

**Pengaruh Sedimentasi Terhadap Kapasitas dan
Operasional Waduk: Studi Kasus Waduk Cacaban**
*(Sedimentation Influences the Capacity and
Operation Dam: Case Study Cacaban Dam)*

S. Imam Wahyudi

(Dosen Fakultas Teknik UNISSULA Semarang)

Abstrak

Sedimentasi berpengaruh terhadap operasional dan umur berfungsinya waduk. Kapasitas tampung waduk akan berkurang dengan adanya sedimentasi. Untuk mengetahui perkembangan sedimentasi perlu dilakukan penelitian. Metode penelitian yang digunakan yaitu membandingkan hasil pengukuran elevasi dasar waduk dengan alat Echosounding. Dari penelitian ini didapat laju sedimentasi di Waduk Cacaban antara tahun 1989 dan 2002 sebesar $4,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ atau rata-rata $4,68 \text{ cm}/\text{tahun}$. Dan Kapasitas waduk berkurang dari $57,23 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ menjadi $52,98 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Kata Kunci: Sedimentasi, Kapasitas, Waduk Cacaban, Echosounding, Operasional

Abstract

Sedimentation influences the operation and functional of a dam. A dam storage capacity decreases when sedimentation is in existence. A research is needed to know the development of sedimentation. A research method is used in Cacaban dam is comparing the result of base of the dam by using Echosounding apparatus. The result shows that the rate sedimentation in Cacaban dam between 1989 and 2002 is $4.25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per year or $4.68 \text{ cm}/\text{year}$. And Dam capacity decrease from $57.23 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ to $52.98 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Keywords : Sedimentation, Capacity, Cacaban Dam, Echosounding, Operational

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sedimentasi yang berlebihan bila terjadi di suatu waduk dapat mengurangi kapasitas dan fungsi waduk, sehingga mengakibatkan operasi dan pemeliharaan waduk menjadi lebih sulit dan mahal. Untuk itu perlu pemantauan dan tindakan antisipatif terhadap masalah sedimen. Diantara langkahnya adalah mengetahui tingkat sedimentasi

[Http://Jurnal.unimus.ac.id](http://Jurnal.unimus.ac.id)

khususnya di waduk-waduk secara periodik. Salah satu cara untuk mengetahui besarnya sedimen yang ada dapat dilakukan dengan pengukuran echosounding. Hasilnya kemudian digunakan untuk analisis laju sedimentasi.

Waduk Cacaban yang merupakan salah satu waduk pertama buatan Insinyur Indonesia juga mengalami masalah yang identik. Namun belum diketahui secara pasti laju sedimentasi yang terjadi dan kapasitas tampung yang dimiliki. Banyaknya sedimen di waduk tersebut menyebabkan waduk semakin dangkal yang pada gilirannya akan mengurangi kapasitas yang dapat ditampungnya. Berkurangnya tampungan air ini akan mempengaruhi berfungsinya waduk khususnya dalam penyediaan air baik untuk irigasi, pembangkit listrik, air baku, pengendalian banjir dan lain sebagainya. Karena perubahan ini maka operasional waduk yang akan terganggu, sehingga perlu adanya penyesuaian dengan kondisi yang ada saat ini. Untukantisipasi besarnya laju sedimentasi dan penyesuaian operasional waduk berdasar atas kapasitasnya, maka diperlukan evaluasi terhadap sedimen dan kapasitas tampung waduk.

Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut.

- a. Mengukur elevasi dasar dan luasan waduk.
- b. Menganalisis tingkat sedimentasi.
- c. Menganalisis kapasitas tampung waduk.

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menyusun pedoman operasi dan optimalisasi fungsi waduk.

LOKASI STUDI

Waduk Cacaban berada di wilayah administrasi Kecamatan Kedungbanteng, Kabupaten Tegal. Lokasi Waduk Cacaban yang terletak di Sungai Cacaban berada di sebelah selatan Kota Tegal yang jaraknya lebih kurang 23 km atau sekitar 11 km di sebelah timur Kota Slawi.

Pengelolaan Waduk Cacaban berada di wilayah kerja Balai Pengembangan Sumber Daya Air Pemali Comal, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Jawa Tengah.

