediment flushed out ( kg )
  - $L_i$  = Annual quantity of sediment inflow ( kg )

**c. Metoda Mahmood (1)**

Menurut Mahmood (1987), flushing efficiency adalah perbandingan antara selisih storage capacity reservoir setelah flushing ( $V_2$ ) dan sebelum flushing ( $V_1$ ) dengan volume air yang keluar waduk ( $V_0$ ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = (V_2 - V_1) / (V_0) \dots\dots\dots (2.20)$$

- Dimana :
- E = Flushing efficiency
  - $V_2$  = Storage Capacity of reservoir after flushing ( $m^3$ )
  - $V_1$  = Storage Capacity of reservoir before flushing ( $m^3$ )
  - $V_0$  = Volume air outflow ( $m^3$ )

**d. Metoda Mahmood (2)**

Menurut Mahmood ( 1987 ), flushing efficiency adalah Perbandingan antara selisih storage capacity rseservoir setelah flushing ( $V_2$ ) dan sebelum flushing ( $V_1$ ) dengan original live capacity dari waduk ( $V_{ori}$ ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = (V_2 - V_1) / (V_{ori}) \dots\dots\dots (2.21)$$

- Dimana :
- E = Flushing efficiency
  - $V_2$  = Storage Capacity of reservoir after flushing ( $m^3$ )
  - $V_1$  = Storage Capacity of reservoir before flushing ( $m^3$ )
  - $V_{ori}$  = Original live capacity of the reservoir ( $m^3$ )

**e. Metoda Mahmood (3)**

Menurut Mahmood ( 1987 ), flushing efficiency adalah perbandingan antara  $T_r$  dengan  $1 - T_f$  atau dirumuskan :

$$E = T_r / (1 - T_f) \dots\dots\dots (2.22)$$

- Dimana :
- E = Flushing efficiency
  - $T_f$  = Fraction of year used for flushing

$T_r$  = Fraction of year that the river's sediment load will take to refill  $V_2 - V_1$

**f. Metoda Atkinson**

Menurut Atkinson ( 1996 ), flushing efficiency adalah perbandingan antara jumlah berat sedimen yang keluar waduk tiap tahun ( $L_o$ ) dengan jumlah berat sedimen yang mengendap dalam waduk tiap tahun ( $L_d$ ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{L_o}{L_d} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :  $E$  = Flushing efficiency  
 $L_o$  = Annual quantity of sediment flushed out ( kg )  
 $L_d$  = Annual quantity of sediment deposited ( kg )

**g. Metoda Lai and Shen**

Menurut Lai and Shen ( 1996 ), flushing efficiency adalah Perbandingan antara selisih volume sedimen outflow selama flushing ( $V_{so}$ ) dan volume sedimen inflow selama flushing ( $V_{si}$ ) dengan volume air outflow ( $V_o$ ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = (V_{so} - V_{si}) / (V_o) \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :  $E$  = Flushing efficiency  
 $V_{so}$  = Outflowing sediment volume during flushing( $m^3$ )  
 $V_{si}$  = inflowing sediment volume during flushing( $m^3$ )  
 $V_o$  = Volume air outflow ( $m^3$ )

**h. Morris and Fan**

Menurut Morris and Fan (1997), flushing efficiency adalah :

$$E = (V_o C_o - V_i C_i) / \rho V_o \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :  $E$  = Flushing efficiency



|        |   |  |
|--------|---|--|
| $V_0$  | = | Volume air outflow ( $m^3$ )                         |
| $C_0$  | = | Total sediment concentration of outflow ( $kg/m^3$ ) |
| $V_i$  | = | Volume air inflow ( $m^3$ )                          |
| $C_i$  | = | Total sediment concentration of inflow ( $kg/m^3$ )  |
| $\rho$ | = | Berat jenis endapan sedimen ( $kg/m^3$ )             |

#### 2.7.4. Perhitungan Flushing Efficiency

Sebelum dilakukan perhitungan flushing efficiency secara detail, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan dari masing-masing unsur pada rumus Flushing Efficiency tersebut diatas, sebagai berikut :

##### a. Perhitungan Volume Air Inflow ( $V_i$ )

Pada prinsipnya volume air dihitung dari debit air yang lewat pada titik tertentu di penampang sungai, pada rentang waktu yang ditentukan.

Debit air didapatkan dengan rumus :

$$Q_w = V.F \dots\dots\dots (2.26)$$

|          |       |   |  |
|----------|-------|---|--|
| Dimana : | $Q_w$ | = | Debit aliran air sungai ( $m^3/dt$ )   |
|          | $V$   | = | Kecepatan aliran air sungai ( $m/dt$ ) |
|          | $F$   | = | Luas penampang sungai ( $m^2$ )        |

Maka perhitungan volume air inflow ( $V_i$ ) tergantung dengan faktor waktu (t),

maka :  $V_i = Q_i.t \dots\dots\dots (2.27)$

|          |       |   |                               |
|----------|-------|---|-------------------------------|
| Dimana : | $V_i$ | = | volume air inflow ( $m^3$ )   |
|          | $Q_i$ | = | debit air inflow ( $m^3/dt$ ) |
|          | $t$   | = | waktu ( detik )               |

##### b. Perhitungan Volume Air Outflow ( $V_o$ )

Debit air outflow pada waduk PB. Soedirman digunakan untuk PLTA, irigasi, penggelontoran sedimen lewat bottom outlet, dan bisa melimpas melalui spillway.

Bottom outlet atau istilah pada PLTA PB.Sudirman drawdown culvert adalah saluran pipa tertutup dengan bentuk tapal kuda terdiri dari 2 pipa dengan luas penampang yang berbeda. Debit air outflow melalui drawdown culvert seperti pada persamaan (2.2) adalah  $Q_w = V.F$

Maka perhitungan volume air outflow untuk penggelontoran sedimen adalah :

$$V_o = Q_w.t \dots\dots\dots ( 2.28 )$$

- Dimana :
- $V_o$  = Volume air outflow ( m<sup>3</sup> )
  - $Q_w$  = Debit air outflow ( m<sup>3</sup>/dt )
  - t = lama penggelontoran sedimen (menit)

**c. Konsentrasi Sedimen Inflow ( Ci )**

***Perhitungan dengan rumus lengkung debit & lengkung aliran***

Dengan data AWLR atau debit aliran sungai harian, maka debit sedimen rata-rata dalam jangka waktu tertentu yang masuk kedalam waduk dapat dihitung dengan salah satu pendekatan berikut ini ( Julien, P.Y.,1995 ) :

***Dengan menggunakan lengkung aliran ( rating curve )***

Bila data pengambilan sampel kurang dari jangka waktu perhitungan sedimen inflow maka debit sedimen harian dapat dihitung berdasarkan korelasinya dengan debit aliran dan konsentrasi sedimen.

Karena itu untuk mendapatkan debit sedimen diperlukan debit air dan konsentrasi sedimen yang dikandungnya pada debit tersebut di lokasi pos duga air.

Dengan bantuan lengkung aliran ( rating curve ), debit air dapat diketahui dengan cara mengukur tinggi muka air. Konsentrasi sedimen diperoleh dengan alat pengukur sedimen. Debit sedimen harian dihitung dengan rumus :

$$Q_s = C.k.Q_w \dots\dots\dots ( 2.29 )$$

- Dimana :
- k = 0,0864
  - C = konsentrasi sedimen ( mg/l )

$$Q_w = \text{debit air ( m}^3/\text{dt )}$$

$$Q_s = \text{debit sediment ( ton/hari )}$$

Dengan debit sedimen harian rata-rata, dapat dihitung inflow sedimen waduk rata-rata tahunan.

***Dengan menggunakan grafik sediment rating curve dan grafik low duration curve.***

Metode perhitungan dengan menggunakan grafik sediment rating curve ( lengkung debit sedimen ) dan grafik flow duration curve ( lengkung waktu aliran ) merupakan metode yang paling sesuai bila pencatatan data cukup panjang, cukup data untuk debit aliran yang besar dan lengkung debit sedimen dari data terlihat cukup menyebar.

Debit sedimen tahunan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$Q_s = 31,56.C.Q_w \dots\dots\dots ( 2.30 )$$

Dimana : C = konsentrasi sedimen ( mg/l )

$$Q_w = \text{debit air ( m}^3/\text{dt )}$$

$$Q_s = \text{debit sediment ( ton/tahun )}$$

Selanjutnya grafik sedimen rating curve ( lengkung debit sedimen ) dan grafik flow duration curve ( lengkung waktu aliran ) dan perhitungan sedimen totalnya dapat dihitung dan disusun dalam bentuk table.

Perhitungan konsentrasi sedimen inflow :

Hasil yang didapatkan C hasil pengukuran/rumus dalam satuan mg/liter , maka untuk menjadi satuan  $\text{kg/m}^3$  , perubahan satuannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_i &= \text{mg/liter} = 0,000001 \text{ kg} / 0,001 \text{ m}^3 \\ &= 0,001 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

**d. Perhitungan konsentrasi sedimen outflow ( Co )**

Perhitungan volume sedimen tergelontor ditentukan berdasarkan prosentase kandungan sedimen terhadap debit air yang keluar dari drawdown culvert dalam satuan waktu ( menit ).

Debit yang keluar diperhitungkan terhadap luas grafik yang dibatasi 2 waktu pengambilan sedimen terhadap lama waktu pembukaan pintu drawdown culvert. Pengukuran sedimen yang digelontor lewat drawdown culvert dilaksanakan sebagai berikut :

Apabila pada saat flushing hanya diketahui volume sedimen ( Vsed ), volume air penggelontor ( Vair) dan waktu /lama flushing ( t ) maka debit sedimen adalah :

$$Q_s = \text{Vol.sed}/t \dots\dots\dots ( 2.31 )$$

- Dimana : Vol.sed = Volume sedimen ( m<sup>3</sup> )  
t = Waktu/lama flushing ( menit )  
Q<sub>s</sub> = Debit sedimen ( m<sup>3</sup>/dt )

Konsentrasi sedimen adalah :

$$C = \text{Vol.sed}/\text{Vol.air} \dots\dots\dots ( 2.32 )$$

- Dimana : Vol.sed = Volume sedimen ( m<sup>3</sup> )  
Vol.air = Volume air penggelontor sedimen ( m<sup>3</sup> )  
C = Konsentrasi sedimen ( % )

**e. Perhitungan berat jenis sedimen ( ρ )**

Berat jenis sedimen / kepadatan sedimen dalam waduk dipengaruhi oleh :

- a. Cara pengoperasian bendungan.
- b. Susunan dan partikel endapan sedimen
- c. Jangka waktu pematatan

Pengoperasian bendungan diklasifikasikan kedalam 4 macam type ( U.S.B.R, 1987 ) :

Tabel.2.3. Tipe Operasi Waduk

| TIPE | OPERASI WADUK                              |
|------|--|
| 1    | 2  |
| 1    | Sedimen selalu atau hampir selalu terendam |
| 2    | Dalam kondisi normal waduk cenderung surut |
| 3    | Dalam keadaan normal waduk kosong          |
| 4    | Waduk dengan sedimen sungai bed load       |

Setelah bendungan ditentukan type operasionalnya, kepadatan sedimen dapat dihitung dengan rumus :

$$\gamma_o = \gamma_c P_c + \gamma_m P_m + \gamma_s P_s \dots\dots\dots( 2.33 )$$

- Dimana:
- $\gamma_o$  = berat jenis endapan ( kg/m<sup>3</sup> )
  - $\gamma_c$  = berat jenis lempung ( kg/m<sup>3</sup> )
  - $\gamma_m$  = berat jenis lumpur ( kg/m<sup>3</sup> )
  - $\gamma_s$  = berat jenis pasir ( kg/m<sup>3</sup> )
  - $P_c$  = prosentase lempung ( % )
  - $P_m$  = prosentase lumpur ( % )
  - $P_s$  = prosentase pasir ( % )

$\gamma_c, \gamma_m,$  dan  $\gamma_s$  dapat dilihat dari tabel berikut ini :

Tabel.2.4. Berat jenis material menurut type operasi waduk

| Tipe | Berat Jenis Material (kg/m <sup>3</sup> ) |      |      |
|------|---|------|------|
|      | C   | m    | S    |
| 1    | 416                                       | 1120 | 1550 |
| 2    | 561                                       | 1140 | 1550 |
| 3    | 641                                       | 1150 | 1550 |
| 4    | 61  | 1170 | 1550 |

Untuk menentukan kepadatan sedimen setelah T tahun dioperasikan, Miller ( 1953 ) merumuskan :

$$\gamma_T = \gamma_o + 0,4343 K \left( \frac{T}{T - 1} \ln T - 1 \right) \dots ( 2.34 )$$

- Dimana:
- $\gamma_o$  = berat jenis lempung ( $kg / m^3$ )
  - $\gamma_T$  = berat jenis rata-rata endapan setelah T tahun
  - T = waktu pengendapan
  - K = konstanta, tergantung dari prosentase endapan
  - $K = K_c \rho_c + K_m \rho_m + K_s \rho_s \dots \dots \dots ( 2.35 )$
- Dimana:
- K = faktor K endapan
  - $K_c$  = faktor K lempung ( $kg/m^3$ )
  - $K_m$  = faktor K lumpur ( $kg/m^3$ )
  - $K_s$  = faktor K pasir ( $kg/m^3$ )
  - $\rho_c$  = prosentase lempung ( % )
  - $\rho_m$  = prosentase lumpur ( % )
  - $\rho_s$  = prosentase pasir ( % )

Nilai  $K_c$ ,  $K_m$  dan  $K_s$  didapat dari tabel berikut ini :

Tabel.2.5. Nilai Faktor K

| TIPE<br>OPERASI | NILAI FAKTOR K ( SATUAN METRIK) |       |       |
|-----------------|---------------------------------|-------|-------|
|                 | $K_c$                           | $K_m$ | $K_s$ |
| 1               | 0                               | 91    | 256   |
| 2               | 0                               | 29    | 135   |
| 3               | 0                               | 0     | 0     |

## **BAB. III.**

### **METODOLOGI DAN PROSEDUR PENELITIAN**

#### **3.1. Bagan Alir Pola Pikir Kajian**

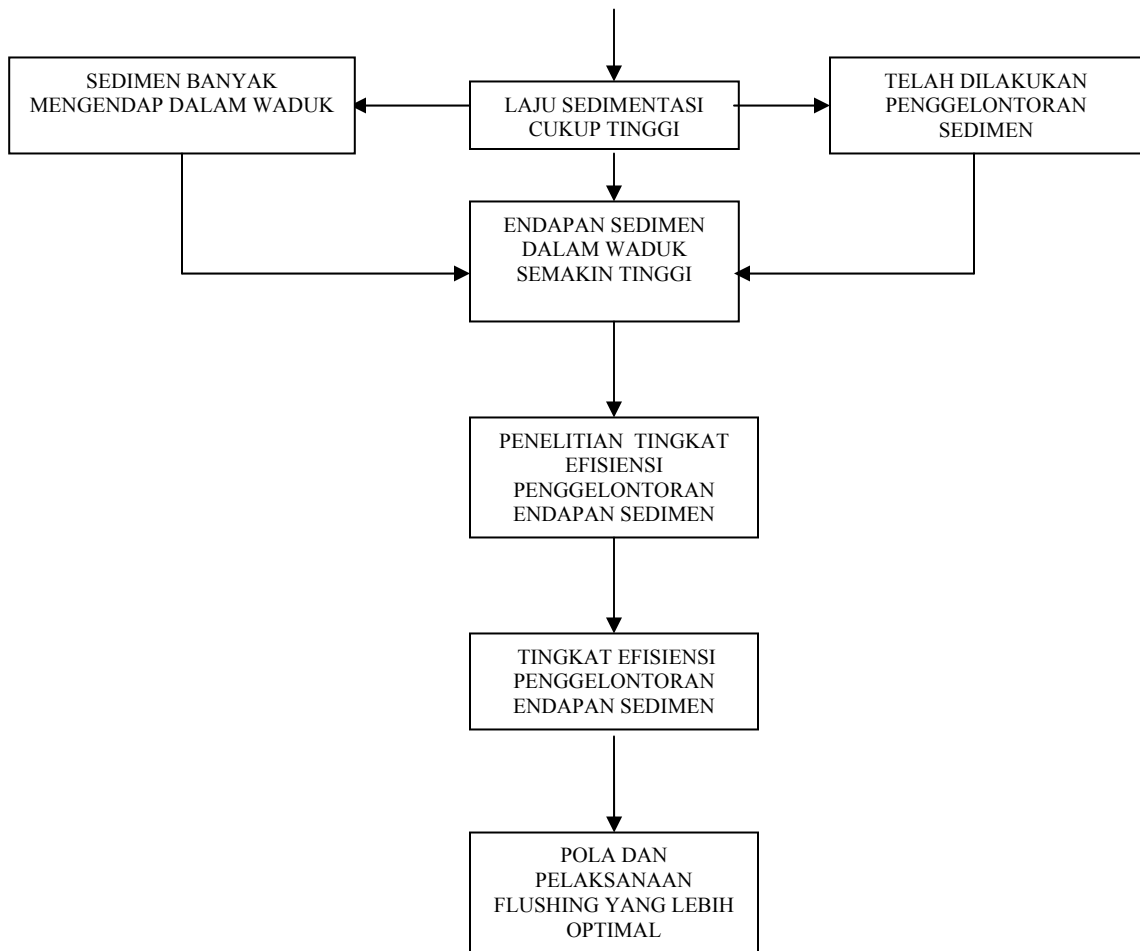
Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa dengan melihat laju sedimentasi yang cukup tinggi pada waduk PLTA P.B. Soedirman dan semakin hari semakin meningkat, maka akan sangat mempengaruhi volume efektif waduk.

Dengan berkurangnya volume efektif waduk maka berakibat akan menurunnya fungsi waduk untuk memproduksi energi listrik, menampung air banjir, mengairi sawah, dan umur waduk yang sesuai rencana selama 50 tahun, dalam kenyataannya hanya bisa efektif lebih singkat dari seharusnya.

PLTA P.B Soedirman diresmikan pada tahun 1988, telah dilengkapi dengan bangunan penggelontor sedimen atau disebut dengan bangunan Drawdown Culvert, dan telah berfungsi mulai tahun 1996. Dari data lapangan terlihat volume sedimen yang telah tergelontor relatif kecil, dibandingkan dengan volume sedimen yang masuk waduk.

Dalam penelitian ini akan mengkaji tingkat efisiensi penggelontoran sedimen waduk PLTA PB. Sudirman, dengan menggunakan data sekunder yang berupa data volume air dan sedimen yang masuk waduk (inflow) dan data sedimen yang keluar waduk (outflow) lewat bangunan penggelontor sedimen ( drawdown culvert ), tidak termasuk yang lewat irrigation outlet, power intake, spillway atau yang lain, yang telah dicatat oleh PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Mrica di Banjarnegara.

Diskripsi ilustrasi pola pikir penelitian dan prosedur pelaksanaan penelitian Tingkat Efisiensi Penggelontoran Sedimen Pada Waduk PLTA P.B.Soedirman selengkapnya dapat disajikan pada bagan alir penelitian pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 dibawah ini.



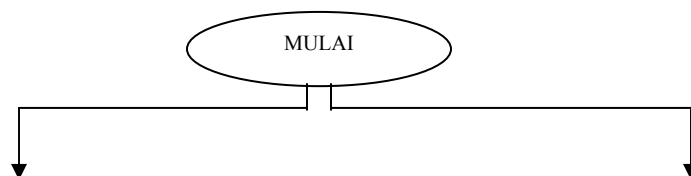
Gambar.3.1. Bagan Alir Pola Pikir Penelitian

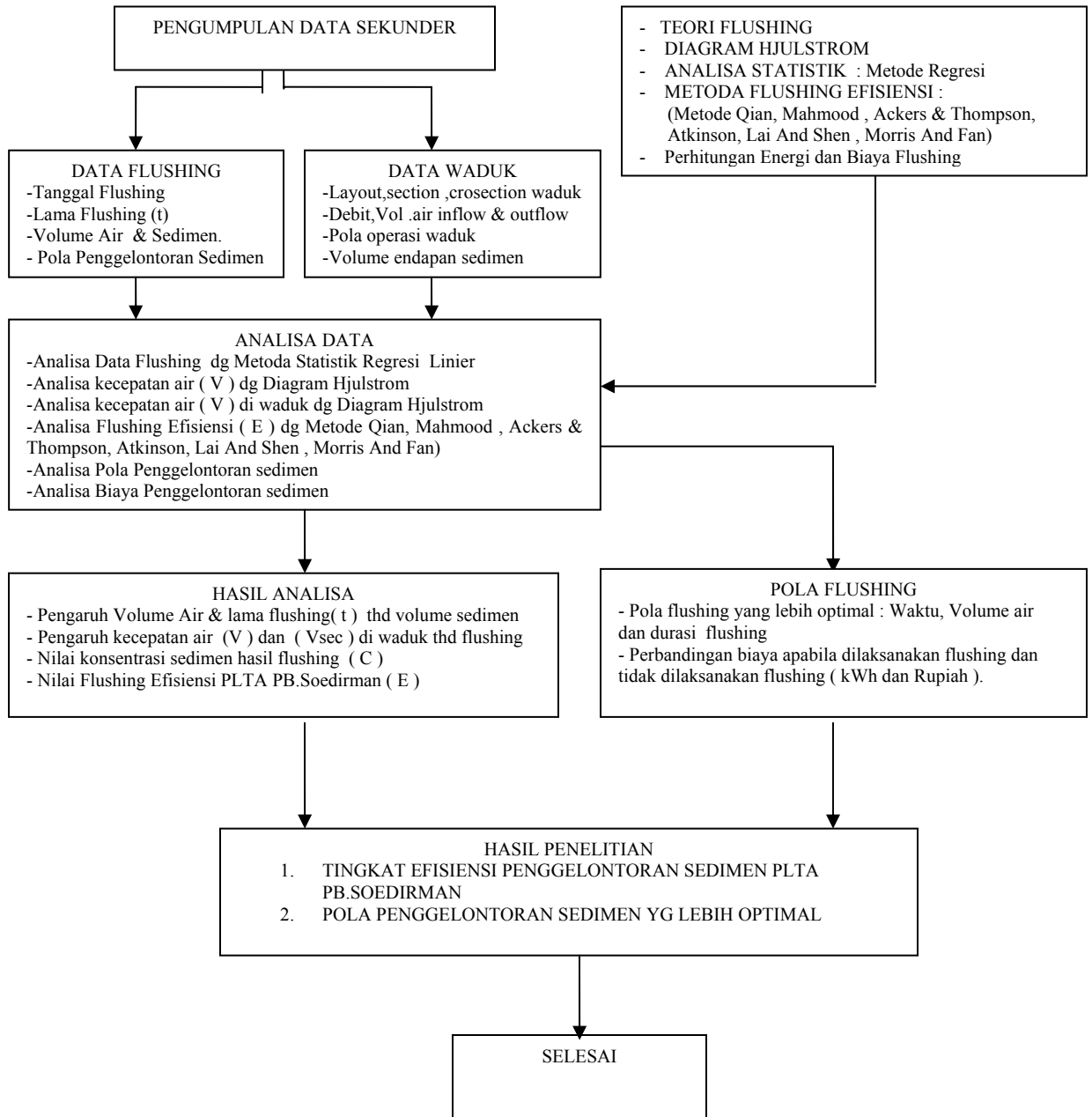
### 3.2. Bagan Alir Penelitian



Prinsip dasar langkah-langkah pada pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan data sekunder yang diperlukan yang berhubungan dengan penelitian tingkat efisiensi penggelontoran sedimen mulai dilaksanakan pekerjaan flushing sedimen pada tahun 1996 sampai dengan tahun 2006, antara lain :
  - Tanggal pelaksanaan flushing
  - Metode perhitungan volume air penggelontor sedimen, volume sedimen
  - Lama pelaksanaan flushing
- b. Pengumpulan data sekunder untuk waduk antara lain
  - Debit air inflow dan outflow harian
  - Debit sedimen harian
  - Denah, penampang melintang, penampang memanjang waduk yang diutamakan pada pengukuran saat dilakukan penggelontoran sedimen
- c. Pengumpulan data desain penggelontoran sedimen melalui drawdown culvert ( bottom outlet ) yang sudah ada, antara lain :
  - Rencana kecepatan air penggelontor sedimen
  - Luas penampang bottom outlet (drawdown culvert ),
- d. Teori tentang penggelontoran sedimen ( flushing )
- e. Beberapa metode perhitungan efisiensi penggelontoran sedimen ( flushing efisiensi ) yang ada.
- f. Pengolahan data dan perhitungan dengan program excel, yang antara lain melakukan uji data statistik, pembuatan tabel dan diagram untuk perhitungan debit dan kecepatan air dan kosentrasi sedimen di drawdown maupun di waduk.
- g. Analisa hasil perhitungan terhadap desain, diagram Hjulstrom , dan hubungannya dengan efisiensi penggelontoran sedimen
- h. Perhitungan tingkat efisiensi penggelontoran sedimen dengan menggunakan beberapa metoda yang ada.
- i.





Gambar 3.2. Bagan Alir Penelitian

### 3.3. Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan untuk menganalisis Tingkat Efisiensi Penggelontoran Endapan Sedimen Waduk PLTA P.B. Soedirman diambil dari data sekunder hasil pengamatan/pengukuran yang dilakukan oleh PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Mrica Banjarnegara sebagai institusi pengelola PLTA PB. Sudirman, diantaranya adalah :

- a. Pola penggelontoran sedimen dan data hasil penggelontoran sedimen yang meliputi volume air yang digunakan untuk menggelontor sedimen (  $V_a$  ), volume sedimen yang tergelontor (  $V_s$  ) dan waktu lamanya dilakukan penggelontoran sedimen (  $t$  ).  
Data yang ada tahun 1996 mulai dilaksanakannya penggelontoran sedimen, sampai dengan tahun 2006.
- b. Pola operasi waduk dan data debit air yang masuk ke dalam waduk (  $Q_w$  inflow ) debit sedimen yang masuk kedalam waduk (  $Q_s$  inflow ), volume sedimen yang masuk waduk, yang mengendap didalam waduk dan yang keluar waduk secara keseluruhan (  $Q_s$  outflow total )..
- c. Data crosection waduk dan kedalaman sedimen dalam waduk yang dihitung melalui pengukuran echo sounding tiap tahun.

Data tersebut diatas diambil oleh PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan PLTA PB. Soedirman dengan cara-cara sebagai berikut :

### **3.3.1. Data Penggelontoran Sedimen**

Penggelontoran sedimen di waduk PLTA PB. Soedirman dilaksanakan berdasarkan pola operasi sebagai berikut :

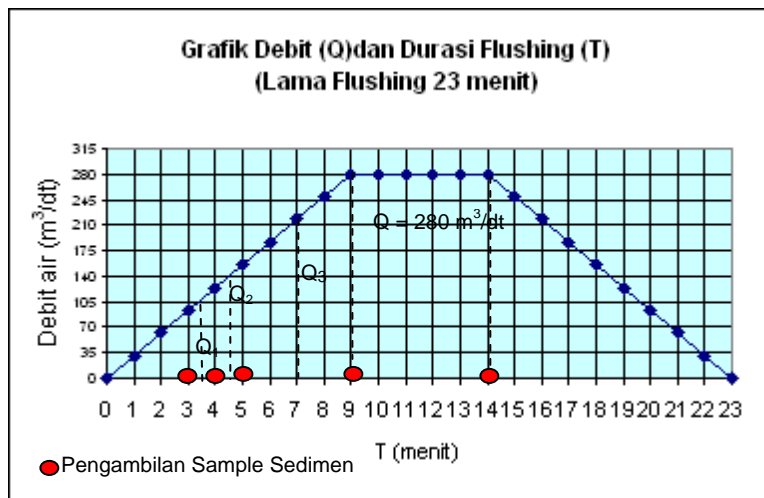
- a. Penggelontoran sedimen dilaksanakan bilamana elevasi endapan sedimen sudah diatas dasar saluran intake drawdown culvert ( + 180 m ).
- b. Penggelontoran sedimen mempertimbangkan ketersediaan air waduk , setelah penggunaan untuk turbin dan irigasi.
- c. Mempertahankan elevasi Minimum Operation Level (MOL) waduk yaitu + 228,20m
- d. Pola penggelontoran sedimen adalah sebagai berikut :
  - Ditentukan waktu ketika akan dibuka dan ditutup (interval waktu dalam menit ).

- Pengambilan sample sedimen pada proses pembukaan pintu secara hidrolik dan pencatatan waktu pengambilan.
- Pengambilan sample dilakukan berulang kali dan diakhiri bila air mulai jernih
- Sample diendapkan dalam gelas ukur dalam beberapa hari, kemudian prosentase sedimen dapat diperkirakan.
- Estimasi volume sedimen.
- Ploting waktu pengambilan sedimen ( dalam menit )
- Ploting luas area debit air yang dibatasi antara kedua waktu pengambilan sample.
- Dihitung luas area debit yang masing-masing memuat satu kejadian pengambilan sample.

e. Perhitungan Volume Air Dan Sedimen :

Volume sedimen hasil penggelontoran tergantung konsentrasi dalam volume air yang keluar dari drawdown culvert.

Perhitungan volume sedimen ditentukan berdasarkan prosentase kandungan sedimen terhadap debit air yang keluar dari drawdown culvert dalam satuan waktu ( menit ). Debit yang keluar diperhitungkan terhadap luas grafik yang dibatasi 2 waktu pengambilan sedimen terhadap lama waktu pembukaan pintu drawdown culvert.

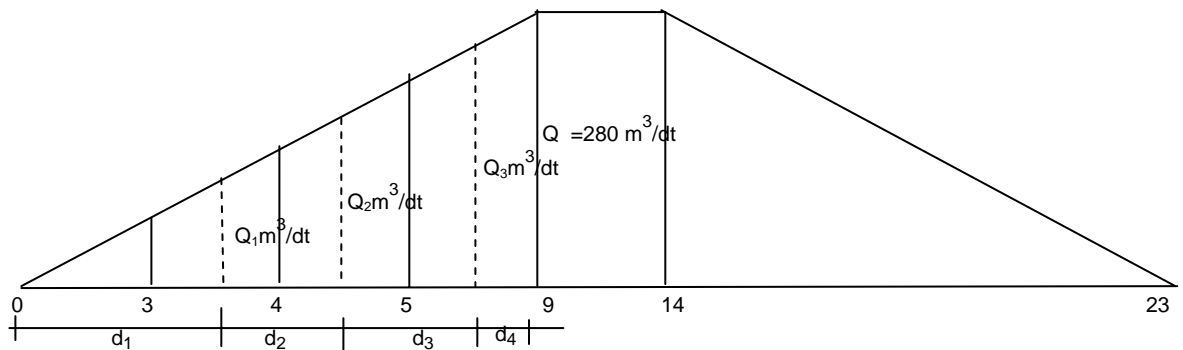


Gambar .3.3. Grafik Debit ( Q ) Dan Waktu ( T )

Bentuk trapesium pada gambar 3.3 diatas, adalah contoh mendiskripsikan waktu yang diperlukan sampai pintu drawdown terbuka penuh adalah 9 menit ( tetap ),

perhitungan volume air berdasarkan luas grafik berbentuk segitiga dan pada saat itu dilakukan pengambilan sample sedimen. Setelah pintu terbuka penuh sampai dengan air jernih ( waktu variable ), volume air berdasarkan luas grafik berbentuk segiempat, masih dilakukan pengambilan sample. Pada contoh diatas waktu variable adalah 5 menit. Waktu yang diperlukan pintu drawdown menutup penuh, sama dengan pada waktu membuka yaitu 9 menit ( tetap ), volume air berdasarkan luas grafik segitiga, tidak dilakukan pengambilan sample.

Contoh perhitungan volume air dan sedimen adalah sebagai berikut :



Contoh Perhitungan Volume Air :

1. Lama waktu flushing = 23 menit
2. Pengambilan sample = Pada menit ke 3 , 4, 5, 9, dan 14
3. Debit maksimum  $Q = 280 \text{ m}^3/\text{dt}$  ( pintu terbuka penuh 9 menit=540 detik )

$$4. \quad d_1 = \left(3 + \frac{3+4}{2}\right) * 60 = 390 \text{ detik}$$

$$5. \quad d_2 = \left(\frac{3+4}{2} + \frac{4+5}{2}\right) * 60 = 480 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama dihitung  $d_3$  dan  $d_4$

$$6. \quad Q_1 = \frac{d_1}{9\text{mnt}} * Q = \frac{390}{540} * 280 \text{ m}^3/\text{dt} = 202,22 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$7. \quad Q_2 = \frac{d_1 + d_2}{9\text{mnt}} * Q = \frac{870}{540} * 280 \text{ m}^3/\text{dt} = 451,11 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Dengan cara yang sama dihitung  $Q_3$

Maka volume air =

$$\text{Pada menit ke 3, } V_a = \frac{Q_1 * d_1}{2} = \frac{202,22 * 390}{2} = 39.433,33 \text{ m}^3$$

$$\text{Pada menit ke 4, } V_a = \frac{(Q_1 + Q_2) * d_2}{2} = \frac{(202,22 + 451,11) * 480}{2} = 156.800 \text{ m}^3$$

Demikian seterusnya dengan cara yang sama dihitung Va pada menit ke 5, 9 dan 14.

Volume Sedimen =

$$\begin{aligned} \text{Pada menit ke .3, } V_s &= V_a * \text{prosentase sedimen pada gelas ukuran} \\ &= 39.433,33 * 96 \% \text{ ( mis : sedimen di gelas ukur 96\%)} \\ &= 37.856 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Demikian seterusnya dengan cara yang sama dihitung Vs pada menit ke 5, 9 dan 14

Data yang didapatkan adalah konsentrasi sedimen, volume air penggelontor sedimen dan volume sedimen yang tergelontor, seperti contoh flushing pada tanggal. 7 Desember 2004 pada Tabel.3.1.

Tabel. 3.1. Contoh Perhitungan Volume Air dan Sedimen Drawdown Culvert

| No | Flushing Sedimen Tanggal 7 Desember 2004 |                    |                                 | Waktu : 23 menit                 |            |
|----|--|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|
|    | Nomor<br>Sample                          | Konsentrasi<br>(%) | Volume Air<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.Sedimen<br>(m <sup>3</sup> ) | Keterangan |
| 1  | 1  | 97                 | 7.894                           | 6.946                            |            |
| 2  | 2  | 92                 | 22.965                          | 1.607                            |            |
| 3  | 3  | 39                 | 40.872                          | 1.185                            |            |
| 4  | 4  | 32                 | 35.929                          | 285                              |            |
| 5  | 5  | 26                 | 51.940                          | 255                              |            |
| 6  | 6  | 29                 | 75.600                          | -                                |            |
|    | Jumlah                                   |                    | 235.200                         | 10.278                           |            |

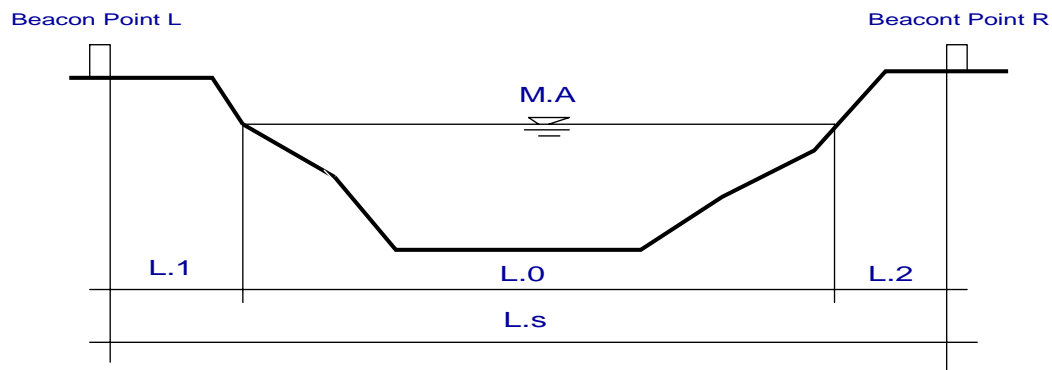
Sumber : Laporan Pelaksanaan Flushing PLTA PB.Sudirman

### 3.3.2. Data Pengukuran Kedalaman Waduk

Untuk menghitung kecepatan air penggelontor sedimen didalam waduk, harus diketahui luas penampang waduk pada tiap-tiap section. Maka data luas section waduk diambil dari hasil pengukuran PLTA PB.Soedirman, dengan cara pengukuran menggunakan peralatan Echo Sounding. Pengukuran kedalaman waduk sepanjang cross section (pada jalur pengukuran) dilakukan dengan alat echosounder yang diletakkan diatas perahu. Melalui tranducer ( bagian alat echosounder ) yang dipasang disisi perahu dan dimasukkan kedalam air ( kurang lebih 40 cm) dipancarkan gelombang elektromagnetik.

Gelombang tersebut akan sampai didasar waduk yang kemudian dipantulkan dan ditangkap kembali oleh tranducer. Dengan demikian dapat dihitung kedalaman waduk yang merupakan fungsi darim kecepatan ( $v$ ) dan waktu ( $t$ ).

Pengukuran crossection pada umumnya dilakukan dengan alat echosounder, akan tetapi pada daerah yang berada diatas permukaan air pengukuran dilakukan dengan alat theodolit dan bak ukur yang menentuklan jarak dan beda tinggi. Hal tersebut dapat diterangkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Pengukuran crossection diatas dan dibawah permukaan waduk

Pada gambar tersebut  $L_s$  adalah jarak keseluruhan dari crossection,  $L_1$  dan  $L_2$  adalah jarak pada daerah diatas permukaan air (daratan) , yang diukur dengan

menggunakan theodolit dan  $L_o$  adalah jarak pada daerah dibawah permukaan air yang diukur dengan menggunakan echosounder.

Data hasil pengukuran yang diperoleh terlebih dahulu harus diperiksa dilapangan untuk mengetahui apakah pengambilan titik detail telah mencukupi atau belum, yaitu dengan melihat perubahan detail yang ada diatas kertas (pias) echosounder. Bilamana dianggap kurang memenuhi harus dilakukan pengukuran ulang.

### 3.3.3. Perhitungan Flushing Efficiency.

Dengan mengacu pada beberapa metode perhitungan flushing efisiensi yang ada, maka data lapangan yang diperoleh atau didapatkan untuk melakukan perhitungan tingkat efisiensi penggelontoran endapan sedimen yaitu :

- a. Volume air inflow ( $V_i$ )

Data yang ada adalah debit air inflow =  $Q_i \text{ m}^3/\text{dt}$

Volume air inflow adalah =  $Q_i \text{ m}^3/\text{dt} \times t.\text{dt} = V_i \text{ m}^3$

$t$  = adalah lama waktu penggelontoran sedimen

- b. Volume air outflow ( $V_o$ )

Data yang ada adalah volume air penggelontor sedimen =  $V \text{ m}^3$ , yang diukur berdasarkan debit air sesuai luas pintu drawdown culvert waktu dibuka dan kecepatan air penggelontor sedimen.

Data air outflow lewat irrigatiopn outlet, power intake, spillway dll tidak diperhitungkan

- c. Volume endapan sedimen yang tergelontor ( $V_d$ )

Data yang ada adalah volume endapan sedimen yang digelontor lewat drawdown culvert =  $V_d \text{ m}^3$

- d. Storage capacity of reservoir before flushing ( $V_1$ ) dan after flushing ( $V_2$ )

Data yang ada adalah kapasitas waduk yang diukur satu tahun sekali pada saat tertentu  $V_1 \text{ m}^3$  dan  $V_2 \text{ m}^3$ .

Karena kapasitas waduk tidak diukur pada saat sebelum flushing dan sesudah flushing.



- e. Outflowing sedimen volume during flushing ( $V_{SO}$ )  
 Data yang ada adalah volume endapan sedimen yang digelontor lewat drawdown culvert =  $V_{SO} \text{ m}^3$
- f. Inflowing sedimen volume during flushing ( $V_{SI}$ )  
 Data yang didapat adalah debit sedimen inflow berdasarkan rumus perhitungan debit sedimen hasil penelitian DPMA yang sudah dimodifikasi sebagai berikut :  
 $Q_s = k.Q_U$   
 Maka volume sedimen inflow adalah =  $Q_s.t$
- g. Berat jenis endapan sedimen ( $\rho$ )  
 Tidak tersedia data
- h. Original live capacity of the reservoir ( $V_{ORI}$ )  
 Data dari detail design PLTA PB Sudirman
- i. Konsentrasi sedimen inflow ( $C_i$ ).  
 Tersedia data debit sedimen inflow dalam  $\text{m}^3$
- j. Konsentrasi sedimen outflow ( $C_o$ )  
 Tersedia data volume sedimen outflow dalam  $\text{m}^3$
- k. Annual quantity of sedimen inflow ( $L_i$ )  
 Data tersedia adalah volume dalam  $\text{m}^3$
- l. Annual quantity of sedimen flushed out ( $L_o$ )  
 Data tersedia adalah volume dalam  $\text{m}^3$
- m. Fraction of year used for flushing  
 Tidak tersedia data
- n. Fraction of year that the river's sediment load will take to refill  $V_2 - V_1$   
 Tidak tersedia data

## **BAB. IV.**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

## 4.1. ANALISA DATA

### 4.1.1. Data Teknis PLTA PB. Soedirman

Secara umum data teknis yang terkait dengan penelitian tingkat efisiensi penggelontoran endapan sedimen di waduk PLTA PB. Soedirman adalah data hasil monitoring dan operasional dari waduk, power intake, irrigation outlet dan drawdown culvert.

#### **Waduk**

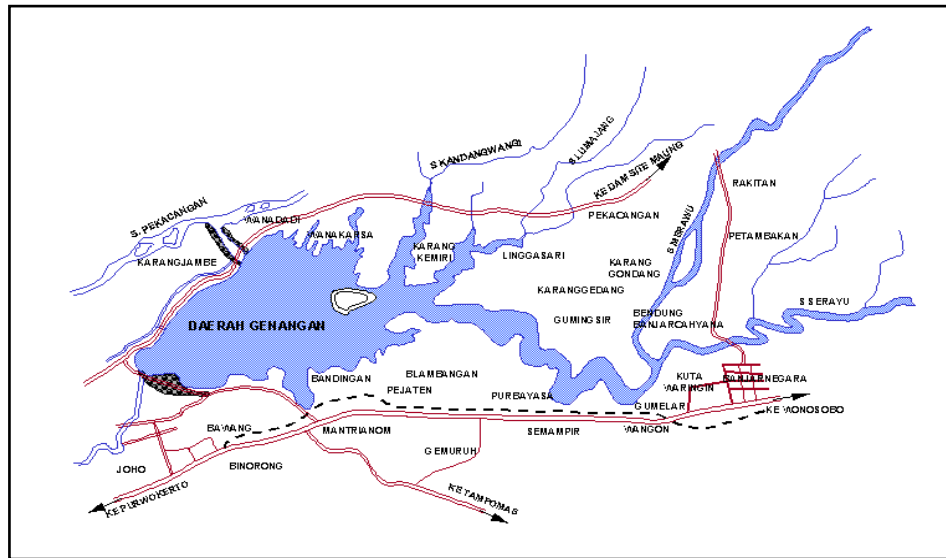
|                                    |   |                            |
|------------------------------------|---|----------------------------|
| Jenis operasi                      | : | <i>multi purpuse</i>       |
| Kapasitas efektif                  | : | 47.000.000 m <sup>3</sup>  |
| Kapasitas seluruh                  | : | 165.000.000 m <sup>3</sup> |
| Luas genangan                      | : | 1050 ha                    |
| Rata-rata <i>inflow</i>            | : | 95 m <sup>3</sup> /dt      |
| Curah hujan/tahun                  | : | 3900 mm                    |
| Luas DPS ( <i>Catchment area</i> ) | : | 1022 km <sup>2</sup>       |
| Full Suplay Level                  | : | + 231.00                   |
| Minimum Operation Level            | : | + 228,20                   |

#### **Bendungan**

|                |   |         |
|----------------|---|---------|
| Tinggi         | : | 100 m   |
| Panjang puncak | : | 832 m   |
| Elevasi Puncak | : | + 235.0 |

#### **Power Intake**

|                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| Jumlah Unit                 | : | 3 Unit  |
| Debit                       | : | 222 m <sup>3</sup> /dt                                |
| Debit turbin yang diijinkan | : | 55 m <sup>3</sup> /dt, maksimum 74 m <sup>3</sup> /dt |



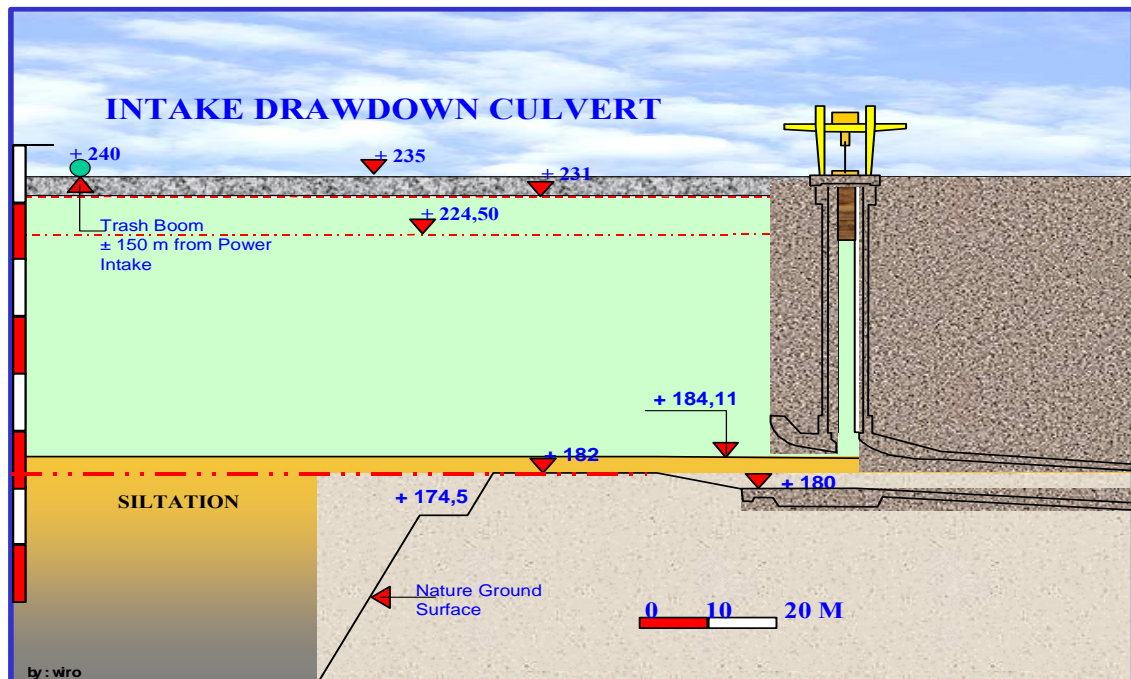
Gambar 4.1. Lay Out Waduk PLTA PB. Soedirman

### Irrigation Outlet

|                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| Debit                     | : | 11 m <sup>3</sup> /dt   |
| Kecepatan air             | : | 0,9 m/dt  |
| Operasional dalam 1 tahun | : | Operasi 90 % dalam 1 tahun, pada bulan Agustus- September, 5 hari operasi 5 hari tidak operasi. |

### Drawdown Culvert

|                               |   |                     |
|-------------------------------|---|---------------------|
| Type                          | : | Tapal kuda,         |
| Luas maksimum                 | : | 20,2 m <sup>2</sup> |
| Kecepatan air di upstream     | : | 31-32 m/dt          |
| Kecepatan air di down stream: | : | 35-45 m/dt          |
| Elevasi dasar intake          | : | + 180.00            |



Gambar 4.2. Potongan Memanjang Intake Drawdown Culvert

#### 4.1.2. Data Pengelontoran Sedimen PLTA PB Soedirman

Pengelontoran sedimen (*flushing*) PLTA PB. Soedirman dilaksanakan dengan cara membuka dan menutup pintu drawdown culvert. Waktu yang diperlukan pintu drawdown mulai dibuka sampai terbuka penuh adalah 9 menit. Demikian juga waktu yang diperlukan untuk menutup pintu sampai tertutup penuh adalah 9 menit. Jadi waktu minimal flushing apabila pintu dibuka penuh langsung ditutup kembali adalah 18 menit

Untuk menghitung volume air dan sedimen adalah berdasarkan cara kerja sesuai dengan uraian pasal 4.4.1.e dan Gambar.3.3 dimuka yaitu dengan cara pengambilan sample sedimen berulang kali, misalnya setiap menit pada 9 menit pertama pintu dibuka, dan diteruskan sampai air dianggap jernih ( waktunya variable ), kemudian tidak dilakukan pengambilan sample lagi sampai dengan pintu drawdown culvert ditutup penuh pada 9 menit terakhir. Sedangkan volume air dihitung berdasarkan debit air dan luasan berbentuk trapesium pada Gambar 3.3. disesuaikan dengan waktu pada saat pengambilan sample .