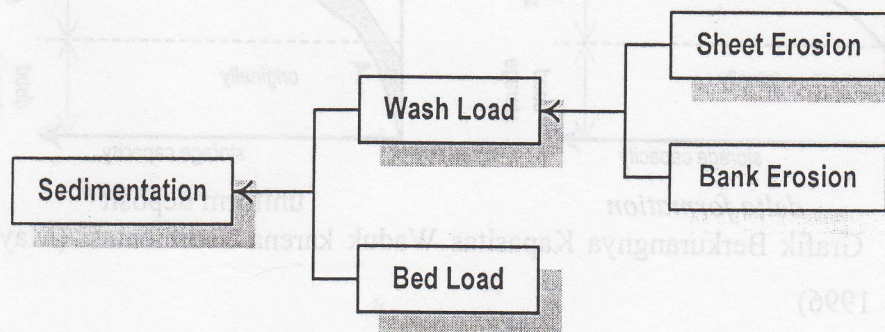
TINJAUAN PUSTAKA

Sedimentasi

Definisi sedimentasi adalah menumpuknya bahan sedimen di suatu lokasi akibat terjadinya erosi baik erosi permukaan maupun erosi tebing yang terjadi di daerah tangkapan air dan terbawa oleh aliran air sampai ke lokasi tersebut (Loebis et al., 1993). Eksploitasi lahan secara besar-besaran yang dilakukan di daerah tangkapan air dan mengabaikan aspek konservasi lahan dapat merupakan penyebab terjadinya erosi tanah yang menjadi sumber bahan sedimen yang akhirnya akan terbawa oleh aliran air sampai di suatu lokasi dimana terjadi sedimentasi. Berbagai faktor yang menjadi penyebab terjadinya sedimentasi menurut Suripin (2000) diantaranya adalah :

- a. Kondisi Curah Hujan
- b. Kondisi Geologi
- c. Kondisi Penutup Lahan
- d. Kondisi Tata Guna Lahan
- e. Kondisi Topografi
- f. Kondisi Jaringan Pematusan Alam

Sedimen yang terbawa oleh aliran air secara umum terdiri dari dua model "*wash load*" yang berasal dari daerah aliran sungai (DAS) dan "*bed load*" yang berasal dari alur dasar sungai. *Wash load* dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu yang berasal dari erosi permukaan (*sheet erosion*) dan yang berasal dari erosi pada dinding alur sungai (*bank erosion*) seperti yang tergambar pada Gambar 1.

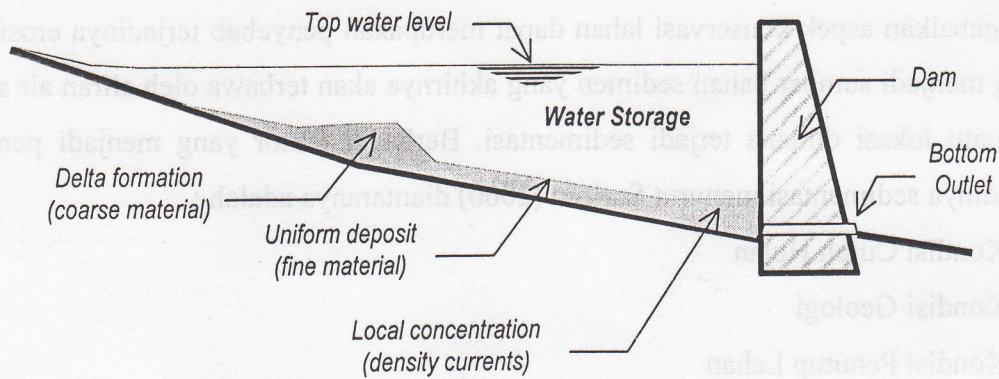


Gambar 1 Skema Asal Sedimentasi

(Sumber : Jansen et al., 1979)