Untuk mengetahui cara perhitungan volume air dan sedimen hasil flushing sesuai pola perhitungan PLTA PB. Soedirman, kita ambil contoh data flushing tanggal 24 Januari 2006 sebagai berikut :

Tabel.4.1. Perhitungan Volume Air Dan Sedimen Flushing

| Flushing Sedimen Tanggal 24 Januari 2006 |        |             |                   | Waktu : 10 menit  |            |
|--|--------|-------------|-------------------|-------------------|------------|
| No                                       | Nomor  | Konsentrasi | Vol. Air          | Vol.Sedimen       | Keterangan |
|  | Sample | (%)         | (m <sup>3</sup> ) | (m <sup>3</sup> ) |            |
| 1  | 1      | 96,00       | 6.029             | 5.788             |            |
| 2  | 2      | 5,00        | 8.903             | 445               |            |
| 3  | 3      | 1,00        | 15.927            | 159               |            |
| 4  | 4      | 0,10        | 21.640            | 22                |            |
| 5  | 5      | 0,10        | 15.502            | 115               |            |
| 6  | -      | -           | -                 | -                 |            |
|  | Jumlah |             | 168.000           | 6.529             |            |

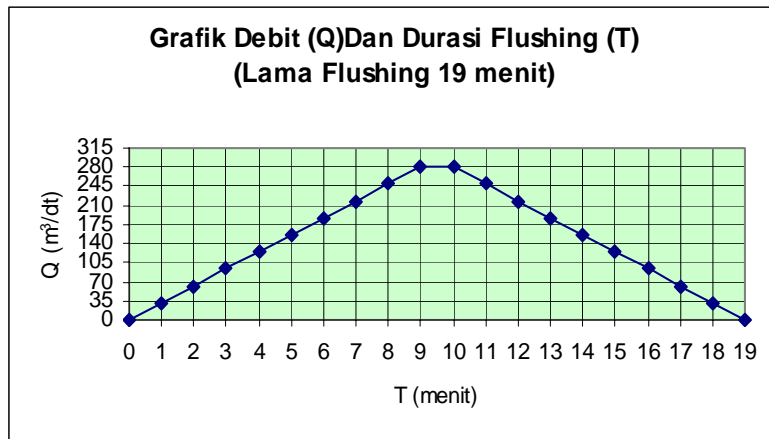
Sumber : Laporan Pelaksanaan Flushing PLTA PB.Sudirman

Tabel 4.1. menunjukkan data hasil dari penggelontoran sedimen pada tanggal 24 Januari 2006, yaitu waktu pelaksanaan penggelontoran sedimen selama 10 menit, jumlah volume air yang digunakan untuk menggelontor sedimen sebesar 168.000 m<sup>3</sup>, jumlah volume sedimen yang dapat dikeluarkan dari dalam waduk sebesar 6.529 m<sup>3</sup>, pengambilan sample sedimen sebanyak 5 kali dan konsentrasi sedimen dari sample 1 sebesar 96 % sampai dengan sample ke 5 sebesar 0,10 %. Tidak tercantum data waktu kapan pengambilan sample ke 1 s/d ke 5.

*Koreksi data*

Seperi diuraikan diatas bahwa waktu minimal flushing adalah 18 menit, maka waktu flushing 10 menit pada Tabel 4.1. perlu dilakukan koreksi data.

Untuk mendapatkan volume air penggelontor dan sedimen pada Tabel. 4.1 tersebut diatas, adalah dengan cara dibuat grafik debit air penggelontor sedimen ( Q ) dan durasi flushing ( T ) seperti Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar.4.3. Grafik Debit (Q) Dan Durasi Flushing (T)

Perhitungan volume air penggelontor sedimen berdasarkan waktu flushing 10 menit :

- b. Debit air penggelontor sedimen pada saat pintu drawdown dibuka sampai terbuka penuh sesuai pedoman operasional drawdown culvert adalah  $280 \text{ m}^3/\text{dt}$  , dan waktu yang diperlukan adalah 9 menit ( tetap ).

Maka volume air dari pintu dibuka sampai terbuka penuh ( pada grafik berbentuk luasan segitiga ) adalah :

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= ( 0,5 * 280 * 9 * 60 ) \text{ m}^3 \\ &= 75.600 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- c. Apabila lama flushing 10 menit, maka waktu variable ( pada grafik berbentuk luasan segiempat ) pada contoh diatas adalah = ( 10 – 9 ) menit  
= 1 menit

$$\begin{aligned}\text{Volume Air} &= ( 1 * 280 * 60 ) \text{ m}^3 \\ &= 16.800 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- d. Maka Volume air dengan waktu flushing 10 menit, adalah :

$$75.600 \text{ m}^3 + 16.800 \text{ m}^3 = 92.400 \text{ m}^3$$

( Tidak sesuai dengan waktu flushing pada tabel 4.1 yaitu  $168.000 \text{ m}^3$  )

Perhitungan waktu flushing berdasarkan volume air sebesar  $168.000 \text{ m}^3$  sesuai dengan Tabel 4.1 adalah sebagai berikut :

- a. Volume air dari pintu dibuka sampai terbuka penuh ( pada grafik berbentuk luasan segitiga ) adalah :

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= ( 0,5 * 280 * 9 * 60 ) \text{ m}^3 \\ &= 75.600 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- b. Volume air pintu ditutup sampai tertutup penuh ( pada grafik berbentuk luasan segitiga ) adalah :

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= ( 0,5 * 280 * 9 * 60 ) \text{ m}^3 \\ &= 75.600 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- c. Jumlah volume air waktu minimal penggelontoran sedimen selama 18 menit adalah :  $75.600 \text{ m}^3 + 75.600 \text{ m}^3 = 151.600 \text{ m}^3$

Volume air sesuai Tabel. 4.1. adalah  $168.000 \text{ m}^3$

$$\begin{aligned}\text{Jadi masih terdapat selisih volume air sebesar} &= 168.000 \text{ m}^3 - 151.600 \text{ m}^3 \\ &= 16.800 \text{ m}^3.\end{aligned}$$

Maka selisih volume air sebesar 16.800 m<sup>3</sup> tersebut adalah merupakan volume air saat flushing setelah 9 menit awal pintu dibuka ( luasan pada grafik Gambar 4.1. berbentuk segiempat ) yang merupakan waktu variabel.

Jadi waktu variabel adalah : ( 16.800 : 280 : 60 ) menit = 1 menit

Maka waktu flushing 10 menit pada Tabel.4.1. tidak benar, yang benar setelah dikoreksi adalah ( 9 + 9 + 1 ) menit = 19 menit

Maka hasil koreksi data perhitungan volume air dan sedimen hasil penggelontoran sedimen tanggal 24 Januari 2006 sesuai Tabel 4.1 yang benar, adalah seperti Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel.4.2. Perhitungan Volume Air Dan Sedimen Flushing

| Flushing Sedimen Tanggal 24 Januari 2006 |        |         |             |                   | Waktu : 19 menit  |            |
|--|--------|---------|-------------|-------------------|-------------------|------------|
| No                                       | Nomor  | Waktu   | Konsentrasi | Vol. Air          | Vol.Sedimen       | Keterangan |
|  | Sample | (menit) | (%)         | (m <sup>3</sup> ) | (m <sup>3</sup> ) |            |
| 1  | 1      | 2,08    | 96,00       | 6.029             | 5.788             |            |
| 2  | 2      | 3       | 5,00        | 8.903             | 445               |            |
| 3  | 3      | 5       | 1,00        | 15.927            | 159               |            |
| 4  | 4      | 6,5     | 0,10        | 21.640            | 22                |            |
| 5  | 5      | 8,5     | 0,10        | 115.502           | 115               |            |
| 6  | -      | 19      | -           | -                 | -                 |            |
|  |        | Jumlah  |             | 168.000           | 6.529             |            |

Selengkapnya Tabel perhitungan volume air dan sedimen hasil flushing tahun 1996 sampai tahun 2006 yang sudah dikoreksi waktu flushing dan waktu pengambilan sample, seperti terlihat pada Tabel D.1 s/d D.25 Lampiran D.1 s/d D.5. Dan selanjutnya rekapitulasi hasil perhitungan volume air dan sedimen tahun 1996 sampai dengan tahun 2006 seperti pada Tabel. 4.3.

#### 4.1.3. Analisa Statistik Rangkaian Data Flushing.

Analisa data flushing dengan menggunakan statistik dimaksudkan untuk mengetahui hubungan atau pengaruh nyata waktu yang diperlukan untuk melaksanakan flushing dan volume air penggelontor sedimen, terhadap volume sedimen yang dapat digelontor keluar dari dalam waduk.

Data yang akan dilakukan analisa statistik adalah data rekapitulasi hasil pengukuran volume air dan sedimen hasil flushing pada Tabel.D.1-D.25 lampiran D.1 s./d D.5, yang berupa ; tanggal pelaksanaan flushing, waktu lamanya pelaksanaan flushing, volume air yang digunakan untuk flushing dan volume sedimen tergelontor. Flushing dimulai pada bulan Pebruari 1996 sampai dengan 29 Mei 2006, seperti terlihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3. Data Flushing PLTA PB. Soedirman Th.1996 – 2006

| No | Tgl. Flushing | Lama Flushing<br>(menit) | Vair<br>m <sup>3</sup> | Vsed<br>m <sup>3</sup> |
|----|---------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | 2             | 3                        | 4                      | 5                      |
| 1  | 15/02/1996    | 59                       | 840.000                | 5.141                  |
| 2  | 17/07/1996    | 25                       | 268.800                | 2.592                  |
| 3  | 24/02/1999    | 31                       | 369.600                | 5.154                  |
| 4  | 10/11/1999    | 65                       | 945.000                | 19.474                 |
| 5  | 11/04/2000    | 31                       | 369.600                | 23.657                 |
| 6  | 31/10/2000    | 19                       | 168.000                | 10.097                 |
| 7  | 29/01/2001    | 23                       | 235.200                | 10.278                 |
| 8  | 04/07/2001    | 21                       | 201.600                | 4.190                  |
| 9  | 08/10/2001    | 44                       | 588.000                | 43.403                 |
| 10 | 16/01/2002    | 32                       | 386.400                | 8.787                  |
| 11 | 20/03/2002    | 25                       | 268.800                | 2.784                  |
| 12 | 31/12/2002    | 29                       | 336.000                | 15.100                 |
| 13 | 21/04/2003    | 30                       | 352.800                | 16.783                 |
| 14 | 01/04/2004    | 28                       | 310.800                | 21.189                 |
| 15 | 07/12/2004    | 42                       | 554.400                | 243.316                |
| 16 | 30/12/2004    | 63                       | 898.800                | 139.314                |
| 17 | 15/02/2005    | 28                       | 319.200                | 9.814                  |
| 18 | 31/10/2005    | 56                       | 781.200                | 52.855                 |
| 19 | 08/12/2005    | 22                       | 210.000                | 6.560                  |
| 20 | 23/12/2005    | 19                       | 168.000                | 10.890                 |
| 21 | 24/01/2006    | 19                       | 168.000                | 6.529                  |
| 22 | 08/02/2006    | 20                       | 184.800                | 1.520                  |
| 23 | 02/03/2006    | 21                       | 201.600                | 9.098                  |
| 24 | 19/04/2006    | 39                       | 504.000                | 13.307                 |
| 25 | 29/05/2006    | 24                       | 252.000                | 3.644                  |

Sumber : Laporan Pelaksanaan Flushing PLTA PB Soedirman

Analisa Statistik dilakukan dengan menggunakan metode Regresi Linier, seperti Persamaan 2.1 sampai dengan Persamaan 2.7, yaitu dengan menganalisa ada atau tidaknya :

- a. Hubungan atau pengaruh volume air terhadap volume sedimen
- b. Hubungan atau pengaruh lama flushing terhadap volume sedimen

#### ad.a Hubungan atau pengaruh volume air terhadap volume sedimen



Dengan menggunakan Tabel 4.3. tersebut di muka, dilakukan analisa statistik pengaruh volume air penggelontor sedimen terhadap volume sedimen tergelontor, sebagai berikut :

### **Menentukan Model**

Untuk menentukan model persamaan regresi linier, yaitu dengan menggunakan persamaan 2.1 :  $\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x$

( Perhitungan statistik selengkapnya pada Lampiran E. Statistik )

Koefisien regresi linier  $b_0$  dan  $b_1$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3, didapat :

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{\sum x \cdot y - (n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y})}{\sum x^2 - (n \cdot \bar{x}^2)} \\ &= 0,097 \\ b_0 &= \bar{y} - b_1 \cdot \bar{x} \\ &= -10.843,07 \end{aligned}$$

Maka model regresi linier :  $\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x$

$$\hat{y} = -10.843,07 + 0,097 x$$

### **Kecocokan Model**

Pengujian hypotesa regresi linier sederhana :

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

Dengan statistika pengujian :

$$F_0 = \frac{SSR/1}{SSE/(n-2)}$$

$$F_0 = 5,48$$

Untuk  $\alpha = 5 \%$ ,  $F_{0,005; 1; (n-2)} = F_{0,05; 1; 23} = 4,28$

Karena  $F_o = 5,48 > 4,28$ , maka  $H_o$  ditolak, yang berarti menerima  $b_1 = 0,097$  merupakan konstanta model regresi linier.

Ditentukan koefisien determinasi dengan Persamaan 2.5 didapat koefisien determinasi :  $R^2 = 0,1924$ , berarti volume air memberikan variabilitas atau kontribusi sebesar 19,24 % terhadap volume sedimen.

### Uji Korelasi

Uji korelasi untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh volume air terhadap volume sedimen, digunakan Persamaan 2.6. didapat :

$$\begin{aligned} \text{Koefisien korelasi : } r &= \frac{\text{Cov}(x, y)}{S_x \cdot S_y} \\ &= 0,4386748 \end{aligned}$$

Pengujian hipotesis adanya korelasi dilakukan dengan :

$$H_o : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Dengan statistika pengujian dengan Persamaan 2.7, didapat :

$$\begin{aligned} t_o &= \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \\ &= 4,7958 \end{aligned}$$

Dengan  $t_{0,025,23} = 2,069$ , karena  $t_o = 4,7958 > t_{0,025,23} = 2,069$ , maka  $H_o$  ditolak, yang berarti bahwa *pengaruh volume air terhadap volume sedimen tidak signifikan, dengan tingkat korelasi sebesar 19,24 %*

### ad.b. Hubungan / pengaruh lama flushing terhadap volume sedimen

Dengan menggunakan Tabel 4.3. tersebut diatas, dilakukan analisa statistik pengaruh lama waktu penggelontoran sedimen terhadap volume sedimen tergelontor, sebagai berikut :

### Menentukan Model

Untuk menentukan model persamaan regresi linier, yaitu dengan menggunakan persamaan 2.1 :  $\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x$

( Perhitungan statistik selengkapnya pada Lampiran F. Statistik )

Koefisien regresi linier  $b_0$  dan  $b_1$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3, didapat :

$$b_1 = \frac{\sum x \cdot y - (n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y})}{\sum x^2 - (n \cdot \bar{x}^2)}$$
$$= 1.630,61$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \cdot \bar{x}$$
$$= -25.738,91$$

Maka model regresi linier :  $\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x$

$$\hat{y} = -25.738,91 + 1.630,61 x$$

### **Kecocokan Model**

Pengujian hypotesa regresi linier sederhana :

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

Dengan statistika pengujian :

$$F_0 = \frac{SSR/1}{SSE/(n-2)}$$

$$F_0 = 5,55$$

$$\text{Untuk } \alpha = 5\%, F_{0,005; 1; (n-2)} = F_{0,05; 1; 23} = 4,28$$

Karena  $F_0 = 5,55 > 4,28$  maka  $H_0$  ditolak. Berarti menerima  $\beta_1 = 1.630,61$  merupakan konstanta model regresi linier.

Ditentukan koefisien determinasi dengan Persamaan 2.5 didapat koefisien determinasi :  $R^2 = 0,1944$ , berarti volume air memberikan variabilitas atau kontribusi sebesar 19,44 % terhadap volume sedimen.

### **Uji Korelasi**

Uji korelasi untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh lama flushing terhadap volume sedimen, digunakan Persamaan 2.6. didapat :

$$\begin{aligned} \text{Koefisien korelasi : } r &= \frac{\text{Cov}(x, y)}{S_x \cdot S_y} \\ &= 0,4408543 \end{aligned}$$

Pengujian hipotesis adanya korelasi dilakukan dengan :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Dengan statistika penguji dengan Persamaan 2.7, didapat :

$$\begin{aligned} t_o &= \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \\ &= 4,3046 \end{aligned}$$

Dengan  $t_{0,025,23} = 2,069$ , karena  $t_o = 4,3046 > t_{0,025,23} = 2,069$ , maka  $H_0$  ditolak, yang berarti bahwa *pengaruh volume air terhadap volume sedimen tidak signifikan, dengan tingkat korelasi sebesar 19,44 %*

#### 4.1.4. Analisa Kecepatan Air Penggelontor Sedimen Di Drawdown Culvert

Untuk mengetahui kemampuan kecepatan air waduk menggelontor endapan sedimen, dilakukan perhitungan kecepatan air penggelontor sedimen dengan menggunakan Persamaan (2.8) yaitu  $V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$  dan diagram Hjulstrom. H adalah selisih elevasi muka air waduk dan elevasi intake drawdown culvert, pada saat penggelontoran sedimen.

Dengan mengambil nilai gravitasi  $g = 9,8 \text{ m/dt}^2$ , maka kecepatan air pada saat penggelontoran sedimen dapat dihitung, dengan hasil perhitungan seperti Tabel 4.4. dibawah ini.

Tabel 4.4. Perhitungan Kecepatan Air Penggelontor Sedimen

| No | Tanggal | Elevasi Intake | Elevasi M. A | H | V |
|----|---------|----------------|--------------|---|---|
|----|---------|----------------|--------------|---|---|

|    | Flushing   | Drawdown Culvert | Waduk  | m               | m/dt  |
|----|------------|------------------|--------|-----------------|-------|
| 1  | 2          | 3                | 4      | 5               | 6     |
| 1  | 15/02/1996 | 180,00           | 228,82 | 48,82           | 30,93 |
| 2  | 17/07/1996 | 180,00           | 230,78 | 50,78           | 31,55 |
| 3  | 24/02/1999 | 180,00           | 229,66 | 49,66           | 31,20 |
| 4  | 10/11/1999 | 180,00           | 228,05 | 48,05           | 30,69 |
| 5  | 11/04/2000 | 180,00           | 231,01 | 51,01           | 31,62 |
| 6  | 31/10/2000 | 180,00           | 229,45 | 49,45           | 31,13 |
| 7  | 29/01/2001 | 180,00           | 228,96 | 48,96           | 30,98 |
| 8  | 04/07/2001 | 180,00           | 230,62 | 50,62           | 31,50 |
| 9  | 08/10/2001 | 180,00           | 230,97 | 50,97           | 31,61 |
| 10 | 16/01/2002 | 180,00           | 228,72 | 48,72           | 30,90 |
| 11 | 20/03/2002 | 180,00           | 229,70 | 49,70           | 31,21 |
| 12 | 31/12/2002 | 180,00           | 229,79 | 49,79           | 31,24 |
| 13 | 21/04/2003 | 180,00           | 228,15 | 48,15           | 30,72 |
| 14 | 01/04/2004 | 180,00           | 229,59 | 49,59           | 31,18 |
| 15 | 07/12/2004 | 180,00           | 228,97 | 48,97           | 30,98 |
| 16 | 30/12/2004 | 180,00           | 229,05 | 49,05           | 31,01 |
| 17 | 15/02/2005 | 180,00           | 228,15 | 48,15           | 30,72 |
| 18 | 31/10/2005 | 180,00           | 229,26 | 49,26           | 31,07 |
| 19 | 08/12/2005 | 180,00           | 229,03 | 49,03           | 31,00 |
| 20 | 23/12/2005 | 180,00           | 228,88 | 48,88           | 30,95 |
| 21 | 24/01/2006 | 180,00           | 229,87 | 49,87           | 31,26 |
| 22 | 08/02/2006 | 180,00           | 228,95 | 48,95           | 30,97 |
| 23 | 02/03/2006 | 180,00           | 229,93 | 49,93           | 31,28 |
| 24 | 19/04/2006 | 180,00           | 229,49 | 49,49           | 31,14 |
| 25 | 29/05/2006 | 180,00           | 230,09 | 50,09           | 31,33 |
|    |            |                  |        | V rata - rata = | 31,11 |

Sumber : Data Hasil Flushing PLTA PB. Soedirman diolah

Pada Tabel 4.4. menunjukkan bahwa *kecepatan air penggelontor sedimen maksimum*  $V = 31,62 \text{ m/dt}$  terjadi pada saat elevasi muka air waduk pada ketinggian + 231,01 dan elevasi intake drawdown culvert + 180,00 atau ketinggian maksimum  $H = 51,01 \text{ m}$ . Sedangkan *kecepatan air minimum*  $V = 30,69 \text{ m/dt}$  terjadi pada saat elevasi muka air waduk pada ketinggian + 228,05 atau  $H = 48,05 \text{ m}$ . Maka *kecepatan air penggelontor sedimen rata-rata* adalah  $V = 31,11 \text{ m/dt}$ .

Dari besaran kecepatan air penggelontor sedimen yang didapat dari hasil perhitungan tersebut, kemudian dengan menggunakan Grafik Hjulstrom kita lihat pengaruhnya terhadap besarnya diameter endapan sedimen yang dapat digelontor.

Pada grafik tersebut *kecepatan air sebesar*  $V = 30,69 \text{ m/dt}$  (*V minimum*) *sampai dengan*  $V = 31,62 \text{ m/dt}$  (*V maksimum*) *mampu menggelontor sedimen sampai dengan*

*diameter 500 mm atau dalam grafik Hjulsstrom termasuk dalam batasan pada area sediment transportaion dan erosion.*

#### **4.1.5. Analisa Kecepatan Air Penggelontor Sedimen Di Waduk**

Pada saat dilaksanakan penggelontoran sedimen, maka terjadi aliran air waduk kearah drawdown culvert. Di drawdown culvert air mengalir dengan kecepatan tinggi (  $V_{rata-rata} = 28,89 \text{ m/dt}$  ), sedangkan untuk mengetahui kecepatan aliran air di area waduk perlu dilakukan perhitungan tersendiri. Perhitungan kecepatan air penggelontor sedimen di waduk, adalah untuk mengetahui kemampuan kecepatan aliran air di waduk untuk menggelontor endapan sedimen.

Perhitungan kecepatan air penggelontor sedimen di waduk, digunakan rumus seperti pada Persamaan (2.16), yaitu :  $V_{SEC} = Q_w / A_{SEC}$ .

Untuk menghitung debit air penggelontor sedimen (  $Q_w$  ), dengan menggunakan Persamaan (2.9) yaitu :  $Q_w = V \times A$ ., sedangkan untuk menghitung luas penampang waduk pada tiap crossection (  $A_{sec}$  ), adalah luas penampang waduk berdasarkan hasil pengukuran echo sounding sesuai perkembangan elevasi sedimen pada dasar waduk tiap tahun.

Perhitungan besarnya kecepatan air penggelontor sedimen di waduk (  $V_{sec}$  ), dapat dilihat pada Tabel.K.1 sampai dengan Tabel.K.10.( Lampiran K.1.-K.10).

Penampang waduk hanya diambil 10 section ( section 1 – 10 ), berdasarkan hasil pengukuran tahun 1996 – 2006 tiap tahun. Yaitu untuk mengetahui perubahan elevasi endapan sedimen pada tiap section, sehingga didapatkan luas penampang waduk. (  $A_{SEC}$  ).

Pada Tabel K.1. sampai dengan K.10. pada lampiran K.1-K.10, perhitungan kecepatan air penggelontor sedimen di waduk menunjukkan bahwa kecepatan air waduk di section 1 adalah sebesar  $V = 0,2745 \text{ m/dt}$ , ke hulu semakin mengecil atau di section 10  $V = 0,0903 \text{ m/dt}$  dan di section 4 sebesar  $V = 0,0350 \text{ m/dt}$ .

Untuk selanjutnya dibuat rekapitulasi perhitungan kecepatan air di waduk pada section 1 – 10. pada Tabel 4.5 Rekapitulasi Perhitungan Kecepatan Air di waduk.

Apabila besarnya kecepatan air kita masukkan kedalam grafik Hjulstrom, maka kecepatan air waduk pada saat flushing yang mampu menggelontor endapan sedimen di waduk ( erotion ), hanya kecepatan air di section 1 atau  $V = 0,274586$  m/dt. Sedangkan pada section 2 – 10 ( kearah upstream waduk ) tidak mampu untuk menggelontor endapan sedimen. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel. 4.5 dibawah ini.

Tabel. 4.5. Rekapitulasi Perhitungan Kecepatan Air Di Waduk ( Vsec)

| Section | Va.sec<br>rata2(m/dt) | Diameter sedimen(mm) |                |               |
|---------|-----------------------|----------------------|----------------|---------------|
|         |                       | Erotion              | Transportation | Sedimentation |
| 1       | 0,274586              | 0,001 - 1,0          | 0,001 - 3,0    | 3,0 – 500,0   |
| 2       | 0,054917              |                      | 0,001 - 0,6    | 0,6 – 500,0   |
| 3       | 0,043902              |                      | 0,001 - 0,4    | 0,4 – 500,0   |
| 4       | 0,035023              |                      | 0,001 - 0,3    | 0,3 – 500,0   |
| 5       | 0,037732              |                      | 0,001 - 0,3    | 0,3 – 500,0   |
| 6       | 0,050796              |                      | 0,001 - 0,6    | 0,6 – 500,0   |
| 7       | 0,072367              |                      | 0,001 - 0,7    | 0,7 – 500,0   |
| 8       | 0,076987              |                      | 0,001 - 0,7    | 0,7 – 500,0   |
| 9       | 0,076904              |                      | 0,001 - 0,7    | 0,7 – 500,0   |
| 10      | 0,090391              |                      | 0,001 - 0,9    | 0,9 – 500,0   |

Dari hasil analisa kecepatan air penggelontor sedimen menunjukkan bahwa dengan kecepatan air yang tinggi di drawdown culvert  $V = 28,89$  m/dt, tidak mampu menggelontor endapan sedimen di waduk. Hal ini disebabkan kecepatan air di waduk sangat kecil, dan hanya di section 1 dengan  $V = 0,2745$  m/dt yang mampu menggelontor endapan sedimen dengan gradasi 0,001 – 1,0 mm.

Maka dengan kecepatan air yang tinggi namun tidak mampu menggelontor sedimen, akan menyebabkan hasil penenggelontoran sedimen tidak efisien, karena air waduk banyak terbuang tanpa sedimen tergelontor keluar waduk.

#### 4.1.6. Analisa Konsentrasi Sedimen

Analisa konsentrasi sedimen adalah untuk mengetahui volume sedimen yang dapat digelontor keluar dari dalam waduk, dibandingkan dengan volume air yang digunakan untuk penggelontoran sedimen. Perhitungan konsentrasi sedimen ( C ), dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2.15) yaitu :

$$C = \frac{Q_s}{Q_w \cdot k} \text{ atau } C = \frac{\text{Volume Sedimen}}{\text{Volume Air Penggelontor Sedimen}}$$

Pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa konsentrasi sedimen minimum sebesar  $C = 0,0061$  dan konsentrasi sedimen maksimum sebesar  $C = 0,4389$ , sedangkan konsentrasi sedimen rata-rata adalah sebesar  $C = 0,0571$ . Nilai yang sangat kecil dari konsentrasi sedimen menunjukkan bahwa penggelontoran sedimen tidak efisien, karena volume sedimen yang dihasilkan sangat kecil dibandingkan dengan volume air penggelontor sedimen yang digunakan sangat besar.

Hal ini dapat kita lihat pada flushing tanggal 15/02/96, volume air sebesar 840.000 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen 5.141 m<sup>3</sup>. Flushing tanggal 10/11/99 volume air sebesar 945.000 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen 19.474 m<sup>3</sup>. Konsentrasi sedimen yang didapatkan  $C = 0,0061$  dan  $0,0206$ , dibawah konsentrasi sedimen rata-rata  $C = 0,0571$ . Dari hasil flushing tersebut, menunjukkan bahwa rata-rata volume air yang digunakan sangat besar apabila dibandingkan dengan sedimen yang dapat digelontor keluar waduk.

Pelaksanaan penggelontoran sedimen tidak efisien ditunjukkan juga pada penggunaan volume air yang hampir sama, namun volume sedimen yang dihasilkan berbeda atau volume air kecil sedimen yang dihasilkan cukup besar, sedangkan volume air besar tapi sedimen yang dihasilkan kecil.

Hal ini dapat kita lihat pada flushing tanggal 15/02/96, volume air sebesar 840.000 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen 5.141 m<sup>3</sup>. Flushing tanggal 10/11/99 volume air sebesar 945.000 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen 19.474 m<sup>3</sup>. Pada flushing tanggal 07/12/04, volume air sebesar 554.400 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen 243.316 m<sup>3</sup>. Flushing tanggal 10/11/99 volume air sebesar 898.800 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen 139.314 m<sup>3</sup>

Penggelontoran sedimen yang dapat menghasilkan nilai konsentrasi sedimen diatas rata-rata, adalah yang dilaksanakan pada :

- Tahun 2000, bulan ke .4 dan ke.10
- Tahun 2001, bulan ke.10
- Tahun 2004, bulan ke. 4, 12 dan ke.12
- Tahun 2005, bulan ke 10 dan ke.12

Tabel 4.6. Perhitungan Konsentrasi Sedimen Hasil Flushing Tahun 1996 -2006

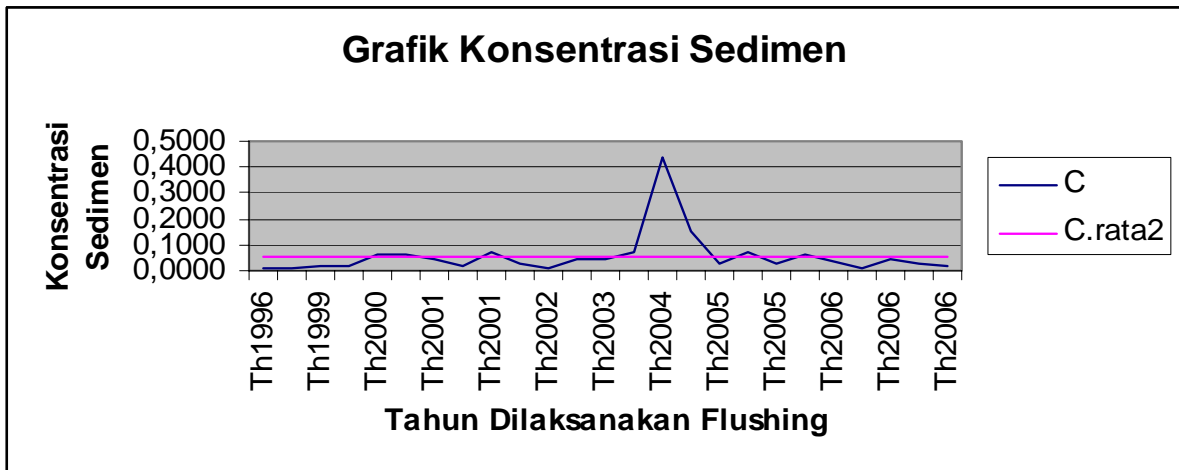
| No | Tgl. Flushing | Waktu (t) | Vol. air | Vol.sed | C | C.rata2 | C – C.rata2 | Keterangan |
|----|---------------|-----------|----------|---------|---|---------|-------------|------------|
|----|---------------|-----------|----------|---------|---|---------|-------------|------------|



|    |            | menit | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> |        |        |          |                     |
|----|------------|-------|----------------|----------------|--------|--------|----------|---------------------|
| 1  | 2          | 3     | 4              | 5              | 6      | 7      | 8        | 9                   |
| 1  | 15/02/1996 | 59    | 840.000        | 5.141          | 0,0061 | 0,0571 | (0,0510) | Dibawah rata2       |
| 2  | 17/07/1996 | 25    | 268.800        | 2.592          | 0,0096 | 0,0571 | (0,0475) | Dibawah rata2       |
| 3  | 24/02/1999 | 31    | 369.600        | 5.154          | 0,0139 | 0,0571 | (0,0432) | Dibawah rata2       |
| 4  | 10/11/1999 | 65    | 945.000        | 19.474         | 0,0206 | 0,0571 | (0,0365) | Dibawah rata2       |
| 5  | 11/04/2000 | 31    | 369.600        | 23.657         | 0,0640 | 0,0571 | 0,0069   | <i>Diatas rata2</i> |
| 6  | 31/10/2000 | 19    | 168.000        | 10.097         | 0,0601 | 0,0571 | 0,0030   | <i>Diatas rata2</i> |
| 7  | 29/01/2001 | 23    | 235.200        | 10.278         | 0,0437 | 0,0571 | (0,0134) | Dibawah rata2       |
| 8  | 04/07/2001 | 21    | 201.600        | 4.190          | 0,0208 | 0,0571 | (0,0363) | Dibawah rata2       |
| 9  | 08/10/2001 | 44    | 588.000        | 43.403         | 0,0738 | 0,0571 | 0,0167   | <i>Diatas rata2</i> |
| 10 | 16/01/2002 | 32    | 386.400        | 8.787          | 0,0227 | 0,0571 | (0,0344) | Dibawah rata2       |
| 11 | 20/03/2002 | 25    | 268.800        | 2.784          | 0,0104 | 0,0571 | (0,0468) | Dibawah rata2       |
| 12 | 31/12/2002 | 29    | 336.000        | 15.100         | 0,0449 | 0,0571 | (0,0122) | Dibawah rata2       |
| 13 | 21/04/2003 | 30    | 352.800        | 16.783         | 0,0476 | 0,0571 | (0,0095) | Dibawah rata2       |
| 14 | 01/04/2004 | 28    | 310.800        | 21.189         | 0,0682 | 0,0571 | 0,0111   | <i>Diatas rata2</i> |
| 15 | 07/12/2004 | 42    | 554.400        | 243.316        | 0,4389 | 0,0571 | 0,3818   | <i>Diatas rata2</i> |
| 16 | 30/12/2004 | 63    | 898.800        | 139.314        | 0,1550 | 0,0571 | 0,0979   | <i>Diatas rata2</i> |
| 17 | 15/02/2005 | 28    | 319.200        | 9.814          | 0,0307 | 0,0571 | (0,0264) | Dibawah rata2       |
| 18 | 31/10/2005 | 56    | 781.200        | 52.855         | 0,0677 | 0,0571 | 0,0105   | <i>Diatas rata2</i> |
| 19 | 08/12/2005 | 22    | 210.000        | 6.560          | 0,0312 | 0,0571 | (0,0259) | Dibawah rata2       |
| 20 | 23/12/2005 | 19    | 168.000        | 10.890         | 0,0648 | 0,0571 | 0,0077   | <i>Diatas rata2</i> |
| 21 | 24/01/2006 | 19    | 168.000        | 6.529          | 0,0389 | 0,0571 | (0,0183) | Dibawah rata2       |
| 22 | 08/02/2006 | 20    | 184.800        | 1.520          | 0,0082 | 0,0571 | (0,0489) | Dibawah rata2       |
| 23 | 02/03/2006 | 21    | 201.600        | 9.098          | 0,0451 | 0,0571 | (0,0120) | Dibawah rata2       |
| 24 | 19/04/2006 | 39    | 504.000        | 13.307         | 0,0264 | 0,0571 | (0,0307) | Dibawah rata2       |
| 25 | 29/05/2006 | 24    | 252.000        | 3.644          | 0,0145 | 0,0571 | (0,0427) | Dibawah rata2       |

Sumber : Data Hasil Flushing PLTA PB.Soedirman diolah

Gambaran lebih detail konsentrasi sedimen pada pelaksanaan flushing dapat kita lihat grafik konsentrasi sedimen pada Gambar 4.4. dibawah ini.



Gambar.4.4. Grafik Konsentrasi Sedimen Pada Saat Flushing Tahun 1996 - 2006

#### 4.1.7. Perhitungan Efisiensi Penggelontoran Sedimen ( Flushing Efficiency )

Perhitungan flushing efficiency terhadap penggelontoran sedimen akan dilakukan dengan beberapa metode yang ada, sebagai berikut :

##### a. Metoda Qian

Perhitungan Flushing Efficiency menurut Qian adalah sesuai dengan Persamaan

(2.17 ), yaitu : 
$$E = \frac{V_0}{V_d}$$

$$V_d = V_2 - V_1$$

Jadi persamaannya menjadi :

$$E = \frac{V_0}{V_2 - V_1}$$

Perhitungan flushing efisiensi tidak bisa dilakukan, karena tidak tersedia data untuk menghitung  $V_2 - V_1$ . Karena pada saat flushing tidak dilakukan pengukuran kedalaman waduk sebelum dan sesudah flushing.

**b. Metoda Ackers Dan Thompson**

Perhitungan Flushing Efficiency menurut Ackers and Thompson, adalah sesuai Persamaan ( 2.19 ), yaitu :

$$E = \frac{L_0}{L_i}$$

Pada Persamaan 2.19, Lo ( jumlah sedimen outflow pertahun ) dan Li ( jumlah sedimen inflow pertahun ) menggunakan satuan ( kg ), sedangkan data yang tersedia adalah volume sedimen hasil flushing dengan satuan ( m<sup>3</sup> ) pertahun dan volume sedimen inflow dengan satuan ( m<sup>3</sup> ) pertahun, maka untuk diubah menjadi ( kg ) dikalikan dengan berat jenis sedimen ( 0,86 kg/l ), seperti terlihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perhitungan Flushing Efficiency Metode Ackers And Thompson

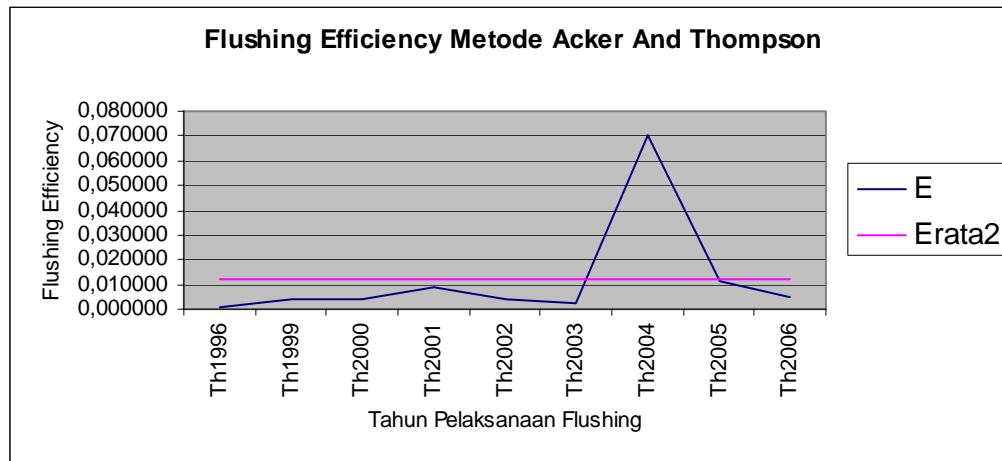
| No | Tanggal    | Lo          | Li            | E        | E         | Keterangan        |
|----|------------|-------------|---------------|----------|-----------|-------------------|
|    | Flushing   | Kg          | Kg            | Lo/Li    | Rata-rata |                   |
| 1  | 2          | 4           | 6             | 7        | 8         | 9                 |
| 1  | 15/02/1996 | 4.421.260   | 5.917.011.422 | 0,001124 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 2  | 17/07/1996 | 2.229.120   | -             |          |           |                   |
| 3  | 24/02/1999 | 4.432.440   | 5.203.182.320 | 0,004071 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 4  | 10/11/1999 | 16.747.640  | -             |          |           |                   |
| 5  | 11/04/2000 | 20.345.020  | 6.103.155.120 | 0,004756 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 6  | 31/10/2000 | 8.683.420   | -             |          |           |                   |
| 7  | 29/01/2001 | 8.839.080   | 5.478.714.280 | 0,009084 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 8  | 04/07/2001 | 3.603.400   | -             |          |           |                   |
| 9  | 08/10/2001 | 37.326.580  | -             |          |           |                   |
| 10 | 16/01/2002 | 7.556.820   | 5.049.743.700 | 0,004542 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 11 | 20/03/2002 | 2.394.240   | -             |          |           |                   |
| 12 | 31/12/2002 | 12.986.000  | -             |          |           |                   |
| 13 | 21/04/2003 | 14.433.380  | 5.448.917.860 | 0,002649 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 14 | 01/04/2004 | 18.222.540  | 5.143.964.440 | 0,067513 | 0,012300  | Diatas Rata-rata  |
| 15 | 07/12/2004 | 209.251.760 | -             |          |           |                   |
| 16 | 30/12/2004 | 119.810.040 | -             |          |           |                   |
| 17 | 15/02/2005 | 8.440.040   | 6.018.026.300 | 0,011449 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 18 | 31/10/2005 | 45.455.300  | -             |          |           |                   |
| 19 | 08/12/2005 | 5.641.600   | -             |          |           |                   |
| 20 | 23/12/2005 | 9.365.400   | -             |          |           |                   |
| 21 | 24/01/2006 | 5.614.940   | 5.316.090.860 | 0,005516 | 0,012300  | Dibawah Rata-rata |
| 22 | 08/02/2006 | 1.307.200   | -             |          |           |                   |
| 23 | 02/03/2006 | 7.824.280   | -             |          |           |                   |
| 24 | 19/04/2006 | 11.444.020  | -             |          |           |                   |
| 25 | 29/05/2006 | 3.133.840   | -             |          |           |                   |

Sumber : Data Flushing PLTA PB.Soedirman diolah

Pada tabel 4.7. menunjukkan bahwa flushing efficiency tertinggi adalah  $E = 0,067513$ , pada saat pelaksanaan flushing pada tahun 2004 pada bulan ke 4 dan 12. Sedangkan nilai flushing efficiency terendah  $E = 0,001124$ , pada saat pelaksanaan flushing tahun 1996 pada bulan ke 2 dan 7

Nilai flushing efficiency rata-rata adalah  $E = 0,012300$ . Pada tahun 2004 pelaksanaan flushing mendapat nilai flushing efficiency diatas rata-rata yaitu  $E = 0,067513$ .

Sedangkan flushing yang dilaksanakan tahun 1996 s/d tahun 2003 dan tahun 2005 s/d tahun 2006 mendapat nilai flushing efficiency dibawah rata-rata..Untuk lebih detail dapat kita lihat pada grafik flushing efisiensi menurut Ackers And Thompson pada Gambar. 4.5 .dibawah ini.



Gambar 4.5. Grafik Flushing Efficiency Ackers And Thompson

### c. **Metoda Mahmood (1)**

Perhitungan flushing efficiency menurut Mahmood (1) sesuai dengan Persamaan (2.20) , yaitu :

$$E = \frac{(V_2 - V_1)}{V_0}$$

Perhitungan flushing efisiensi tidak bisa dilakukan, karena tidak tersedia data untuk menghitung  $V_2 - V_1$ . Karena pada saat flushing tidak dilakukan pengukuran kedalaman waduk sebelum dan sesudah flushing.

### **Metode Mahmood (2)**

Perhitungan flushing efficiency metode Mahmood ( 2 ) adalah sesuai dengan

Persamaan (2.21), yaitu : 
$$E = \frac{(V_2 - V_1)}{V_{ori}}$$

Perhitungan flushing efisiensi Metode Mahmood (2) tidak bisa dilakukan, karena tidak tersedia data untuk menghitung  $V_2 - V_1$ . Karena pada saat flushing tidak dilakukan pengukuran kedalaman waduk sebelum dan sesudah flushing.

### **Menurut Mahmood ( 3 )**

Perhitungan flushing efficiency Metode Mahmood (3) adalah sesuai dengan

Persamaan (2.22), yaitu : 
$$E = \frac{T_r}{1 - T_f}$$

Karena tidak tersedia data untuk menghitung  $T_r$  dan  $T_f$ , maka perhitungan flushing efisiensi dengan metode Mahmood (3) tidak dapat dilakukan.

### **d. Metoda Atkinson**

Menurut Atkinson ( 1996 ) perhitungan flushing efficiency adalah sesuai dengan

Persamaan (2.23), yaitu : 
$$E = \frac{L_0}{L_d}$$

Pada Persamaan 2.23.  $L_0$  ( jumlah sedimen outflow setahun ) dan  $L_d$  ( jumlah sedimen deposited setahun ) menggunakan satuan ( kg ), sedangkan data yang tersedia adalah volume sedimen hasil flushing (  $m^3$  ) setahun dan volume sedimen yang mengendap dalam waduk setahun (  $m^3$  ), maka satuan untuk  $L_0$  dan  $L_d$  diubah menjadi ( kg ) dikalikan dengan berat jenis sedimen ( 0,86 kg/l ).

Perhitungan Flushing Efficiency dengan metode Atkinson selengkapnya seperti terlihat pada Tabel 4.8. dibawah ini.

Tabel 4.8. Perhitungan Flushing Efficiency Metode Atkinson

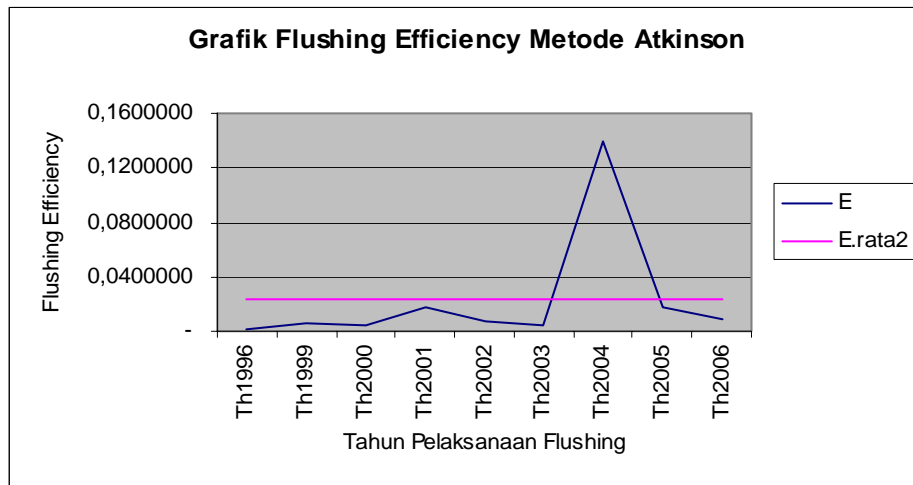
| No | Tanggal Flushing | Lo Kg       | Ld Kg         | E Lo/Ld  | E Rata-rata | Keterangan        |
|----|------------------|-------------|---------------|----------|-------------|-------------------|
| 1  | 2                | 4           | 6             | 7        | 8           | 9                 |
| 1  | 15/02/1996       | 4.421.260   | 3.959.440.000 | 0,001680 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 2  | 17/07/1996       | 2.229.120   | -             |          |             |                   |
| 3  | 24/02/1999       | 4.432.440   | 3.901.820.000 | 0,005428 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 4  | 10/11/1999       | 16.747.640  | -             |          |             |                   |
| 5  | 11/04/2000       | 20.345.020  | 6.043.220.000 | 0,004803 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 6  | 31/10/2000       | 8.683.420   | -             |          |             |                   |
| 7  | 29/01/2001       | 8.839.080   | 2.908.520.000 | 0,017111 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 8  | 04/07/2001       | 3.603.400   | -             |          |             |                   |
| 9  | 08/10/2001       | 37.326.580  | -             |          |             |                   |
| 10 | 16/01/2002       | 7.556.820   | 3.037.520.000 | 0,007551 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 11 | 20/03/2002       | 2.394.240   | -             |          |             |                   |
| 12 | 31/12/2002       | 12.986.000  | -             |          |             |                   |
| 13 | 21/04/2003       | 14.433.380  | 3.814.100.000 | 0,003784 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 14 | 01/04/2004       | 18.222.540  | 2.489.700.000 | 0,139488 | 0,022856    | Diatas Rata-rata  |
| 15 | 07/12/2004       | 209.251.760 | -             |          |             |                   |
| 16 | 30/12/2004       | 119.810.040 | -             |          |             |                   |
| 17 | 15/02/2005       | 8.440.040   | 3.980.080.000 | 0,017312 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 18 | 31/10/2005       | 45.455.300  | -             |          |             |                   |
| 19 | 08/12/2005       | 5.641.600   | -             |          |             |                   |
| 20 | 23/12/2005       | 9.365.400   | -             |          |             |                   |
| 21 | 24/01/2006       | 5.614.940   | 3.433.120.000 | 0,008542 | 0,022856    | Dibawah Rata-rata |
| 22 | 08/02/2006       | 1.307.200   | -             |          |             |                   |
| 23 | 02/03/2006       | 7.824.280   | -             |          |             |                   |
| 24 | 19/04/2006       | 11.444.020  | -             |          |             |                   |
| 25 | 29/05/2006       | 3.133.840   | -             |          |             |                   |

Sumber : Data sekunder diolah

Pada Tabel 4.8. menunjukkan bahwa nilai flushing efficiency tertinggi adalah  $E = 0,139488$ , pada saat pelaksanaan flushing pada tahun 2004 pada bulan ke 4 dan 12, sedangkan nilai flushing efficiency terendah  $E = 0,001680$ , pada saat pelaksanaan flushing tahun 1996 pada bulan ke 2 dan 7

Nilai flushing efficiency rata-rata adalah  $E = 0,022856$ . Nilai flushing efficiency diatas rata-rata terjadi pada pelaksanaan flushing tahun 2004, sedangkan pada tahun 1996 s/d tahun 2003 dan tahun 2005 s/d tahun 2006 dibawah rata-rata.