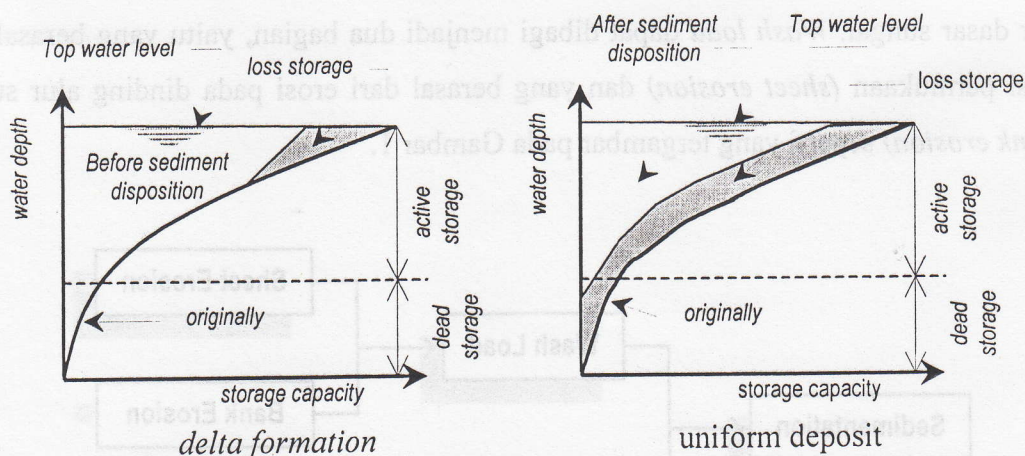
Kapasitas Waduk

Kapasitas total waduk saat direncanakan berdasar perhitungan volume tampungan air tanpa adanya sedimentasi. Seiring berjalannya waktu pengoperasian waduk, terjadi sedimentasi di areal genangan sehingga menyebabkan berkurangnya kapasitas tampungan. Deskripsi berkurangnya kapasitas waduk ditunjukkan dalam Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Deskripsi Berkurangnya Kapasitas Waduk karena Sedimentasi (Mays et al., 1992)

Bila dijelaskan dalam bentuk grafik, maka dapat digambarkan dibawah ini (gambar 3).

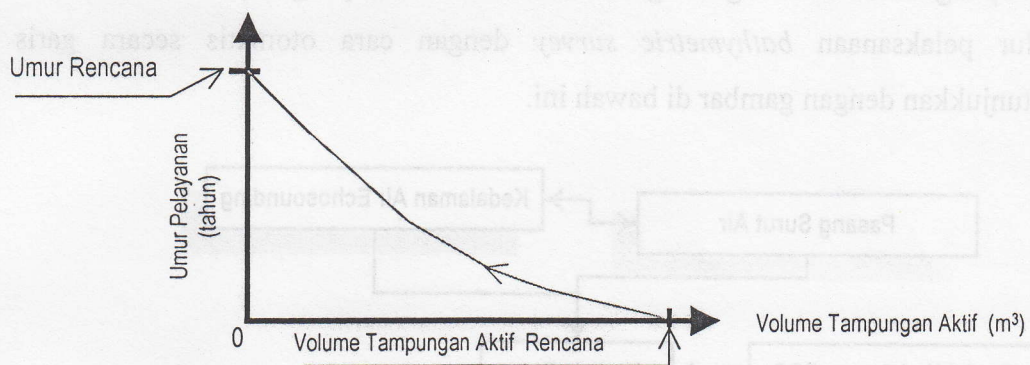


Gambar 3 Grafik Berkurangnya Kapasitas Waduk karena Sedimentasi (Mays et al., 1996)

Menurut Kasiro et al., 1997, kapasitas waduk secara umum dibedakan menjadi tiga yaitu :

- Kapasitas Mati (*Dead Storage*)
- Kapasitas pelayanan (*Active Storage*)
- Kapasitas total

Umur pelayanan waduk merupakan fungsi dari volume tampungan aktif (Ilyas et al., 1991). Semakin menyusut volume tampungan aktif menandakan semakin pendek umur pelayanan waduk. Penyusutan volume tampungan aktif lebih banyak disebabkan karena bertambahnya volume sedimen yang masuk ke dalam waduk. Hubungan antara umur pelayanan dengan volume tampungan aktif dalam m^3 dapat digambarkan sebagai Gambar 4. Pada awal umur pelayanan diperoleh volume tampungan aktif rencana, saat tampungan aktif 0 didapat umur rencana waduk.



Gambar 4 Hubungan antara Umur Pelayanan dan Volume Tampungan Aktif

METODE PENELITIAN

Data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data sekunder yang dikumpulkan diantaranya data waduk saat pembangunan, data pengukuran sedimen sebelumnya dan data curah hujan. Sedang data primer merupakan hasil pengukuran sedimen dengan metode *Echosounding*. Berikut akan disampaikan bahan dan alat yang digunakan, tahapan pengukuran dan metode analisisnya.