Untuk lebih detail dapat kita lihat pada grafik flushing efisiensi menurut Atkinson pada Gambar. 4.6 . dibawah ini.



Gambar 4.6. Grafik Flushing Efficiency Metode Atkinson

**e. Metoda Lai And Shen**

Menurut Lai and Shen ( 1996 ), flushing efficiency sesuai Pesamaan 2.24 adalah :

$$E = \frac{(V_{SO} - V_{SI})}{V_o}$$

Karena tidak tersedia data pengukuran debit sedimen yang masuk waduk ( untuk menghitung  $V_{SI}$  ) pada saat flushing, maka perhitungan flushing efisiensi dengan metode Lai And Shen tidak dapat dilakukan.

**f. Metoda Morris And Fan**

Menurut Morris and Fan , flushing efficiency sesuai Persamaan 2.25 adalah :

$$E = ( V_o C_o - V_i C_i ) / \rho V_o$$

Karena tidak tersedia data maka perhitungan flushing efisiensi dengan metode Morris And Fan tidak dapat dilakukan.

**4.1.8. Analisa Pola Penggelontoran Sedimen**

Pola penggelontoran sedimen yang akan dilakukan analisa adalah :

- a. Waktu pelaksanaan penggelontoran sedimen
- b. Lama/durasi penggelontoran sedimen
- c. Jarak waktu pelaksanaan penggelontoran sedimen
- d. Pengambilan sample sedimen
- e. Pengaruh pelaksanaan penggelontoran sedimen terhadap pola operasi waduk

**a. Waktu Pelaksanaan Penggelontoran Sedimen**

Analisa waktu pelaksanaan penggelontoran sedimen bertujuan untuk mendapatkan waktu yang ideal untuk melaksanakan penggelontoran sedimen. Yaitu dengan menganalisa nilai konsentrasi sedimen, flushing efficiency dan rata-rata volume sedimen yang dapat digelontor pada saat flushing sedimen.

Dari hasil analisa konsentrasi sedimen seperti tersebut dimuka, nilai konsentrasi sedimen diatas rata-rata adalah pada pelaksanaan flushing bulan ke 4, 10 dan 12., seperti terlihat pada Tabel.4.9 dibawah ini.

Tabel.4.9. Rekapitulasi Hasil Analisa Konsentrasi Sedimen

| NO | TAHUN FLUSHING | NILAI<br>RATA-RATA | NILAI DIATAS<br>RATA-RATA | FLUSHING PADA BULAN |
|----|----------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| 1  | 2              | 3                  | 4                         | 5                   |
| 1  | Th. 2000       | 0,0571             | 0,0640                    | Ke. 4 ( April )     |
| 2  | Th. 2000       | 0,0571             | 0,0601                    | Ke. 10 ( Oktober )  |
| 3  | Th. 2001       | 0,0571             | 0,0738                    | Ke. 10 ( Oktober )  |
| 4  | Th. 2004       | 0,0571             | 0,0682                    | Ke. 4 ( April )     |
| 5  | Th. 2004       | 0,0571             | 0,4389                    | Ke. 12 ( Desember ) |
| 6  | Th. 2004       | 0,0571             | 0,1550                    | Ke. 12 ( Desember ) |
| 7  | Th. 2005       | 0,0571             | 0,0677                    | Ke. 10 ( Oktober )  |
| 8  | Th. 2005       | 0,0571             | 0,0648                    | Ke. 12 ( Desember ) |
|    |                |                    |                           |                     |

Nilai Flushing Efficiency diatas rata-rata dari perhitungan beberapa metode, adalah :

- a. Ackers And Thompson, pada bulan ke 4, 10 dan 12 (  $E = 0,012300$  )
- b. Atkinson, pada bulan ke 4,10 dan 12 (  $E = 0,022856$  )

Untuk lebih jelasnya nilai flushing efisiensi diatas rata-rata dapat dilihat pada Tabel. 4.10 dibawah ini.



Tabel.4.10. Rekapitulasi Hasil Analisa Flushing Efficiency

| NO | METODE            | NILAI     | NILAI DIATAS | FLUSHING PADA BULAN |
|----|-------------------|-----------|--------------|---------------------|
| 1  | 2                 | RATA-RATA | RATA-RATA    | 5                   |
| 1. | Ackers & Thompson | 0,012300  | 0,067513     | Ke. 4 ( April )     |
|    |                   |           |              | Ke. 10 ( Oktober )  |
|    |                   |           |              | Ke. 12 ( Desember ) |
|    |                   |           | 0,011449     | Ke. 2 ( Pebruari )  |
|    |                   |           |              | Ke. 10 ( Oktober )  |
|    |                   |           |              | Ke. 12 ( Desember ) |
| 2. | Atkinson          | 0,022856  | 0,139488     | Ke. 4 ( April )     |
|    |                   |           |              | Ke. 10 ( Oktober )  |
|    |                   |           |              | Ke. 12 ( Desember ) |
|    |                   |           | 0,017312     | Ke. 2 ( Pebruari )  |
|    |                   |           |              | Ke. 10 ( Oktober )  |
|    |                   |           |              | Ke. 12 ( Desember ) |
|    |                   |           |              |                     |

Apabila data penggelontoran sedimen pada Tabel 4.11. dimuka kita kelompokkan menjadi penggelontoran sedimen per bulan yang sama, kemudian kita hitung rata-rata volume sedimen yang dapat digelontor setiap bulan, maka rata-rata volume sedimen perbulan dapat dilihat seperti pada Tabel. 4.18. dibawah ini.

Dari Tabel 4.18. Volume Sedimen Hasil Flushing rata-rata perbulan, menunjukkan bahwa sedimen hasil flushing yang melebihi nilai rata-rata adalah pada bulan :

- Bulan ke 4 ( April )
- Bulan ke 10 ( Oktober )
- Bulan ke 11 ( Nopember)
- Bulan ke 12 ( Desember ).

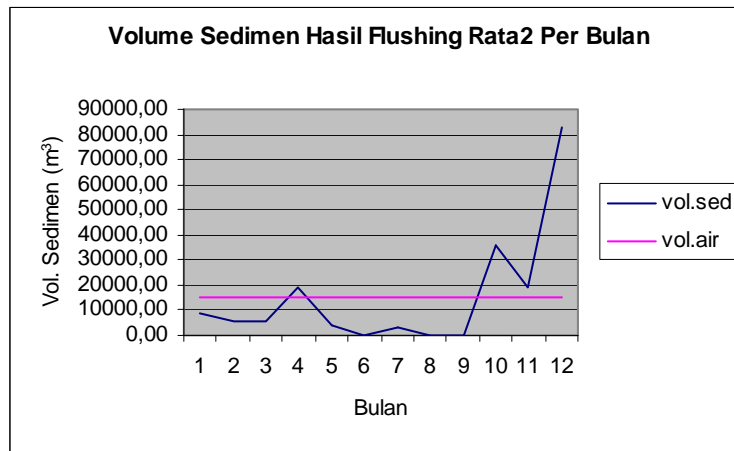
Tabel.4.11. Rata-rata Volume Air Dan Sedimen Hasil Flushing Tiap Bulan

| No. | Bulan   | Tanggal    | Vair<br>m <sup>3</sup> | Vsed<br>m <sup>3</sup> | V.sed<br>Rata2 |
|-----|---------|------------|------------------------|------------------------|----------------|
| 1.  | Januari | 29/01/2001 | 235200                 | 10278                  |                |
|     |         | 16/01/2002 | 386400                 | 8787                   |                |

|     |           |            |        |        |        |
|-----|-----------|------------|--------|--------|--------|
|     |           | 24/01/2006 | 168000 | 6529   |        |
|     |           | Rata-rata  | 263200 | 8531   | 15.300 |
| 2.  | Februari  | 15/02/1996 | 840000 | 5141   |        |
|     |           | 24/02/1999 | 369600 | 5154   |        |
|     |           | 15/02/2005 | 319200 | 9814   |        |
|     |           | 08/02/2006 | 184800 | 1520   |        |
|     |           | Rata-rata  | 428400 | 5407   | 15.300 |
| 3.  | Maret     | 20/03/2002 | 268800 | 2784   |        |
|     |           | 02/03/2006 | 201600 | 9098   |        |
|     |           | Rata-rata  | 235200 | 5941   | 15.300 |
| 4.  | April     | 11/04/2000 | 369600 | 23657  |        |
|     |           | 21/04/2003 | 352800 | 16783  |        |
|     |           | 01/04/2004 | 310800 | 21189  |        |
|     |           | 19/04/2006 | 504000 | 13307  |        |
|     |           | Rata-rata  | 384300 | 18734  | 15.300 |
| 5.  | Mei       | 29/05/2006 | 252000 | 3644   | 15.300 |
| 6.  | Juni      |            |        |        |        |
| 7.  | Juli      | 17/07/1996 | 268800 | 2592   |        |
|     |           | 04/07/2001 | 201600 | 4190   |        |
|     |           | Rata-rata  | 235200 | 3391   | 15.300 |
| 8.  | Agustus   |            |        |        |        |
| 9.  | September |            |        |        |        |
| 10. | Oktober   | 31/10/2000 | 168000 | 10097  |        |
|     |           | 08/10/2001 | 588000 | 43403  |        |
|     |           | 31/10/2005 | 781200 | 52855  |        |
|     |           | Rata-rata  | 512400 | 35451  | 15.300 |
| 11. | Nopember  | 10/11/1999 | 945000 | 19474  | 15.300 |
| 12. | Desember  | 31/12/2002 | 336000 | 15100  |        |
|     |           | 07/12/2004 | 554400 | 243316 |        |
|     |           | 30/12/2004 | 898800 | 139314 |        |
|     |           | 08/12/2005 | 210000 | 6560   |        |
|     |           | 23/12/2005 | 168000 | 10890  |        |
|     |           | Rata-rata  | 433440 | 83036  | 15.300 |

Sumber : Data sekunder diolah

Untuk lebih jelas perbandingan volume sedimen perbulan dengan volume sedimen rata-rata perbulan, dapat kita lihat pada grafik Gambar.4.7. seperti dibawah ini.



Gambar.4.7. Grafik Volume Sedimen Hasil Flushing Perbulan

Maka pelaksanaan penggelontoran endapan sedimen di PLTA PB.Soedirman yang paling ideal berdasarkan hasil analisa Konsentrasi Sedimen, Flushing Efficiency , volume sedimen hasil flushing rata-rata perbulan dan kepentingan operasi waduk , adalah pada bulan ke. 2 ( Pebruari ), ke.4 ( April ), ke.10 ( Oktober ),ke 11 (Nopember) dan ke.12 ( Desember ), sehingga turbin tetap beroperasi maksimal dan kebutuhan air irigasi terpenuhi.

#### b. Lama/durasi Penggelontoran Sedimen

Analisa durasi penggelontoran sedimen dimaksudkan untuk mendapatkan lama waktu atau durasi penggelontoran sedimen yang lebih efisien. Yaitu dengan cara melakukan analisa data perhitungan volume air dan sedimen pada saat flushing, pada Tabel. D.1 sampai dengan Tabel. D.25. Lampiran D.

Kemudian dibuat Tabel.Volume Sedimen Pada Pengambilan Sample seperti terlihat pada Lampiran. D.1.a, yang memperlihatkan waktu pengambilan sample dan volume sedimen hasil flushing. Yaitu dengan mengelompokkan waktu pengambilan sample setiap menit dan volume sedimen yang dihasilkan.

Dari Tabel. Volume Sedimen Pada Pengambilan sample Lampiran D.1.a. dapat dikelompokkan lama flushing dan volume sedimen yang dihasilkan, antara lain sebagai berikut :

- Lama flushing 1 - 6 menit, volume sedimen sebesar  $13.637 \text{ m}^3 - 4.055 \text{ m}^3$
- 7 -10 menit, volume sedimen sebesar  $2.088 \text{ m}^3 - 695 \text{ m}^3$
- 11 -15 menit , volume sedimen sebesar  $695 \text{ m}^3 - 179 \text{ m}^3$
- 15 menit keatas  $< 179 \text{ m}^3$

Dari analisa tersebut diatas dapat ditentukan lama waktu atau durasi penggelontoran sedimen yang lebih ideal, berdasarkan waktu pengambilan sample dan volume sedimen dihasilkan. Penggelontoran sedimen dengan durasi 1 - 15 menit, masih menghasilkan volume sedimen. Akan tetapi setelah 15 menit hanya menghasilkan sedimen dengan volume yang sangat kecil.

Maka lama atau durasi yang ideal untuk pelaksanaan penggelontoran sedimen adalah 15 menit. Sebab apabila penggelontoran sedimen diteruskan, akan semakin tidak efisien dan hanya membuang air waduk sia-sia, yang seharusnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Disamping hal itu, pada saat penutupan pintu drawdown culvert yaitu setelah air dianggap jernih dan tidak dilakukan pengambilan sample sedimen lagi, air terbuang sia-sia sebesar  $75.600 \text{ m}^3$

### **c. Jarak Waktu Penggelontoran Sedimen**

Analisa jarak waktu penggelontoran sedimen bertujuan untuk mendapatkan jarak waktu antar penggelontoran sedimen yang ideal atau menghasilkan volume sedimen yang paling besar. Maka kita menggunakan Tabel 4.3. Rekapitulasi Volume Air Dan Sedimen Hasil Flushing, kemudian dibuat Tabel. Jarak Waktu Flushing seperti pada Lampiran D.1.b Dan D.1.c.

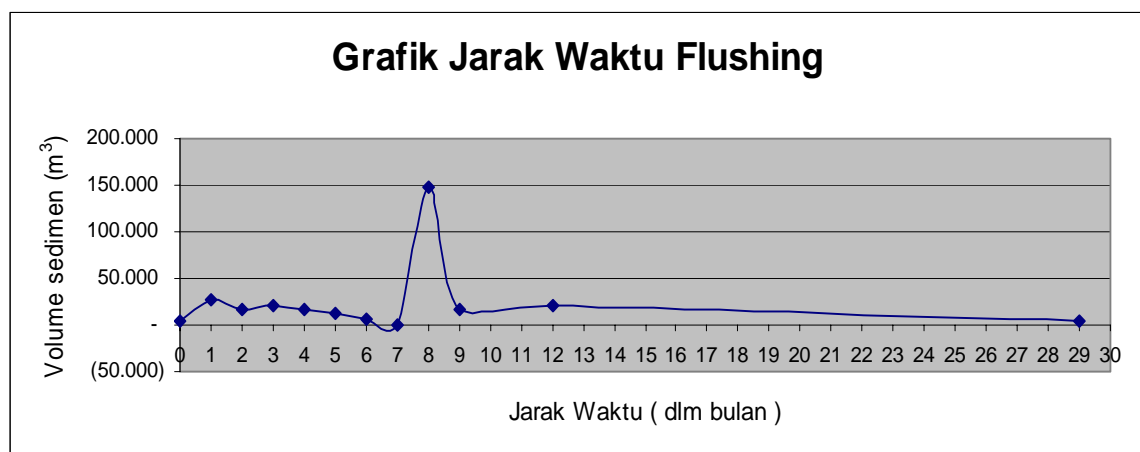
Tabel. Jarak waktu Flushing pada Lampiran D.1.b, menunjukkan jarak waktu flushing dan kenaikan atau penurunan volume sedimen dari flushing ke flushing berikutnya. Perubahan jarak waktu pendek ke jarak waktu lebih panjang, tidak menunjukkan kenaikan volume sedimen. Sebagai contoh flushing tanggal 24/02/1999 dilaksanakan setelah 29 bulan dari flushing sebelumnya. Flushing tanggal 10/11/1999 dilaksanakan setelah 9 bulan dari flushing tanggal 24/02/1999 tersebut diatas. Akan tetapi pada jarak waktu 29 bulan volume sedimen sebesar  $5154 \text{ m}^3$ , sedangkan pada jarak waktu 9 bulan volume sedimen naik sebesar  $19.474 \text{ m}^3$ .

Begitu juga pada flushing tanggal 01/04/2004 dengan jarak waktu 12 bulan dari flushing sebelumnya menghasilkan volume sedimen 21.189 m<sup>3</sup> , akan tetapi flushing tanggal 07/12/2004 dengan jarak waktu 8 bulan ( lebih pendek) menghasilkan volume sedimen sebesar 243.316 m<sup>3</sup>( lebih besar ). Untuk lebih jelasnya dibuat Grafik Jarak Waktu Penggelontoran Sedimen, seperti pada Lampiran D.1.c.

Maka dari analisa jarak waktu flushing, didapatkan bahwa kenaikan atau penurunan jarak waktu flushing, tidak bisa dipakai sebagai tolok ukur untuk mengetahui hubungan kenaikan atau penurunan jarak waktu dengan volume sedimen hasil flushing.

Tabel. 4.12. Jarak Waktu Flushing Dan Volume Sedimen

| Jarak Waktu Flushing<br>(bulan) | Vol. Sedimen<br>m <sup>3</sup> |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 0                               | 5.141                          |
| 1                               | 26.329                         |
| 2                               | 15.735                         |
| 3                               | 20.823                         |
| 4                               | 16.783                         |
| 5                               | 13.125                         |
| 6                               | 7.144                          |
| 7                               | -                              |
| 8                               | 148.086                        |
| 9                               | 17.287                         |
| 12                              | 21.189                         |
| 29                              | 5.154                          |



Gambar 4.8. Grafik Jarak Waktu Pelaksanaan Flushing Sedimen

#### d. Pengambilan Sample Sedimen

Telah diuraikan dimuka, bahwa untuk menghitung banyaknya sedimen pada saat flushing, dilakukan dengan cara pengambilan sample sedimen beberapa kali pada 9 menit pertama, yaitu pada saat pintu drawdown dibuka sampai terbuka penuh. Diteruskan sampai air dianggap jernih dengan waktu pengambilan variable dan tidak dilakukan pengambilan lagi pada saat pintu drawdown culvert ditutup selama 9 menit terakhir sampai pintu tertutup penuh..

Untuk melakukan analisa pola perhitungan volume air dan sedimen pada saat penggelontoran sedimen, maka dari data flushing pada Tabel. D.1 sampai dengan Tabel. D.25. Lampiran D. dibuat Tabel 4.13. seperti dibawah ini.

Tabel. 4.13. Volume Air Saat Flushing Pada Tiap Sample

| No. | Tanggal    | Volume Air Saat Flushing Pada Tiap Sample ( m <sup>3</sup> ) |           |           |           |           |
|-----|------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     | Flushing   | Sample 1   | Sample 2  | Sample 3  | Sample 4  | Sample 5  |
| 1   | 2          | 3  |           |           | 6         | 7         |
| 1   | 15/02/1996 | 11.433   | 416.952   | 336.015   | 75.600    |           |
| 2   | 17/07/1996 | 5.550  | 74.650    | 188.600   |           |           |
| 3   | 24/02/1999 | 3.733  | 29.867    | 84.000    | 252.000   |           |
| 4   | 10/11/1999 | 11.330   | 216.110   | 311.600   | 405.960   |           |
| 5   | 11/04/2000 | 18.900   | 71.400    | 279.300   |           |           |
| 6   | 31/10/2000 | 88.733   | 15.961    | 143.166   |           |           |
| 7   | 29/01/2001 | 7.894  | 22.965    | 40.872    | 35.929    | 127.540   |
| 8   | 04/07/2001 | 7.950  | 25.238    | 40.872    | 127.540   |           |
| 9   | 08/10/2001 | 15.626   | 28.169    | 70.725    | 189.700   | 232.901   |
| 10  | 16/01/2002 | 4.920  | 8.400     | 11.480    | 30.400    | 54.420    |
| 11  | 20/03/2002 | 1.962  | 3.640     | 5.400     | 40.569    | 138.689   |
| 12  | 31/12/2002 | 13.300   | 21.235    | 35.428    | 61.497    | 65.940    |
| 13  | 21/04/2003 | 8.873  | 6.435     | 15.908    | 68.843    | 252.741   |
| 14  | 01/04/2004 | 94.550   | 6.887     | 12.991    | 12.752    | 79.800    |
| 15  | 07/12/2004 | 26.134   | 85.586    | 108.080   | 84.000    | 82.600    |
| 16  | 30/12/2004 | 56.280   | 75.320    | 57.375    | 123.785   | 168.840   |
| 17  | 15/02/2005 | 44.651   | 36.549    | 98.000    | 140.000   |           |
| 18  | 31/10/2005 | 23.567   | 40.758    | 103.676   | 310.800   | 302.400   |
| 19  | 08/12/2005 | 18.304   | 17.409    | 24.513    | 24.238    | 125.536   |
| 20  | 23/12/2005 | 9.359  | 10.967    | 20.122    | 25.668    | 101.883   |
| 21  | 24/01/2006 | 6.029  | 8.903     | 15.927    | 21.640    | 115.502   |
| 22  | 08/02/2006 | 4.149  | 7.669     | 9.612     | 13.016    | 150.355   |
| 23  | 02/03/2006 | 9.017  | 8.711     | 19.413    | 38.457    | 126.002   |
| 24  | 19/04/2006 | 17.746   | 12.870    | 31.816    | 103.265   | 338.303   |
| 25  | 29/05/2006 | 6.029  | 10.500    | 15.684    | 23.842    | 195.945   |
|     | Jml        | 516.019  | 1.263.151 | 2.080.575 | 2.209.501 | 2.659.397 |

Sumber : Data Hasil Flushing PLTA PB. Soedirman diolah

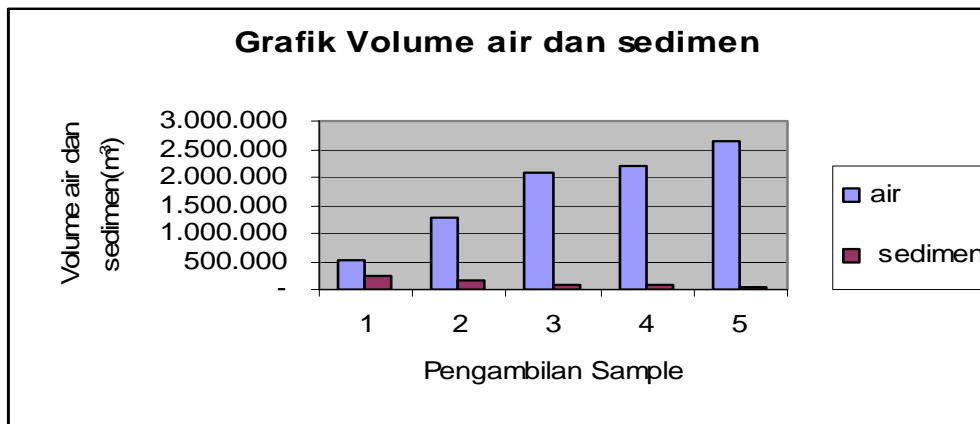
Dari Tabel 4.13. tersebut diatas menunjukkan bahwa, volume air pada tiap pengambilan sample mengalami kenaikan yaitu pada pengambilan sample ke 1 sebesar 516.019 m<sup>3</sup> dan menjadi sebesar 2.659.397 m<sup>3</sup> pada pengambilan sample ke 5. Sedangkan volume sedimen mengalami penurunan yaitu pada pengambilan sample ke 1 sebesar 221.609 m<sup>3</sup> menjadi sebesar 57.427 m<sup>3</sup>, seperti ditunjukkan pada Tabel. 4.14. dibawah ini.

Tabel. 4.14. Volume Sedimen Saat Flushing Pada Tiap Sample

| No. | Tanggal    | Volume Sedimen Saat Flushing Pada Tiap Sample |          |          |          |          |
|-----|------------|---|----------|----------|----------|----------|
|     |            | Sample 1                                      | Sample 2 | Sample 3 | Sample 4 | Sample 5 |
| 1   | 2          | 3   | 4        | 5        | 6        | 7        |
| 1   | 15/02/1996 | 1.650   | 2.791    | 700      |          |          |
| 2   | 17/07/1996 | 303   | 752      | 1.537    |          |          |
| 3   | 24/02/1999 | 650   | 2.791    | 1.550    | 163      |          |
| 4   | 10/11/1999 | 2.650   | 8.791    | 6.700    | 1.333    |          |
| 5   | 11/04/2000 | 1.694   | 21.270   | 693      |          |          |
| 6   | 31/10/2000 | 7.929   | 1.117    | 1.051    |          |          |
| 7   | 29/01/2001 | 6.946   | 1.607    | 1.185    | 285      | 255      |
| 8   | 04/07/2001 | 1.960   | 1.364    | 611      | 255      |          |
| 9   | 08/10/2001 | 11.407  | 1.690    | 4.597    | 9.485    | 11.645   |
| 10  | 16/01/2002 | 4.133   | 2.184    | 1.493    | 152      | 272      |
| 11  | 20/03/2002 | 1.785   | 146      | 216      | 203      | 277      |
| 12  | 31/12/2002 | 12.902  | 1.062    | 354      | 307      | 198      |
| 13  | 21/04/2003 | 8.429   | 1.609    | 2.545    | 3.442    | 758      |
| 14  | 01/04/2004 | 8.977   | 3.237    | 2.324    | 1.275    | 1.596    |
| 15  | 07/12/2004 | 25.350  | 78.739   | 42.151   | 26.880   | 21.476   |
| 16  | 30/12/2004 | 55.154  | 15.817   | 10.327   | 13.616   | 15.196   |
| 17  | 15/02/2005 | 5.358   | 1.096    | 1.960    | 1.400    |          |
| 18  | 31/10/2005 | 25.095  | 5.261    | 6.147    | 12.442   | 3.910    |
| 19  | 08/12/2005 | 4.759   | 696      | 490      | 363      | 252      |
| 20  | 23/12/2005 | 8.891   | 1.097    | 604      | 257      | 41       |
| 21  | 24/01/2006 | 5.788   | 445      | 159      | 22       | 115      |
| 22  | 08/02/2006 | 415   | 192      | 96       | 65       | 752      |
| 23  | 02/03/2006 | 7.935   | 609      | 388      | 18       | 148      |
| 24  | 19/04/2006 | 8.254   | 2.358    | 1.458    | 978      | 259      |
| 25  | 29/05/2006 | 3.195   | 315      | 23       | 14       | 97       |
|     | Jml        | 221.609                                       | 157.036  | 89.359   | 72.955   | 57.247   |

Sumber : Data Hasil Flushing PLTA PB. Soedirman diolah

Untuk lebih jelasnya perbandingan kenaikan volume air penggelontor sedimen pada tiap sample, dibandingkan dengan penurunan volume sedimen tergelontor pada tiap sample dapat dilihat pada Gambar 4.9. dibawah ini.



Gambar 4.9. Grafik Perbandingan Volume Air Dan Sedimen

Sedangkan penurunan prosentase volume sedimen terhadap volume air pada setiap pengambilan sample seperti terlihat pada Tabel 4.15

Tabel.4.15. Prosentase sedimen pada volume air saat flushing tiap sample

|                              | Sample ke 1 | Sample ke 2 | Sample ke 3 | Sample ke 4 | Sample ke 5 |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>1</b>                     | <b>2</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>5</b>    | <b>6</b>    |
| Vol.Air (m <sup>3</sup> )    | 516.019     | 1.263.151   | 2.080.575   | 2.209.501   | 2.659.397   |
| Vol.Sedimen(m <sup>3</sup> ) | 221.609     | 157.036     | 89.359      | 72.955      | 57.247      |
| T (menit)                    | 1-2         | 3-5         | 6-9         | 10-15       | 15 - keatas |
| Prosentase (%)               | 42,94       | 12,43       | 4,29        | 3,30        | 2,15        |
|                              |             |             |             |             |             |

Pada Tabel 4.15. menunjukkan adanya kenaikan volume air dari pengambilan sample ke 1 sampai ke 5, sedangkan volume sedimen mengalami penurunan pada tiap sample, dari pengambilan sample ke 1 sebesar 42,94 % menurun menjadi 2,15 % pada pengambilan sample ke 5. Atau prosentase sedimen sebesar 42,94 % pada T ( waktu pengambilan ) 1-2 menit menurun menjadi 2,15 % pada T 15 menit, selanjutnya pengambilan sample tidak efektif karena prosentase sedimen terlalu kecil.

Dari analisa pola penggelontoran sedimen tersebut diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Penggelontoran sedimen tidak efisien, karena volume sedimen yang dapat digelontor tidak signifikan.
- Penggelontoran setelah 15 menit tidak efektif lagi, karena prosentase sedimen sangat kecil atau 2,15 %



- c. Setelah 9 menit proses pintu drawdown culvert dibuka, sampai air dianggap jernih dan pada 9 menit pintu ditutup, masih banyak volume air penggelontor terbangun tanpa sedimen.

#### 4.1.9. Pengaruh Pola Penggelontoran Sedimen Terhadap Operasi Waduk

Pola operasi waduk yang dilaksanakan pada PLTA PB. Soedirman, ditentukan berdasarkan ketersediaan volume air inflow terhadap kebutuhan air untuk turbin sebesar  $74 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan untuk irigasi dengan debit sebesar  $11 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Mempertahankan elevasi Muka Air Waduk, agar tidak lebih rendah dari Minimum Operation Level (MOL) + 280,20 m dan air waduk tidak melimpas spillway.

Untuk menganalisa pengaruh penggelontoran sedimen terhadap pola operasi waduk, dibuat Tabel . Data Volume Air Inflow Dan Outflow Tahun 1988 – 2006 seperti pada Lampiran T dan Tabel 4.16. dibawah ini.

Tabel. 4.16. Volume Air Inflow dan Outflow Tahun 1988 - 2006

| No. | Tahun | Vol Air Inflow<br>( $\text{m}^3$ ) | Vol. Air Outflow<br>( $\text{m}^3$ ) | outflow+flushing<br>( $\text{m}^3$ ) |
|-----|-------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1   | Th.88 |                                    |                                      |                                      |
| 2   | Th89  | 2.561.932.800                      | 1.894.233.600                        | 1.894.233.600                        |
| 3   | Th90  | 2.408.400.000                      | 2.500.243.200                        | 2.500.243.200                        |
| 4   | TH91  | 2.089.238.400                      | 2.085.523.200                        | 2.085.523.200                        |
| 5   | Th92  | 2.915.654.400                      | 2.902.003.200                        | 2.902.003.200                        |
| 6   | Th93  | 2.454.105.600                      | 2.438.294.400                        | 2.438.294.400                        |
| 7   | Th94  | 1.892.160.000                      | 1.869.955.200                        | 1.869.955.200                        |
| 8   | Th95  | 2.924.899.200                      | 2.863.036.800                        | 2.863.036.800                        |
| 9   | Th96  | 2.490.998.400                      | 2.478.556.800                        | 2.479.665.600                        |
| 10  | Th97  | 1.450.137.600                      | 1.471.046.400                        | 1.471.046.400                        |
| 11  | Th98  | 2.860.617.600                      | 2.561.846.400                        | 2.561.846.400                        |
| 12  | Th99  | 2.894.918.400                      | 2.858.112.000                        | 2.859.426.600                        |
| 13  | Th00  | 2.676.931.200                      | 2.704.665.600                        | 2.705.203.200                        |
| 14  | Th01  | 2.870.640.000                      | 2.924.380.800                        | 2.925.405.600                        |
| 15  | Th02  | 1.853.193.600                      | 1.813.190.400                        | 1.814.181.600                        |
| 16  | Th03  | 1.961.280.000                      | 2.130.192.000                        | 2.130.544.800                        |
| 17  | Th04  | 2.097.100.800                      | 2.141.769.600                        | 2.143.533.600                        |
| 18  | Th05  | 3.751.417.152                      | 1.994.457.600                        | 1.995.616.800                        |
| 19  | Th06  | 2.317.133.952                      | 1.752.192.000                        | 1.753.502.400                        |

Sumber : Data sekunder diolah

Volume air inflow dan volume air outflow yang terdiri dari volume air untuk turbin, irigasi dan penggelontoran sedimen ( lihat Lampiran T ), apabila dibuat grafik perbandingan antara volume air inflow, outflow dan ditambah dilaksanakannya flushing dapat kita lihat seperti pada Tabel 4.16.

Dari Tabel.4.16 kita buat grafik perbandingan antara akumulasi volume air inflow dan volume air outflow seperti pada Tabel. 4.17. yang merupakan rekapitulasi volume air inflow dan outflow dari tahun ketahun.

Tabel. 4.17. Akumulasi Volume Air Inflow Dan Outflow

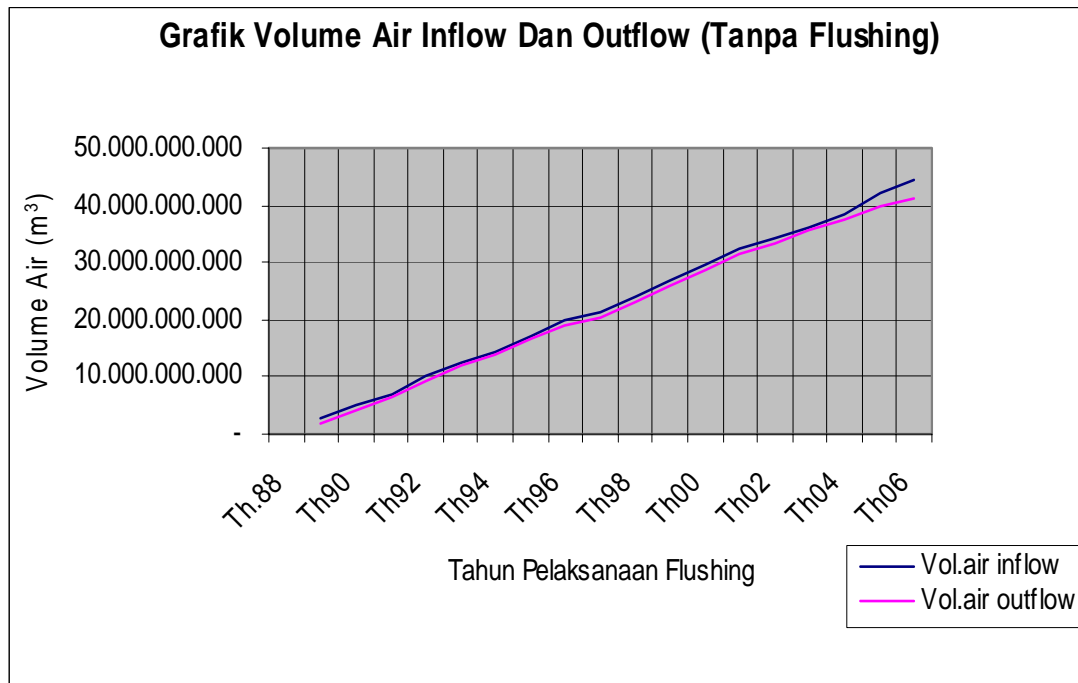
| No. | Tahun | infflow<br>(m <sup>3</sup> ) | outflow<br>(m <sup>3</sup> ) | outflow+flushing<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-----|-------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1   | Th.88 |                              |                              |                                       |
| 2   | Th89  | 2.561.932.800                | 1.894.233.600                | 1.894.233.600                         |
| 3   | Th90  | 4.970.332.800                | 4.394.476.800                | 4.394.476.800                         |
| 4   | TH91  | 7.059.571.200                | 6.480.000.000                | 6.480.000.000                         |
| 5   | Th92  | 9.975.225.600                | 9.382.003.200                | 9.382.003.200                         |
| 6   | Th93  | 12.429.331.200               | 11.820.297.600               | 11.820.297.600                        |
| 7   | Th94  | 14.321.491.200               | 13.690.252.800               | 13.690.252.800                        |
| 8   | Th95  | 17.246.390.400               | 16.553.289.600               | 16.553.289.600                        |
| 9   | Th96  | 19.737.388.800               | 19.031.846.400               | 19.032.955.200                        |
| 10  | Th97  | 21.187.526.400               | 20.502.892.800               | 20.504.001.600                        |
| 11  | Th98  | 24.048.144.000               | 23.064.739.200               | 23.065.848.000                        |
| 12  | Th99  | 26.943.062.400               | 25.922.851.200               | 25.925.274.600                        |
| 13  | Th00  | 29.619.993.600               | 28.627.516.800               | 28.630.477.800                        |
| 14  | Th01  | 32.490.633.600               | 31.551.897.600               | 31.555.883.400                        |
| 15  | Th02  | 34.343.827.200               | 33.365.088.000               | 33.370.065.000                        |
| 16  | Th03  | 36.305.107.200               | 35.495.280.000               | 35.500.609.800                        |
| 17  | Th04  | 38.402.208.000               | 37.637.049.600               | 37.644.143.400                        |
| 18  | Th05  | 42.153.625.152               | 39.631.507.200               | 39.639.760.200                        |
| 19  | Th06  | 44.470.759.104               | 41.383.699.200               | 41.393.262.600                        |

Sumber : Data sekunder diolah

Pada Tabel 4.17. menunjukkan bahwa pada awal operasi waduk pada tahun 1989 volume air inflow sebesar 2.561.932.800 m<sup>3</sup>, untuk memenuhi kebutuhan air turbin dan irigasi tanpa kebutuhan air penggelontor sedimen sebesar 1.894.233.600 m<sup>3</sup> masih mencukupi. Sedangkan penggelontoran sedimen baru dilaksanakan pada tahun 1996.

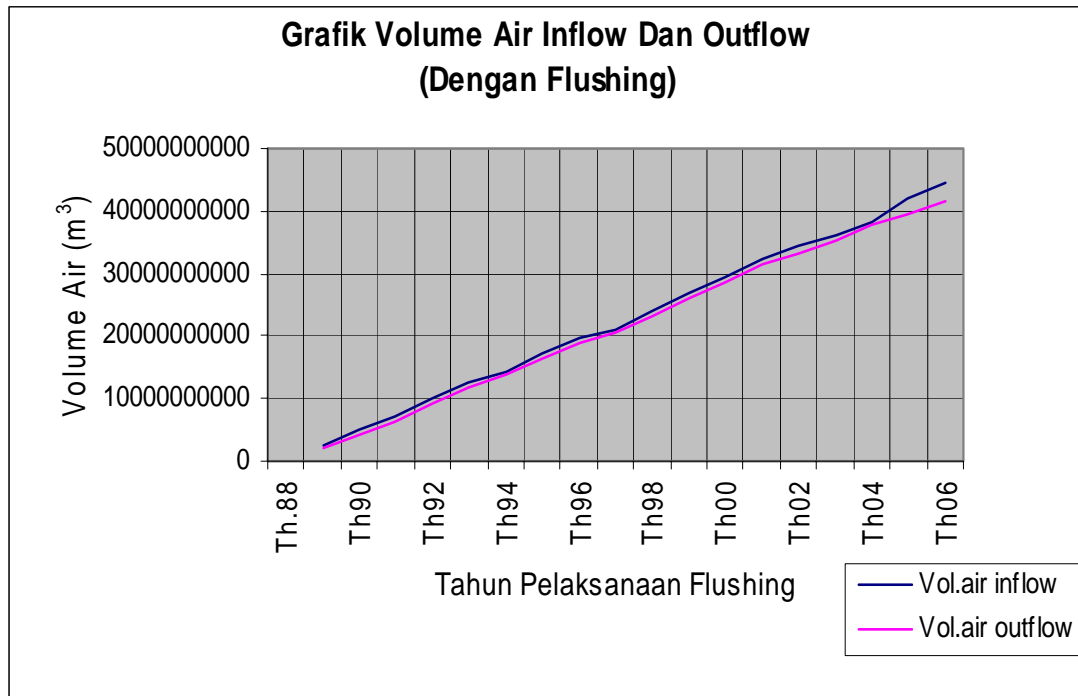
Pada tahun 2006 akumulasi volume air inflow sebesar 44.470.759.104 m<sup>3</sup>, masih mencukupi kebutuhan air outflow untuk irigasi dan turbin sebesar 41.383.699.200 m<sup>3</sup>

Untuk lebih jelasnya perbandingan volume air inflow dan volume air outflow tanpa kebutuhan air untuk penggelontoran sedimen ditunjukkan pada Gambar 4.10 seperti dibawah ini.



Gambar 4.10. Grafik Volume Air Inflow Dan Outflow Tanpa Flushing

Perbandingan volume air inflow dengan volume air outflow termasuk penggelontoran sedimen yang dimulai tahun 1996, ditunjukkan pada Tabel 4.12., bahwa pada awal operasi waduk volume air inflow sebesar 2.561.932.800 m<sup>3</sup>, masih mencukupi kebutuhan air outflow sebesar 1.894.233.600 m<sup>3</sup>. sedangkan pada tahun 2006 akumulasi volume air inflow sebesar 44.470.759.104 m<sup>3</sup> masih mencukupi kebutuhan air outflow termasuk kebutuhan air untuk flushing sedimen sebesar 41.393.262.600 m<sup>3</sup>. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.11. seperti dibawah ini.



Gambar .4.11. Grafik Volume air Inflow Dan Outflow Dengan Flushing

#### 4.1.10. Analisa Finansial

Kajian ini dimaksudkan untuk menghitung keuntungan dan kerugian secara finansial, apabila dilakukan penggelontoran sedimen dan apabila tidak dilakukan penggelontoran sedimen.

a. Perhitungan Biaya Penggelontoran Sedimen Metode Flushing.

Untuk mengeluarkan sedimen dari dalam waduk dengan metode flushing atau penggelontoran sedimen melalui bottom outlet ( drawdown culvert ), digunakan air waduk untuk menggelontor sedimen. Yang seharusnya air waduk dapat digunakan untuk menggerakkan turbin, yang dapat menghasilkan energi listrik. Maka biaya yang diperlukan untuk penggelontoran sedimen dapat dikonversikan dalam kWh dan rupiah, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Biaya (kWh)} = \frac{\text{Volume air yang digunakan untuk flushing} \times 1 \text{ kWh}}{\text{Volume air yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kWh}}$$

$$\text{Biaya (Rp)} = \text{kWh} \times \text{Rp/kWh}$$

Dimana :

- Volume air yang digunakan untuk flushing = Volume air penggelontor sedimen pada saat flushing ( m<sup>3</sup> )
- Volume air waduk yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kWh = 4,4 m<sup>3</sup>  
( Sumber : Gatot Sulisty, Tesis Kajian Pola Operasi PLTA PB. Soedirman Dengan Mempertimbangkan Laju Sedimentasi )
- Harga penjualan tenaga listrik ( Rp/kWh ) Tahun 2007 = Rp.600,-/kWh  
( Sumber Laporan Penjualan tenaga Listrik PLN Distribusi Jateng dan DIY Tahun 2007 )

Perhitungan biaya penggelontoran sedimen dalam kWh dan rupiah dapat kita lihat pada Tabel. 4.18. dibawah ini, sebagai berikut :

- Biaya yang diperlukan apabila air yang digunakan untuk menggelontor sedimen digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah sebesar 2.246.045 kWh.
- Dengan harga energi listrik Rp. 600,-/kWh, maka biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 1.347.627.273,-

Tabel. 4.18. Perhitungan Biaya Flushing Dalam kWh Dan Rupiah

| No | Tgl. Flushing | Volume air<br>m <sup>3</sup> | Volume sedimen<br>m <sup>3</sup> | Biaya<br>kWh | Biaya<br>rp   |
|----|---------------|------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------|
| 1  | 2             | 3                            | 4                                | 5            | 6             |
| 1  | 15/02/1996    | 840.000                      | 5.141                            | 190.909      | 114.545.455   |
| 2  | 17/07/1996    | 268.800                      | 2.592                            | 61.091       | 36.654.545    |
| 3  | 24/02/1999    | 369.600                      | 5.154                            | 84.000       | 50.400.000    |
| 4  | 10/11/1999    | 945.000                      | 19.474                           | 214.773      | 128.863.636   |
| 5  | 11/04/2000    | 369.600                      | 23.657                           | 84.000       | 50.400.000    |
| 6  | 31/10/2000    | 168.000                      | 10.097                           | 38.182       | 22.909.091    |
| 7  | 29/01/2001    | 235.200                      | 10.278                           | 53.455       | 32.072.727    |
| 8  | 04/07/2001    | 201.600                      | 4.190                            | 45.818       | 27.490.909    |
| 9  | 08/10/2001    | 588.000                      | 43.403                           | 133.636      | 80.181.818    |
| 10 | 16/01/2002    | 386.400                      | 8.787                            | 87.818       | 52.690.909    |
| 11 | 20/03/2002    | 268.800                      | 2.784                            | 61.091       | 36.654.545    |
| 12 | 31/12/2002    | 336.000                      | 15.100                           | 76.364       | 45.818.182    |
| 13 | 21/04/2003    | 352.800                      | 16.783                           | 80.182       | 48.109.091    |
| 14 | 01/04/2004    | 310.800                      | 21.189                           | 70.636       | 42.381.818    |
| 15 | 07/12/2004    | 554.400                      | 243.316                          | 126.000      | 75.600.000    |
| 16 | 30/12/2004    | 898.800                      | 139.314                          | 204.273      | 122.563.636   |
| 17 | 15/02/2005    | 319.200                      | 9.814                            | 72.545       | 43.527.273    |
| 18 | 31/10/2005    | 781.200                      | 52.855                           | 177.545      | 106.527.273   |
| 19 | 08/12/2005    | 210.000                      | 6.560                            | 47.727       | 28.636.364    |
| 20 | 23/12/2005    | 168.000                      | 10.890                           | 38.182       | 22.909.091    |
| 21 | 24/01/2006    | 168.000                      | 6.529                            | 38.182       | 22.909.091    |
| 22 | 08/02/2006    | 184.800                      | 1.520                            | 42.000       | 25.200.000    |
| 23 | 02/03/2006    | 201.600                      | 9.098                            | 45.818       | 27.490.909    |
| 24 | 19/04/2006    | 504.000                      | 13.307                           | 114.545      | 68.727.273    |
| 25 | 29/05/2006    | 252.000                      | 3.644                            | 57.273       | 34.363.636    |
|    | <b>Jumlah</b> | 9.882.600                    | 685.476                          | 2.246.045    | 1.347.627.273 |

Sumber : Data Hasil Flushing PLTA PB Soedirman diolah

b. Perhitungan Biaya Apabila Tidak Dilaksanakan Penggelontoran Sedimen.