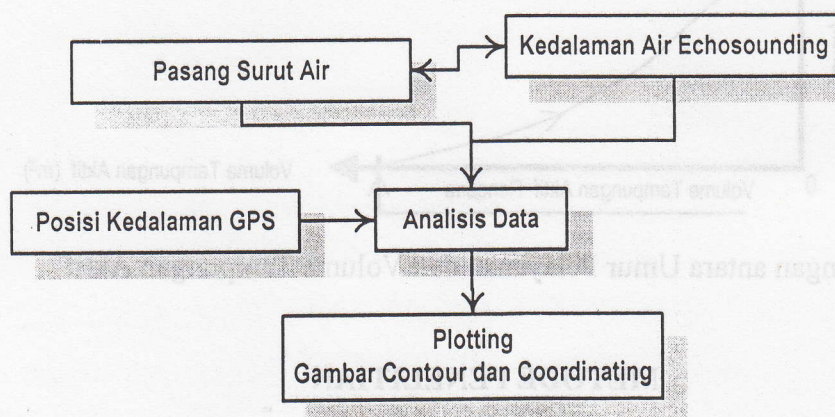
Bahan dan Alat yang Digunakan

- ▲ 1 unit Echosounder Raytheon
- ▲ 1 unit GPS
- ▲ 3 unit Handy Talky
- ▲ 1 unit Speed Boat Sounding
- ▲ 1 unit Compass lapangan
- ▲ Alat Bantu lainnya

Tahapan Pengukuran

Pengukuran sedimentasi pada waduk dapat dilakukan dengan cara mengadakan pengukuran kedalaman genangan air waduk. Pengukuran kedalaman genangan air (*bathymetric survey*) dimaksudkan untuk mendapatkan kedalaman air pada suatu titik, sehingga elevasi dasar waduk di suatu titik dapat dihitung dari elevasi muka air pada saat pengukuran dikurangi dengan kedalaman air hasil pengukuran.

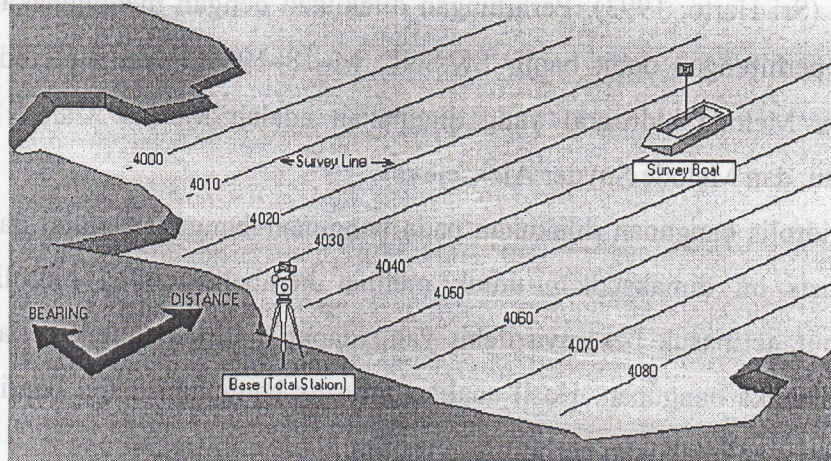
Alur pelaksanaan *bathymetric survey* dengan cara otomatis secara garis besar ditunjukkan dengan gambar di bawah ini.



Gambar 5 Bagan Alir Survei Bathymetri

Hasil pengukuran kedalaman air dan perhitungan elevasi dasar waduk dapat digambarkan topografi dasar waduk yang baru. Dari peta topografi dasar waduk yang baru ini dan peta topografi dasar waduk yang lama dapat dianalisis jumlah sedimen yang ada di waduk atau yang masuk ke waduk selama periode waktu selang pengukuran yang dilakukan.

Pelaksanaan pengukuran kedalaman waduk ini dilakukan dengan interval layer 50 m. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Echosounder model Raytheon DE 719-CM, dilengkapi kabel perekam kedalaman (Transducer) dengan frekuensi 200 Hz, yang dipasang di sisi kanan atau kiri speed boat sounding.