Apabila tidak dilaksanakan penggelontoran sedimen, maka kerugian secara kWh dan rupiah, dapat dihitung sebagai berikut :

$$= \frac{\text{Volume sedimen} \times \text{Volume air outflow} \times 1 \text{ kWh}}{\text{Vol. air waduk rata - rata} \times \text{Vol. air yg diperlukan untuk menghasilkan 1 kWh}}$$

Perhitungan Biaya = kWh X Rp/ kWh

Dimana :

- Volume sedimen = Volume sedimen tergelontor pada saat flushing ( m<sup>3</sup> )
- Volume air waduk yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kWh = 4,4 m<sup>3</sup>  
(Sumber : Gatot Sulisty, Tesis Kajian pola operasi PLTA PB. Soedirman Dengan Mempertimbangkan Laju Sedimentasi )
- Volume waduk rata-rata = volume waduk rata2 flushing to flushing( m<sup>3</sup> )
- Harga penjualan tenaga listrik ( Rp/kWh ) Tahun 2007 = Rp.600,-/ kWh  
( Sumber Laporan Penjualan tenaga Listrik PLN Distribusi Jateng dan DIY Tahun 2007 )

Hasil perhitungan kerugian tanpa dilaksanakan flushing dalam kWh dan rupiah dapat kita lihat pada Tabel. 4.19.

Hasil Perhitungan kerugian apabila tidak dilaksanakan flushing dalam kWh dan rupiah sebagai berikut :

- Kerugian apabila tidak dilaksanakan flushing dalam bentuk energi listrik adalah sebesar 10.311.714 kWh.
- Dengan harga energi listrik Rp. 600,-/kWh, maka kerugian dalam rupiah sebesar Rp. 6.187.028.437,-

Tabel. 4.19. Perhitungan Kerugian Tidak Dilaksanakan Flushing Sedimen Dalam kWh Dan Rupiah

| No | flushing         |                     |                     | Vol.waduk rata <sup>2</sup><br>m <sup>3</sup> | Volume air outflow<br>m <sup>3</sup> | kWh        | Rupiah        |
|----|------------------|---------------------|---------------------|---|--------------------------------------|------------|---------------|
|    | Tanggal Flushing | Vair m <sup>3</sup> | Vsed m <sup>3</sup> |   |                                      |            |               |
| 1  | 2                | 3                   | 4                   | 5   | 6                                    | 7          | 8             |
| 1  | 15/02/1996       | 840.000             | 5.141               | 26.470.948                                    | 18.750.072.000                       | 910.377    | 546.225.924   |
| 2  | 17/07/1996       | 268.800             | 2.592               | 23.215.853                                    | 1.196.304.000                        | 33.391     | 20.034.715    |
| 3  | 24/02/1999       | 369.600             | 5.154               | 21.778.165                                    | 6.721.166.400                        | 397.656    | 238.593.734   |
| 4  | 10/11/1999       | 945.000             | 19.474              | 24.214.048                                    | 2.053.204.200                        | 412.819    | 247.691.534   |
| 5  | 11/04/2000       | 369.600             | 23.657              | 22.535.813                                    | 4.376.356.800                        | 1.148.522  | 689.112.965   |
| 6  | 31/10/2000       | 168.000             | 10.097              | 27.508.447                                    | 1.078.008.000                        | 98.921     | 59.352.570    |
| 7  | 29/01/2001       | 235.200             | 10.278              | 18.916.568                                    | 1.232.644.800                        | 167.434    | 100.460.532   |
| 8  | 04/07/2001       | 201.600             | 4.190               | 23.072.871                                    | 1.818.576.000                        | 82.563     | 49.537.616    |
| 9  | 08/10/2001       | 588.000             | 43.403              | 26.236.253                                    | 557.090.400                          | 230.401    | 138.240.368   |
| 10 | 16/01/2002       | 386.400             | 8.787               | 17.264.254                                    | 1.186.572.000                        | 150.983    | 90.589.566    |
| 11 | 20/03/2002       | 268.800             | 2.784               | 15.946.618                                    | 673.152.000                          | 29.380     | 17.628.081    |
| 12 | 31/12/2002       | 336.000             | 15.100              | 16.860.391                                    | 1.418.592.000                        | 317.619    | 190.571.555   |
| 13 | 21/04/2003       | 352.800             | 16.783              | 15.663.933                                    | 1.488.074.400                        | 398.596    | 239.157.873   |
| 14 | 01/04/2004       | 310.800             | 21.189              | 18.553.288                                    | 2.296.909.200                        | 655.803    | 393.481.802   |
| 15 | 07/12/2004       | 554.400             | 243.316             | 22.291.966                                    | 1.187.776.800                        | 3.241.135  | 1.944.681.130 |
| 16 | 30/12/2004       | 898.800             | 139.314             | 20.557.635                                    | 363.519.600                          | 615.871    | 369.522.342   |
| 17 | 15/02/2005       | 319.200             | 9.814               | 16.352.884                                    | 676.944.000                          | 101.565    | 60.939.054    |
| 18 | 31/10/2005       | 781.200             | 52.855              | 21.567.350                                    | 1.454.976.000                        | 891.426    | 534.855.385   |
| 19 | 08/12/2005       | 210.000             | 6.560               | 11.855.682                                    | 434.456.400                          | 60.098     | 36.059.089    |
| 20 | 23/12/2005       | 168.000             | 10.890              | 9.460.856                                     | 176.078.400                          | 50.669     | 30.401.484    |
| 21 | 24/01/2006       | 168.000             | 6.529               | 14.287.894                                    | 919.565.952                          | 105.051    | 63.030.769    |
| 22 | 08/02/2006       | 184.800             | 1.520               | 19.114.931                                    | 526.274.400                          | 10.462     | 6.277.321     |
| 23 | 02/03/2006       | 201.600             | 9.098               | 16.400.035                                    | 495.014.400                          | 68.653     | 41.191.752    |
| 24 | 19/04/2006       | 504.000             | 13.307              | 16.400.035                                    | 555.883.200                          | 112.761    | 67.656.605    |
| 25 | 29/05/2006       | 252.000             | 3.644               | 22.416.159                                    | 481.240.800                          | 19.558     | 11.734.670    |
|    | <b>Jumlah</b>    | 9.882.600           | 685.476             | 488.942.875                                   | 52.118.452.152                       | 10.311.714 | 6.187.028.437 |

Sumber : Data Hasil Flushing PLTA PB Soedirman diolah

## 4.2. PEMBAHASAN

#### 4.2.1. Pelaksanaan Penggelontoran Sedimen.

Dari hasil analisa data pelaksanaan penggelontoran sedimen PLTA PB. Soedirman, menunjukkan adanya hubungan antara hasil analisa tersebut berkaitan dengan efisiensi penggelontoran sedimen, antara lain sebagai berikut :

a. Kecepatan Air Penggelontor sedimen.

Seperti diuraikan pada analisa dimuka, bahwa volume sedimen hasil penggelontoran PLTA PB. Soedirman melalui bottom outlet ( drawdown culvert ) sangat kecil dibandingkan dengan volume air yang digunakan. Dari hasil analisa, kecepatan air pada saat penggelontoran sedimen rata-rata sebesar  $V = 31,11$  m/dt. Dengan menggunakan grafik Hjulstrom menunjukkan bahwa kecepatan air penggelontor sedimen sebesar  $V = 31,11$  m/dt tersebut mampu menggelontor endapan sedimen sampai dengan diameter 500 mm.

Kenyataan dilapangan dari data perkembangan laju sedimentasi waduk PLTA PB. Soedirman menunjukkan, endapan sedimen dari tahun ketahun semakin meningkat, dimulai pada elevasi dasar waduk + 160, sampai pada tahun 2006 sudah mendekati elevasi + 224 ( Minimum Operation Level + 228,2 ). Penyebab tidak optimalnya penggelontoran endapan sedimen dalam waduk, ditunjukkan dari hasil analisa kecepatan air pada saat penggelontoran sedimen pada Tabel 4.5, bahwa kecepatan air waduk pada saat penggelontoran sedimen menjadi semakin kecil kearah hulu waduk.

Dengan menggunakan Grafik Hjulstrom kecepatan air waduk pada saat penggelontoran sedimen hanya dapat menggelontor endapan sedimen dengan  $\phi$  0,001 s/d 0,09 mm. *Penggelontoran sedimen tidak efisien*, hal ini mengakibatkan endapan sedimen kearah hulu waduk tidak bisa tergelontor ( semakin menumpuk ). Penggelontoran sedimen pada ketinggian muka air waduk maksimum (  $H = 51,01$  m ), kecepatan air maksimum (  $V = 31,62$  m/dt ), *tidak memberikan pengaruh secara signifikan* terhadap penggelontoran endapan sedimen di dalam waduk.

b. Hubungan Volume Air Dan Lama Flushing dengan Volume Sedimen.

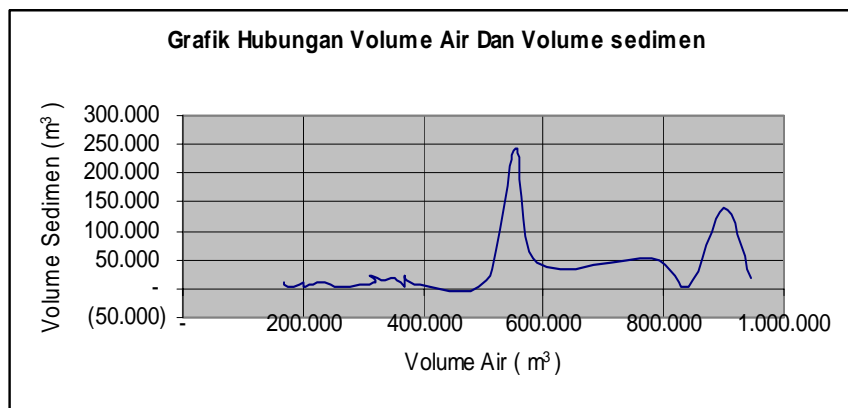


Kurang optimalnya hasil penggelontoran sedimen, ditunjukkan juga dari hasil analisa statistik data penggelontoran sedimen yaitu :

- Pengaruh volume air terhadap volume sedimen tidak signifikan, dengan tingkat korelasi sebesar 19,24 %
- Pengaruh Lama flushing ( t ) terhadap volume sedimen tidak signifikan, dengan tingkat korelasi sebesar 19,44 %

Besarnya volume air penggelontor sedimen dan lamanya flushing, tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap volume sedimen yang dihasilkan pada saat penggelontoran sedimen. *Hal ini menunjukkan bahwa penggelontoran sedimen tidak efisien.* Maka untuk mendapatkan volume sedimen yang lebih besar, dengan cara menambah volume air dan lama waktu flushing akan semakin tidak efisien.

Dari data hasil flushing pada Tabel 4.3. dapat kita buat grafik hubungan volume air dan volume sedimen, seperti Gambar. 4.12 dibawah ini.



Gambar.4.12. Grafik Hubungan Volume Air Dan Volume Sedimen

Dari Tabel 4.3. dan Gambar 4.12. menunjukkan bahwa mulai tanggal 15/2/1996 sampai dengan tanggal 29/05/2006 atau sebanyak 25 kali dilakukan flushing, volume air yang digunakan untuk flushing bervariasi dari volume air yang paling kecil yaitu 168.000 m<sup>3</sup>, sampai volume air yang paling besar yaitu 945.000 m<sup>3</sup>.

Sedimen yang dapat digelontor bervariasi dari yang paling sedikit volumenya yaitu sebesar 1.520 m<sup>3</sup>, sampai yang paling besar volumenya yaitu sebesar 243.316 m<sup>3</sup>.

Dari data flushing tersebut menunjukkan bahwa terdapat flushing dengan volume air yang digunakan untuk menggelontor sedimen besar, akan tetapi menghasilkan volume sedimen kecil, namun terdapat data flushing dengan volume air kecil, volume sedimen yang dapat digelontor besar.

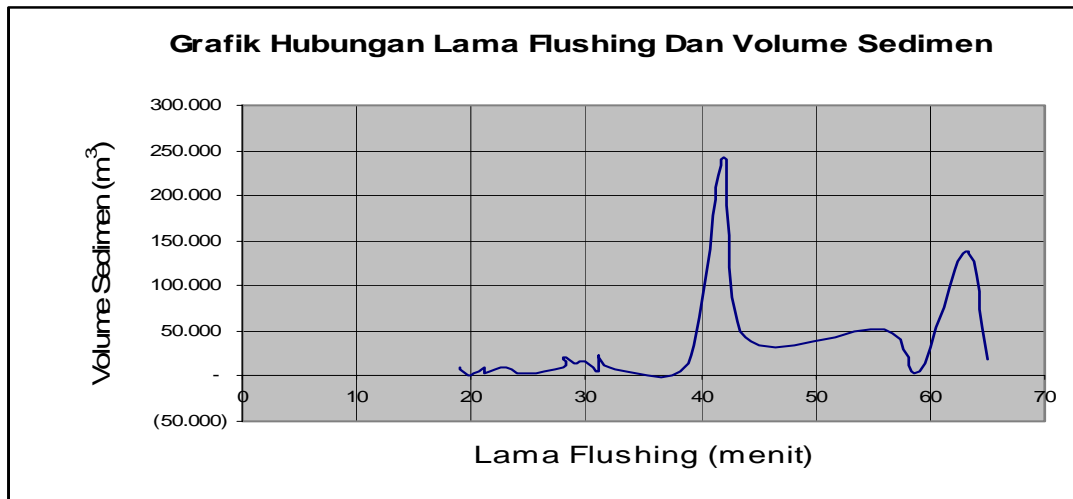
Misalnya flushing pada tanggal 10/11/1999 flushing dengan volume air 945.000 m<sup>3</sup> hanya menghasilkan volume sedimen tergelontor sebesar 19.474 m<sup>3</sup>, sedangkan pada tanggal 7/12/2004 flushing dengan volume air 554.400 m<sup>3</sup>, menghasilkan volume sedimen tergelontor sebesar 243.316 m<sup>3</sup>.

Dari gambar 4.12. Grafik Hubungan Volume Air Dan Sedimen tersebut diatas menunjukkan, bahwa dengan kenaikan volume air dari 163.000 m<sup>3</sup> sampai dengan 504.000 m<sup>3</sup>, volume sedimen yang digelontor hanya sebesar 1.520 m<sup>3</sup> sampai dengan 23.000 m<sup>3</sup>. Bertambahnya volume air tidak tentu diikuti bertambahnya volume sedimen, terlihat volume sedimen yang dihasilkan naik turun.

Volume air 554.400 m<sup>3</sup> sedimen yang dihasilkan naik secara signifikan sebesar 243.316 m<sup>3</sup>. Pada volume air 588.000 m<sup>3</sup> sampai 781.200 m<sup>3</sup> turun kembali menjadi 43.403 m<sup>3</sup> sampai dengan 52.885 m<sup>3</sup> dan akhirnya menurun drastis pada volume air 840.000 m<sup>3</sup> dengan volume sedimen hanya 5.141 m<sup>3</sup>.

Dari data hasil penggelontoran sedimen pada Tabel 4.3. tersebut dimuka dapat kita buat grafik hubungan lama flushing dan volume sedimen, seperti ditunjukkan Gambar. 4.13. dibawah ini. Dari tabel. 4.3 dapat dilihat bahwa mulai tanggal 15/2/1996 sampai dengan tanggal 29/05/2006 atau sebanyak 25 kali dilakukan flushing, lama flushing bervariasi dari yang paling pendek waktunya yaitu 10 menit, sampai yang paling panjang yaitu 75 menit. Sedimen yang dapat digelontor bervariasi dari yang paling sedikit volumenya yaitu sebesar 1.520 m<sup>3</sup>, sampai yang paling besar volumenya yaitu sebesar 243.316 m<sup>3</sup>.

Dari fakta tersebut terlihat bahwa *penggelontoran sedimen tidak efisien*. Bertambahnya volume air belum tentu diikuti bertambahnya volume sedimen.



Gambar.4.13. Grafik Hubungan Lama Flushing Dan Volume Sedimen

Dari data tersebut menunjukkan bahwa terdapat flushing dengan durasi pendek akan tetapi menghasilkan volume sedimen tergelontor yang cukup besar, namun sebaliknya ada flushing dengan durasi panjang, namun volume sedimen yang dapat digelontor tidak besar. Misalnya flushing pada tanggal 10/11/1999 durasi flushing 75 menit, hanya menghasilkan volume sedimen tergelontor sebesar 19.474 m<sup>3</sup>, sedangkan pada tanggal 7/12/2004 flushing dengan durasi 33 menit, menghasilkan volume sedimen tergelontor sebesar 243.316 m<sup>3</sup>.

Dari gambar 4.13. Grafik Hubungan Lama Flushing Dan Sedimen menunjukkan, bahwa dengan kenaikan lama flushing dari 19 menit sampai dengan 39 menit, volume sedimen yang digelontor hanya sebesar 1.520 m<sup>3</sup> sampai dengan 23.657 m<sup>3</sup>. Bertambahnya volume air tidak tentu diikuti bertambahnya volume sedimen, terlihat volume sedimen yang dihasilkan naik turun.

Pada lama flushing 42 menit, sedimen yang dihasilkan naik secara signifikan sebesar 243.316 m<sup>3</sup>. Pada lama flushing 44 menit sampai 56 menit turun volume sedimen turun menjadi 43.403 m<sup>3</sup> sampai dengan 52.885 m<sup>3</sup> dan akhirnya menurun drastis pada lama flushing 59 menit dengan volume sedimen hanya 5.141 m<sup>3</sup>.

Dari data tersebut diatas terlihat bahwa bertambahnya durasi flushing belum tentu diikuti dengan bertambahnya volume sedimen yang dapat digelontor, *penggelontoran sedimen tidak efisien.*

c. Konsentrasi Sedimen

Hasil perhitungan konsentrasi sedimen pada saat flushing, menunjukkan angka yang sangat kecil, yaitu konsentrasi sedimen rata-rata  $C = 0,0571$ . Hal ini menunjukkan bahwa penggelontoran sedimen tidak efisien, karena volume air yang digunakan sangat besar dibandingkan dengan volume sedimen yang tergelontor sangat kecil. Misalnya dari Tabel. 4.3 dapat dilihat bahwa penggelontoran endapan sedimen pada tanggal 15-2-1996, volume air yang digunakan sebesar  $840.000 \text{ m}^3$  sedangkan sedimen yang dapat digelontor hanya sebesar  $5.141 \text{ m}^3$ .

Keberhasilan penggelontoran sedimen dengan metode flushing adalah dapat mengeluarkan endapan sedimen dari dalam waduk secara efisien. Artinya ada keseimbangan antara air yang dikeluarkan dengan volume sedimen yang dapat dikeluarkan dari dalam waduk. Dengan melihat hasil analisa konsentrasi sedimen, analisa statistik dan analisa kecepatan air dalam waduk, ketiganya mempunyai hubungan yaitu menunjukkan bahwa penggelontoran sedimen tidak efisien.

Hubungan tersebut adalah dengan tidak mampunya kecepatan air waduk untuk menggelontor endapan sedimen didalam waduk, maka yang dapat digelontor hanya di lokasi sekitar intake drawdown culvert ( lihat Gambar Perkembangan Laju Sedimentasi Waduk PLTA PB.Soedirman, lampiran ) karena kecepatan air masih relatif besar. Dan dilokasi ini endapan sedimen adalah berupa suspended load. Karena material bed load sudah mengendap terlebih dahulu di hulu waduk.

Kecepatan air penggelontor sedimen yang tinggi di drawdown culvert (  $V = 31,32 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), mengakibatkan volume air penggelontor sedimen yang digunakan akan sangat besar. Sedangkan sedimen yang dapat digelontor hanya berupa suspended load. Sehingga perbandingan volume air dan sedimen akan cukup besar. Hal ini ditunjukkan dari hasil analisa statistik, yaitu pengaruh volume air terhadap volume sedimen yang digelontor tidak signifikan atau dengan tingkat korelasi 19,24 %.

Karena lokasi endapan sedimen yang dapat digelontor relatif kecil dibandingkan dengan luas waduk secara keseluruhan, sedimen yang digelontor akan cepat habis. apabila tidak dikontrol dengan cermat, air yang digunakan akan sia-sia dan semakin lama semakin tidak efisien. Hal ini terlihat dari hasil analisa statistik pengaruh lama flushing dengan volume sedimen tidak signifikan dengan tingkat korelasi 19,44 %.

d. Flushing efisiensi

Dari perhitungan flushing efficiency beberapa metode, maka dengan mengacu kepada tersedianya data pengukuran yang dilakukan PLTA PB. Sudirman, metode yang dapat dilakukan perhitungan flushing efficiency adalah metode Ackers & Thompson dan Atkinson. Hasil perhitungan flushing efficiency sesuai metode Ackers & Thompson adalah  $E = 0,012300$ , dan menurut metode Atkinson  $E = 0,022856$

Flushing efficiency dari kedua metode tersebut kita hitung nilai flushing efficiency rata-rata seperti ditunjukkan pada Tabel 4.20. dibawah ini. Hasil perhitungan flushing efficiency rata-rata dari metode Ackers & Thompson dan metode Atkinson, yaitu  $E = 0,017578$

Tabel 4.20. Nilai Flushing Efisiensi Rata-rata

| NO | METODE                              | NILAI FLUSHING<br>EFISIENSI | KETERANGAN |
|----|-------------------------------------|-----------------------------|------------|
| 1  | 2                                   | 3                           | 4          |
| 1. | Ackers & Thompson                   | 0,012300                    |            |
| 2. | Atkinson                            | 0,022856                    |            |
|    | <b>Flushing Efisiensi Rata-rata</b> | <b>0,017578</b>             |            |

Flushing efficiency menurut metode Ackers & Thompson adalah perbandingan antara berat sedimen yang digelontor dan sedimen inflow pertahun. Maka dengan hasil  $E = 0,012300$ , menunjukkan bahwa perbandingan sedimen yang digelontor dan sedimen yang masuk ke dalam waduk perbedaannya sangat besar atau apabila dibulatkan adalah 1 : 100.

Flushing Efficiency menurut metode Atkinson adalah perbandingan antara berat sedimen yang digelontor dan sedimen yang mengendap pertahun. Hasil perhitungan flushing efficiency menurut Atkinson adalah  $E = 0,022856$ , menunjukkan bahwa perbandingan antara sedimen yang digelontor dan sedimen yang mengendap dalam waduk perbedaannya sangat besar atau apabila dibulatkan adalah 2 : 100.

Dari perhitungan kedua metode tersebut menunjukkan bahwa jumlah sedimen yang dapat dikeluarkan dari dalam waduk sangat kecil apabila dibandingkan dengan jumlah sedimen yang masuk waduk atau yang mengendap dalam waduk.

Hasil analisa ini sesuai atau ada keterkaitannya dengan hasil analisa kecepatan air waduk dan analisa konsentrasi sedimen. Jumlah sedimen yang dapat digelontor keluar waduk sangat kecil, karena kecepatan air waduk pada saat flushing sangat kecil, sehingga tidak mampu menggelontor endapan sedimen. Sedangkan metode flushing efficiency tersebut memperhitungkan jumlah sedimen yang keluar dari waduk dan sedimen inflow maupun yang mengendap.

Hal ini sesuai dengan kondisi dilapangan bahwa jumlah sedimen inflow yang masuk waduk cukup besar yaitu 4,19 juta  $m^3$  pertahun, sedangkan sedimen yang dapat digelontor keluar waduk dari tahun 1996 sampai tahun 2006 baru mencapai 685.476  $m^3$ , dan sampai dengan tahun 2006 jumlah sedimen yang mengendap dalam waduk sudah mencapai 75,72 juta  $m^3$  atau 51,06 % dari volume total waduk.

#### **4.2.2 Pola Penggelontoran Sedimen**

Pola operasi waduk PLTA PB.Soedirman adalah :

- a. Mempertahankan elevasi Minimum Operation Level (MOL) pada + 280,20 M.
- b. Memaksimalkan operasi turbin dengan debit 74  $m^3/dt$  dan irigasi sebesar 11  $m^3/dt$ .
- c. Mempertahankan elevasi air untuk tidak melimpas di spillway untuk memaksimalkan operasi turbin dan irigasi.