Gambar 6 Jalur Pengukuran Bathimetri

Metode Analisis

Aspek–aspek yang ditinjau dan dianalisis adalah sebagai berikut.

a. Aspek Sedimentasi

1. Perhitungan Volume Sedimen

Perhitungan volume sedimen didasarkan pada peta kontur hasil pengukuran (peta situasi, potongan memanjang dan potongan melintang).

2. Perhitungan Laju Sedimentasi

Perhitungan laju sedimentasi (kecepatan sedimentasi) di dalam waduk dihitung berdasarkan hasil–hasil pengukuran sedimen yang sudah dilaksanakan. Berdasar hasil perhitungan ini didapatkan rata–rata volume sedimentasi per tahun.

b. Aspek Umur Pelayanan Waduk

Analisis umur pelayanan waduk didahului dengan perhitungan volume tampungan air yang ada. Hasil perhitungan volume tampungan air yang ada dan laju sedimentasi dapat dibuat prediksi umur pelayanan waduk sesuai dengan kondisi waduk saat ini.

c. Aspek Hidrologi dan Hidrolis Bangunan

Analisis hidrologi dimaksudkan untuk mendapatkan debit banjir rencana. Debit banjir rencana dihitung dengan menggunakan data curah hujan dan *catchment area*. (Sri Harto, 1993). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan standar metode perhitungan debit banjir SK.SNI M-18-1989 F yaitu metode hidrograf satuan. Metode hidrograf yang digunakan adalah Metode Gama I, Metode Nakayasu, dan Metode Snyder Aleksejev.

Analisis hidrolis bangunan dilakukan pada bangunan-bangunan outlet dan pelimpah. Analisis ini dimaksudkan untuk melihat kembali kondisi hidrolis bangunan tersebut, termasuk besarnya debit yang dapat dialirkan untuk setiap ketinggian air di muka bangunan. Hasil analisis hidrolis bangunan, debit banjir, dan volume tampungan dilakukan perhitungan routing.

d. Aspek Operasi Waduk

Berdasar hasil penggambaran pengukuran echosounding, evaluasi operasi, analisis volume waduk, analisis hidrologi dan hidrolisnya, disusun penyusunan Pedoman Operasi Waduk. Parameter penting dalam penyusunan Pedoman Operasi Waduk adalah ketersediaan air dan kebutuhan air (Soewarno, 2000 & Roestam S., 2003).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disampaikan hasil dan pembahasan sesuai dengan aspek-aspek yang ditinjau.

Sedimentasi

1. Volume Sedimen

Perhitungan volume sedimen didasarkan pada peta kontur hasil pengukuran echosounding.

Tahun	Elevasi Dasar	Spillway	Luas Genangan	Kapasitas Waduk	Sedimentasi Volume	Laju Sedimen	
	m					m	Debit
			Ha	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3/th$	m/th
1958	42,50	77,50	928,70	90,00	-	-	
1989	58,00	77,50	753,23	57,23	32,77	1,057	0,1403
2002	58,00	77,50	698,50	52,98	4,25	0,327	0,0468

Apabila tahun 1958 volume waduk belum terisi sedimen volume ± 90 juta m^3 , hasil pengukuran DPMA tahun 1989 menunjukkan bahwa volume waduk menjadi $\pm 57,2$ juta m^3 , sehingga selama kurun waktu 1958–1989 sedimen menumpuk $\pm 32,7$ juta m^3 .

Hasil pengukuran echosounding tahun 2002, volume waduk $\pm 52,9$ juta m^3 , sehingga selama kurun waktu 1989–2002, terjadi penumpukan sedimen $\pm 4,2$ juta m^3 .

2. Perhitungan Laju Sedimentasi

Perhitungan laju sedimentasi (kecepatan sedimentasi) di dalam waduk dihitung berdasarkan hasil–hasil pengukuran sedimen yang sudah dilaksanakan. Hasil perhitungan ini didapatkan rata–rata volume sedimentasi per tahun.

Melihat hasil perbandingan volume sedimen tahun 1958–1989, menunjukkan laju sedimentasi $\pm 1.057.189,14$ m^3 /tahun atau $0,1403$ m/tahun, sementara perbandingan volume sedimen tahun 1989–2002, menunjukkan laju sedimentasi $\pm 4.250.000$ m^3 /tahun atau $0,0468$ m/tahun.

Kapasitas Waduk

Kapasitas waduk dihitung berdasarkan kedalaman rata–rata yang didapat dari hasil pengukuran echosounding dan luas genangan dengan elevasi permukaan merupakan ketinggian spillway. Perkembangan kapasitas waduk tertera dalam Tabel 2.

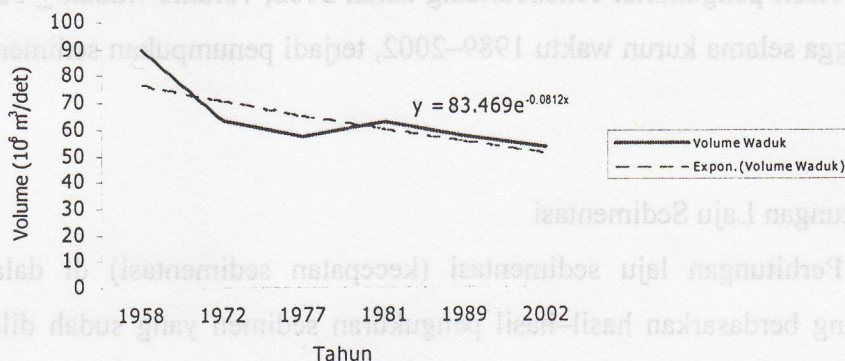
Tabel 2 Volume dan Laju Sedimentasi

Tahun	Elevasi Dasar	Spillway	Luas Genangan	Kapasitas Waduk
	m	m	ha	$10^6 m^3$
1958	42,50	77,50	928,70	90,00
1972	56,00	77,50	928,70	63,00
1977	57,00	77,50	928,70	57,00
1981	57,80	77,50	928,70	62,69
1989	58,00	77,50	753,23	57,23
2002	58,00	77,50	698,50	52,98

a. Analisis Umur Pelayanan Waduk

Berdasar hasil perhitungan sedimentasi dan kapasitas waduk, dapat digambarkan hubungan antara kapasitas waduk dalam fungsi waktu pada Gambar

10.



Gambar 10 Perkembangan Kapasitas Waduk dalam fungsi waktu

Berdasarkan gambar 10 dianalisis secara laju kapasitas tampung waduk dapat dibuat persamaan

$$y = 83,469 e^{-0,0812 \cdot x} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- x = waktu (tahun)
- y = volume (10⁶ m³/det)
- e = bilangan alam (2,718718)

Dengan menggunakan rumus 2 di atas, dapat diprediksi umur pelayanan waduk sesuai dengan kondisi waduk saat ini. Perkiraan selama 20 tahun hingga tahun 2022, volume waduk diperkirakan tinggal ± 22,12 juta m³.

b. Analisis Hidrologi

Data hidrologi dan klimatologi ditentukan berdasarkan luas Daerah Aliran Sungai Waduk Cacaban yang dipengaruhi oleh beberapa stasiun hujan. Stasiun hujan berpengaruh antara lain stasiun hujan Jatinegara, stasiun hujan Gegerbuntu, dan stasiun Ciperu. Data yang digunakan adalah data hujan selama 21 tahun, mulai dari tahun 1981 hingga 2001. Data klimatologi ditentukan dari stasiun meteorologi Ciperu selama 11 tahun, mulai tahun 1990 hingga 2001.

Hasil perhitungan debit banjir untuk masing-masing metode hidrograf tertera pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Penelusuran Banjir Waduk Cacaban

Periode Banjir	Inflow	Outflow	Elevasi Maximum
Metode GAMA I			
2	267,59	216,24	76,57
5	304,09	247,05	76,70
10	339,10	278,83	76,83
20	384,42	319,76	76,99
50	418,38	350,80	77,11
100	452,22	381,11	77,22
200	530,60	451,38	77,46

Hasil penelusuran banjir menunjukkan bahwa tidak terjadi limpasan yang melampaui spillway.

Operasi Waduk

Evaluasi Operasi waduk yang dilakukan didasarkan pada Pedoman Operasi yang ada dan pelaksanaannya di lapangan serta kesesuaiannya dengan kondisi yang ada saat ini. Pedoman operasi waduk dibuat berdasar atas ketersediaan dan kebutuhan air. Ketersediaan air bergantung dari kapasitas waduk hasil penelitian ini. Sedangkan kebutuhan air didasarkan pada penggunaan untuk irigasi dan air minum.