Dari hasil analisa data pelaksanaan penggelontoran sedimen pada bab dimuka, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Nilai konsentrasi sedimen diatas rata-rata adalah pada pelaksanaan flushing bulan ke 4, 10 dan 12.
- Nilai Flushing Efficiency diatas rata-rata dari perhitungan beberapa metode, adalah :
  - a. Ackers And Thompson, pada bulan ke 4, 10 dan 12 (  $E = 0,012300$  )
  - b. Atkinson, pada bulan ke 4,10 dan 12 (  $E = 0,022856$  )
- Berdasarkan hasil konsentrasi sedimen dan nilai flushing efficiency diatas rata-rata pada Tabel 4.16. dan Tabel 4.17. tersebut diatas , maka *pelaksanaan*

*penggelontoran sedimen yang paling ideal adalah pada bulan ke. 2 ( Pebruari ), ke.4 ( April ), ke.10 ( Oktober ) dan ke.12 ( Desember ).*

- Maka pelaksanaan penggelontoran endapan sedimen di PLTA PB. Soedirman yang paling cocok berdasarkan kepentingan operasi waduk dan hasil analisa pada penelitian ini, adalah :
  - a. Penggelontoran sedimen ( *flushing* ) dilaksanakan pada bulan ke 2 ( Februari ), ke.4 ( April ), ke.10 ( Oktober ) dan ke.12 ( Desember ) atau pada saat bulan basah ( kelebihan air ). Sehingga turbin tetap beroperasi maksimal dan kebutuhan air irigasi terpenuhi.
  - b. Lama waktu penggelontoran sedimen ( *T* ) paling efektif untuk mendapatkan hasil sedimen adalah 15 menit., agar supaya tidak banyak air waduk yang terbuang .

#### **4.2.3. Alternatif Metode Lain Pengeluaran Sedimen Dari Dalam Waduk**

Dari analisa pelaksanaan penggelontoran sedimen dengan metode *flushing* didapatkan hasil tidak efisien, maka perlu ditinjau metode lain untuk perbandingan. Seperti diuraikan dimuka, bahwa untuk mengeluarkan sedimen dari dalam waduk, dapat dilakukan pada keadaan sedimen masih belum mengendap atau sudah mengendap.

Apabila sedimen belum mengendap pengeluaran sedimen menggunakan metode *density current*. Dan apabila sedimen sudah dalam keadaan mengendap di dalam waduk, maka metode yang digunakan antara lain :

- a. Tanpa bantuan energi dari luar yaitu dengan memanfaatkan energi potensial air waduk untuk menggelontor sedimen ( *flushing* ). Yaitu dengan metode Empty or free-flow *flushing* atau *Flushing With Partial Drawdown*
- b. Dengan bantuan energi dari luar yaitu dilakukan dengan memanfaatkan alat-alat mekanik ( *mechanical excavation* ) atau *dredging*

Untuk mengeluarkan sedimen dari dalam waduk, PLTA PB. Soedirman telah melaksanakan metode *flushing* melalui bottom outlet atau drawdown culvert.

Volume sedimen yang mengendap sangat besar, dan dari hasil analisa volume sedimen yang dapat digelontor relatif kecil dibandingkan dengan sedimen yang mengendap.

Sedimen yang dapat digelontor hanya yang berlokasi disekitar intake pintu drawdown culvert, sedangkan sisanya mengendap dengan kondisi semakin padat dan akan semakin sulit digelontor.

Penggelontoran dengan metode *density curent* dapat dilaksanakan dengan baik ( Scheuerlein, 1987 ) yaitu pada kondisi :

- a. Beda density antara inflow dan air waduk yang cukup ( kandungan *suspended load* tinggi )
- b. Kemiringan dasar sungai di *entrance* cukup tajam
- c. Waduk cukup dalam dan, dasar sungai dibawah waduk lurus

Cara ini hanya dapat dilakukan jika tersedia *bottom outlet* dengan kapasitas yang memadai.

Keuntungan metode ini adalah sedimen dapat dikeluarkan sebelum mengendap dalam waduk, sehingga volume efektif waduk tidak banyak berkurang seperti halnya waduk PLTA PB. Soedirman saat ini. Karakteristik sungai Serayu yang dibendung untuk PLTA PB. Soedirman, alurnya berbelok-belok (tidak lurus kearah bottom outlet ), kemiringan dasar sungai tidak terlalu tajam. Kandungan suspended load tidak tinggi karena sedimen telah mengendap terlebih dahulu di upstream waduk. Walaupun PLTA PB. Soedirman memiliki bottom outlet, akan tetapi penggelontoran sedimen tidak efektif dengan menggunakan metode *density curent*.

Penggelontoran sedimen dengan menggunakan metode *flushing*, yaitu dengan metode *Empty or free-flow flushing* atau *Flushing With Partial Drawdown*. Keuntungan dan kerugian metode ini apabila digunakan pada PLTA PB. Soedirman, adalah sebagai berikut :

- a. Empty or Free-Flow Flushing.

Untuk mengeluarkan sedimen harus mengosongkan waduk terlebih dahulu, sedangkan aliran air sungai dibiarkan mengalir untuk digunakan sebagai penggelontor sedimen.

Waduk PLTA PB. Soedirman selain untuk irigasi juga untuk Pembangkit Tenaga Listrik, maka apabila dikosongkan akan mengalami kerugian pasokan



energi listrik sebesar 3 X 61,5 MW dan akan mengganggu penyediaan energi listrik Jawa-Bali yang saat ini harus selalu siap tersedia.

b. Flushing With Partial Drawdown.

Penggelontoran sedimen pada metode ini adalah dengan cara tetap mempertahankan atau menurunkan permukaan air waduk pada elevasi tertentu, sedimen diarahkan keluar waduk melalui bottom outlet.

Pada kondisi sedimen dengan volume sangat besar, maka dalam prakteknya dengan metode flushing sangat sulit untuk mengeluarkan sedimen dari dalam waduk, apabila masih ada keterbatasan penggunaan air waduk untuk banyak kepentingan ( Multipurpose )

PLTA PB. Soedirman telah melaksanakan penggelontoran sedimen dengan metode flushing ini, sarana bottom outlet yang cukup memadai tidak dapat digunakan untuk menggelontor sedimen secara optimal. Dan sebaliknya hasil penggelontoran sedimen menunjukkan nilai tidak efisien.

Metode lain pengeluaran sedimen dari dalam waduk adalah *Dry Excavation* atau *Dredging*. Keuntungan dan kerugian metode ini antar lain adalah :

a. Dry Excavation.

Pengeluaran sedimen dengan menggunakan metode ini adalah dengan cara mengosongkan waduk, kemudian dengan alat berat ( mekanik ) melakukan penggalian dan sedimen diangkut keluar dari waduk ke spoil area.

b. Dredging.

Pengeluaran sedimen dengan metode ini adalah dengan cara tetap mempertahankan air waduk, kemudian dengan menggunakan kapal sedimen dibor dan dialirkan ke tepi waduk atau ke down stream area.

Pada metode dry excavation maupun dredging, hasil pengeluaran sedimen akan lebih baik dari flushing dan bahkan pada dry excavation dapat lebih maksimal. Akan tetapi kerugiannya adalah biaya pengeluaran sedimen sangat mahal, pengeringan waduk akan merugikan produksi energi listrik dan irigasi.

Untuk pembuangan hasil galian sedimen diperlukan spoil area dan apabila dialirkan ke downstream waduk, akan mengganggu lingkungan sekitarnya.

#### 4.2.4. Perhitungan Finansial Metode Flushing

Hasil perhitungan biaya apabila tetap dilaksanakan penggelontoran sedimen adalah sebesar :

- Biaya yang diperlukan apabila air yang digunakan untuk menggelontor sedimen digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah sebesar 2.246.045 kWh.
- Dengan harga energi listrik Rp. 600,-/kWh, maka biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 1.347.627.273,-

Perhitungan kerugian apabila tidak dilaksanakan flushing dalam kWh dan rupiah sebagai berikut :

- Kerugian apabila tidak dilaksanakan flushing dalam bentuk energi listrik adalah sebesar 10.311.714 kWh.
- Dengan harga energi listrik Rp. 600,-/kWh, maka kerugian dalam rupiah sebesar Rp. 6.187.028.437,-

Dengan membandingkan keuntungan dan kerugian apabila dilaksanakan atau tidak dilaksanakan penggelontoran sedimen, adalah :

- Dilaksanakan flushing dalam kWh = 2.246.045 kWh  
dalam rupiah = Rp. 1.347.627.273,-
- Tidak dilaksanakan flushing dalam kWh = 10.311.714 kWh.  
dalam rupiah = Rp. 6.187.028.437,-

#### 4.2.5. Perhitungan Finansial Metode Dry Excavation atau Dredging

Seperti diuraikan dimuka pengeluaran sedimen dengan menggunakan metode Dry Excavation, harus dilakukan pengosongan air waduk terlebih dahulu. Kemudian dilakukan penggalian dan pengeluaran sedimen dari dalam waduk dengan menggunakan alat-alat mekanik. Maka dalam perhitungan analisa finansial, harus dihitung kehilangan energi listrik akibat pengosongan waduk dan biaya penggalian dan pengangkutan sedimen dengan alat-alat mekanik tersebut.

a. Biaya Pengeluaran Sedimen Dari Waduk Dengan *Metode Dredging*

1. Volume sedimen dalam waduk sebesar = 685.476 m<sup>3</sup>

( Volume sedimen disamakan dengan hasil flushing )

2. Biaya pengeluaran sedimen dengan alat mekanik dari waduk = Rp. 50.000 / m<sup>3</sup>
3. Biaya seluruhnya = 685.476 \* Rp.50.000,-  
= Rp. 34.274.800.000,-

b. Biaya Pengeluaran Sedimen Dari Waduk Dengan *Metode Dry Excavation*

Karena untuk metode ini harus dilakukan pengosongan air waduk, maka selain biaya penggalian dan pengangkutan sedimen dengan alat berat, harus dihitung kerugian energi listrik yang hilang.

1. Volume sedimen dalam waduk sebesar = 685.476 m<sup>3</sup>  
( Volume sedimen disamakan dengan hasil flushing )
2. Alat berat yang digunakan :  
Excavator, dumptruk, bechhoe ( 20 unit, kapasitas 5 m<sup>3</sup>, 40 trip perhari )  
Volume perhari = 20 \* 5 m<sup>3</sup> \* 40 = 4000 m<sup>3</sup>. Selesai dalam 171,37 hari  
Energi listrik perhari dihasilkan sebesar = 1.460.271 kWh  
( Referensi : Tesis Kajian Pola Operasi PLTA PB.Soedirman, Ir. Gatot .S )  
Energi listrik yang hilang =  
171,37 hr \* 1.460.271 kWh = 250.246.647 kWh  
Biaya Rp/kWh = Rp.600,-  
Jadi Biaya kehilangan energi listrik seluruhnya =  
250.246.647 kWh \* Rp.600,- = Rp. 150.147.987.904 ,-

#### 4.2.6. Faktor Penyebab Penggelontoran Sedimen Tidak Efisien

Dari analisa dan pembahasan dimuka dapat disimpulkan, bahwa pelaksanaan pengeluaran endapan sedimen di waduk PLTA PB. Soedirman tidak efisien. Beberapa faktor yang menyebabkan tidak efisiennya pelaksanaan pengeluaran sedimen dengan metode flushing tersebut, antara lain sebagai berikut :

1. PLTA P.B. Soedirman mulai beroperasi pada tahun 1988, penggelontoran endapan sedimen baru dilaksanakan pada tahun 1996. Volume sedimen inflow sebesar 4,19 juta m<sup>3</sup> pertahun, sampai tahun 2006 sedimen yang mengendap

dalam waduk sebesar 75,72 juta m<sup>3</sup> atau 51,06 % volume total waduk. Kinerja penggelontoran sedimen tidak dapat mengimbangi pesatnya laju sedimentasi didalam waduk. Kecepatan air penggelontor sedimen sebesar 0,0350 m/dt dalam waduk relatif kecil dan tidak mampu mengangkat endapan sedimen yang sudah padat dan membawa keluar dari dalam waduk.

2. Pada saat pelaksanaan penggelontoran sedimen, banyak volume air penggelontor sedimen terbuang sia-sia tanpa sedimen. Sehingga volume air yang digunakan untuk menggelontor sedimen sangat besar, sedangkan volume sedimen tergelontor sangat kecil. Hal ini ditunjukkan dari nilai konsentrasi sedimen rata-rata hanya sebesar 0,0571 atau 5,71 % dan nilai flushing efficiency sebesar 0,0175 atau 1,75 %.
3. Pelaksanaan penggelontoran sedimen pada bulan kering menunjukkan hasil volume sedimen tergelontor kecil dibandingkan pada saat bulan basah. Disamping ketersediaan air waduk yang terbatas dan kandungan sedimen relatif sedikit dibandingkan pada bulan basah. Yaitu bulan Nopember, Desember, Januari. Sebagai contoh flushing pada tanggal 17/07/1996 volume sedimen tergelontor sebesar 2.592 m<sup>3</sup>, sedangkan tanggal 07/12/2004 volume sedimen tergelontor sebesar 243.316 m<sup>3</sup>
4. Durasi penggelontoran sedimen tidak efisien karena, pada saat volume sedimen sudah berkurang banyak, flushing masih terus berjalan sehingga menyebabkan air waduk terbuang sia-sia.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

## 5.1. Kesimpulan

Dari penelitian Tingkat Efisiensi Penggelontoran Endapan Sedimen Di Waduk PLTA PB. Soedirman dapat disimpulkan bahwa penggelontoran Sedimen di waduk PLTA PB. Soedirman tidak efisien. Hasil analisa Flushing Efficiency dengan menggunakan beberapa metode menunjukkan nilai  $E = 0,017578$  atau 1,76 %.

Pola penggelontoran sedimen yang dilaksanakan saat ini, tidak memberikan hasil yang signifikan. Nilai konsentrasi sedimen menunjukkan nilai  $C = 0,0571$  atau 5,71 %, yang berarti bahwa volume sedimen yang dapat digelontor keluar dari dalam waduk sangat kecil dibandingkan dengan volume air yang digunakan. Disamping adanya pemakaian air yang tidak efisien, tidak sesuai dengan adanya batasan-batasan penggunaan air berdasarkan pola operasi waduk.

Kesimpulan dari penelitian Tingkat efisiensi Penggelontoran Sedimen Di Waduk PLTA PB. Soedirman secara detail adalah sebagai berikut :

a. Analisa statistik data penggelontoran sedimen

Pengaruh volume air terhadap volume sedimen tidak signifikan, dengan tingkat korelasi sebesar 19,24 %

Pengaruh Lama flushing ( t ) terhadap volume sedimen tidak signifikan, dengan tingkat korelasi sebesar 19,44 %

b. Konsentrasi Sedimen

Hasil perhitungan konsentrasi sedimen pada saat flushing, menunjukkan angka yang sangat kecil, yaitu konsentrasi sedimen rata-rata  $C = 0,0571$ .

c. Kecepatan Air Penggelontor Sedimen

Pengelontoran sedimen tidak efisien, karena hanya mampu menggelontor endapan sedimen didepan intake drawdown culvert, sedangkan endapan sedimen kearah hulu waduk tidak bisa tergelontor ( semakin menumpuk ).

Ketinggian muka air waduk maksimum (  $H = 51,01$  m ) yang menghasilkan kecepatan air maksimum (  $V = 31,62$  m/dt ), *tidak memberikan pengaruh signifikan* terhadap penggelontoran endapan sedimen di dalam waduk.

d. Flushing efisiensi

Hasil perhitungan flushing efficiency rata-rata dari beberapa metode, menunjukkan nilai kurang signifikan, yaitu  $E = 0,017578$ .

Pola penggelontoran endapan sedimen di Waduk PLTA PB.Soedirman yang paling cocok berdasarkan kepentingan operasi waduk dan hasil analisa pada penelitian ini, adalah :

- a. Penggelontoran sedimen ( flushing ) dilaksanakan pada bulan ke 2 ( Februari), ke.4 ( April ), ke.10 ( Nopember ) dan ke.12 ( Desember ) atau pada saat bulan basah ( kelebihan air ). Sehingga turbin tetap beroperasi maksimal dan kebutuhan air irigasi terpenuhi.
- b. Lama waktu penggelontoran sedimen ( T ) paling efektif untuk mendapatkan hasil sedimen adalah selama 15 menit. Namun agar supaya tidak banyak air waduk yang terbuang maka pada waktu pengambilan kedua yaitu pengambilan sample setelah 9 menit pertama sampai air dianggap jernih, harus dilakukan pengambilan sample yang lebih ketat. Karena pada proses pintu drawdown culvert ditutup penuh selama 9 menit terakhir, air terbuang tanpa sedimen tergelontor.
- c. Dengan melihat hasil analisa pada penelitian ini dan pengalaman penggelontoran sedimen yang sudah pernah dilakukan, maka penggelontoran sedimen harus tetap dilaksanakan. Agar supaya sedimen tidak menutup pintu power intake maupun pintu drawdown culvert, sehingga kepentingan operasional PLTA tidak terganggu. Dan berdasarkan analisa finansial, dilaksanakannya penggelontoran sedimen lebih murah dibandingkan dengan kerugian apabila tidak dilaksanakan penggelontoran sedimen ( berdasarkan analisa perhitungan finansial).

Berdasarkan hasil analisa finansial, biaya pelaksanaan penggelontoran sedimen tahun 1996 sampai dengan tahun 2006 sebesar :

- Apabila air yang digunakan untuk menggelontor sedimen digunakan untuk menghasilkan energi listrik, maka dapat menghasilkan sebesar 2.246.045 kWh.

- Dengan harga energi listrik Rp. 600,-/kWh, maka biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp. 1.347.627.273,-

Perhitungan kerugian apabila tidak dilaksanakan penggelontoran sedimen dalam kWh dan rupiah sebagai berikut :

- Kerugian apabila tidak dilaksanakan flushing dalam bentuk energi listrik adalah sebesar 10.311.714 kWh.
- Dengan harga energi listrik Rp. 600,-/kWh, maka kerugian dalam rupiah sebesar Rp. 6.187.028.437,-

Dengan membandingkan keuntungan dan kerugian apabila dilaksanakan atau tidak dilaksanakan penggelontoran sedimen, maka dapat disimpulkan melaksanakan penggelontoran sedimen lebih ekonomis daripada tidak melaksanakan penggelontoran sedimen

## **5.2. Saran**

Penelitian Tingkat Efisiensi Penggelontoran Sedimen Di Waduk PLTA. PB. Soedirman, menunjukkan pola dan hasil flushing yang tidak efisien. Maka untuk meningkatkan kinerja penggelontoran sedimen agar supaya lebih efisien untuk waktu yang akan datang, disarankan hal-hal sebagai berikut :

- a. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal penggelontoran sedimen sebaiknya dilaksanakan pada bulan ke 2 (Februari), ke.4 (April ), ke.10 ( Nopember ) dan ke.12 ( Desember) atau pada saat bulan basah (kelebihan air ). Sehingga turbin tetap beroperasi maksimal dan kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi.
- b. Lama waktu penggelontoran sedimen ( T ) paling efektif untuk mendapatkan hasil sedimen yang baik adalah selama 15 menit. Namun agar supaya tidak banyak air waduk yang terbuang maka pada waktu pengambilan kedua yaitu

pengambilan sample setelah 9 menit pertama sampai air dianggap jernih, harus dilakukan pengambilan sample yang lebih ketat. Karena pada proses pintu drawdown culvert ditutup penuh selama 9 menit terakhir, air terbuang tanpa sedimen tergelontor.

- c. Perlu dilakukan pengukuran dasar waduk sebelum dan setelah flushing, sehingga bisa diketahui dengan jelas perbedaan elevasi dasar waduk sebelum dan sesudah flushing. Karena data ini bisa digunakan untuk mengetahui perbedaan kapasitas waduk sebelum dan setelah penggelontoran untuk kepentingan operasional PLTA, maupun perhitungan umur waduk.
- d. Untuk kelangsungan operasional PLTA P.B. Soedirman perlu mendapat perhatian dan koordinasi dari semua pihak yang terkait, untuk lebih memperhatikan daerah catchment area. Yaitu masalah erosi akibat pola tanam maupun penanaman dari jenis tanaman yang hanya menguntungkan sepihak. Sebab PLTA P.B. Soedirman selain penyediaan energi listrik juga air irigasi untuk kelangsungan penyediaan bahan pangan.
- e. Dengan melihat data lapangan yang ada, perlu dilakukan pengukuran yang berhubungan dengan kebutuhan data elevasi waduk, elevasi sedimen, debit dan konsentrasi sedimen inflow, out flow, yang dilakukan juga di irrigation outlet, spillway, dan power intake, disamping kebutuhan data di drawdown culvert pada saat flushing.
- f. Perlu dilakukan kajian alternatif penggelontoran sedimen dengan metode lain, misalnya dengan metode Mechanical Excavation atau Dredging, dan pengaruh terhadap lingkungan pada saat membuang sedimen dan nilai ekonomisnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Andrew Chadwick and John Morfett. 1993, *Hydraulics in Civil and Environmental Engineering*.
2. A. Aris Munandar , 1979, *Teknik Tenaga Listrik*, PT. Pragna Paramita, Jakarta.



3. CV. Widha. Konsultan Teknik, 1988, *Penelitian Erosi Dan Sedimentasi DAS Serayu Proyek PLTA Mrica*, Semarang.
4. Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Dan PT. PLN (Persero) Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan. 1994, *Penelitian Sedimentasi Waduk PLTA P.B. Sudirman*.
5. Edy Susilo. 2001, *Kajian Efisiensi Tangkapan Sedimen Pada Beberapa Waduk Di Jawa*, Tesis S2 Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
6. E. Atkinson, 1996, *The Feasibility Of Flushing Sediment From Reservoir*, HR.Wallingford Group Ltd, Wallingford.
7. Gregory L. Morris and Jiahua Fan. 1997, *Reservoir Sedimentation Hand Book*, Mc Graw Hill, New York.
8. Gatot Sulisty, 2005, *Kajian Pola Operasi PLTA PB. Soedirman Dengan Mempertimbangkan Laju Sedimentasi*, Tesis S2 Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
9. Janat Pranowo. 2001, *Kajian Pola Distribusi Sedimentasi Waduk Pada Beberapa Waduk Di Jawa*, Tesis S2 Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
10. L.H.Longley Cook, 1970, *Statistical Problem And How To Solve Them*, Barnes & Noble, INC, New York.
11. PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah Dan D.I.Yogyakarta. 2006, *Laporan Manajemen Dan Kinerja Perusahaan*, Semarang
12. Pustlitbang Pengairan PU. 1995, *Bendungan Besar Indonesia*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum Departemen Umum, Jakarta.
13. Pustlitbang Pengairan PU. 1989, *Pengukuran Sedimentasi untuk Waduk Mrica*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
14. Program Pasca Sarjana Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada.1990, *Debit Muatan Sedimen Sungai*, Yogyakarta.
15. Program Pasca Sarjana Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada. 1990, *Kursus Hidrologi Air Permukaan*, Yogyakarta
16. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 2001, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.

17. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 2000, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
18. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 1999, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
19. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica.1998, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
20. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 1997, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
21. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica.1996, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
22. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 1995, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
23. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 1994, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
24. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica.1993, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
25. PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. 1992, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Sudirman* , Banjarnegara.
26. R.E. Featherstone and C.Nalluri. 1982, *Civil Engineering Hydraulic*.
27. Richard Stevens Burington, 1970, *Handbook Of Probability And Statistics With Tables*, McGraw-Hill Book Company, New York
28. Suripin. 2000, *Konservasi Tanah dan Air*, Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro , Semarang.
  
29. Suripin. 1999, *Penanganan Sedimentasi Waduk*, Jurnal Dan Pengembangan Keairan No.2, Laboratorium Pengaliran Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
30. Suripin. 1999, *Pengaruh Sedimentasi Waduk Terhadap Keberlanjutan Pembangunan*, Jurnal Dan Pengembangan Keairan No.1, Laboratorium Pngaliran Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.

31. Ven Te Chow, Suyatman, VFX. Kristanto Sugiharto Dan E.V. Nensi Rosalina 1985, *Hidrolika Saluran terbuka ( Open channel Hydraulics )*, Erlangga, Jakarta.