Operasi dimulai dari Bulan Oktober periode I dengan merealisasikan pengeluaran debit sebesar 2,38 m³/det, hingga Bulan September periode II dengan merealisasikan pengeluaran debit sebesar 14,69 m³/det. Secara keseluruhan jumlah inflow yang masuk dalam satu tahun 25.699.825 m³, sementara kebutuhan air mencapai 31.434.526 m³. Lengkapnya dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Pola Operasi Waduk Cacaban

Periode Operasi Waduk	Konsumsi Air Baku m ³ /det	Konsumsi Air Irigasi m ³ /det
Oktober I	0,40	0,27
Oktober II	0,28	0,14
November I	0,28	0,14
November II	0,96	0,83
Desember I	1,76	1,62
Desember II	9,24	9,10

Periode Operasi Waduk	Konsumsi Air Baku m ³ /det	Konsumsi Air Irigasi m ³ /det
Januari I	7,27	7,13
Januari II	3,50	3,36
Februari I	2,93	2,79
Februari II	2,64	2,50
Mei I	1,95	1,82
Mei II	2,67	2,53
Juni I	2,22	2,09
Juni II	2,51	2,38
Juli I	2,13	1,99
Juli II	3,53	3,39
Agustus I	3,45	3,31
Agustus II	3,13	2,99
September I	2,53	2,39
September II	2,73	2,59

Kesimpulan

- Berdasar pengukuran tahun 1989 laju sedimentasi tahun 1958 – 1989 yaitu $\pm 1.057.189,14 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Berdasar pengukuran tahun 2002, tahun terakhir sebesar $\pm 4.250.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$ atau $0,0468 \text{ m}/\text{tahun}$.
- Semula kapasitas tampung waduk 90 juta m^3 , Berdasar pengukuran tahun 1989 kapasitas tampung waduk $57,23 \text{ juta m}^3$, kemudian berdasar pengukuran 2002, kapasitasnya menjadi $52,98 \text{ m}^3$.
- Berdasar analisis regresi didapat laju penurunan kapasitas waduk adalah $y = 83,469 e^{-0,0812 \cdot x}$ dimana $x = \text{tahun}$
- Secara Operasional, inflow pada Waduk Cacaban mencapai $\pm 25.699.825 \text{ m}^3/\text{tahun}$, sementara outflow mencapai $\pm 31.434.526 \text{ m}^3/\text{tahun}$ sehingga kekurangan pasokan air $\pm 5.734.701 \text{ m}^3$. Dengan Irigasi memerlukan $\pm 17.537.411 \text{ m}^3$, maka perlu optimalisasi untuk penggunaan yang lain.

Rekomendasi

- Untuk mengurangi laju sedimentasi waduk diperlukan perbaikan hidrologi di DAS nya. Hal ini dapat menyimpan air penghujan dan menjadi inflow di saat musim kemarau.

- Daerah Irigasi yang mendapat suplai air dari Waduk Cacaban memerlukan alternatif pengganti untuk mendapatkan suplai air. Bentuk alternatif tersebut dapat berupa embung atau waduk lapangan. Lokasi alternatif penyediaan air dipertimbangkan pada elevasi yang memungkinkan untuk menggunakan gravitasi untuk mengalirkan air, sekaligus berfungsi optimal sebagai air baku, pelayanan publik, pengendalian banjir, dan pariwisata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beliau yang telah memberikan banyak informasi dan kajian pada penelitian ini :

1. Kepala Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Propinsi Jawa Tengah.
2. Kepala Balai PSDA Pemali Comal.
3. Kepala Sub Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Tegal.
4. Kepala Sub Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Brebes.

Dan beberapa rekan di Lembaga Penelitian (Lemlit) dan Fakultas Teknik Unissula Semarang yang mendukung selesainya studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- DPMA, 1989, **SSARR Model Penelitian Extension Discharge Regulation Waduk Cacaban**, Direktorat Penyelidikan Masalah Air, Dir.Jend. Pengairan, Dept. PU, Jakarta.
- Harto, Sri, Br, 1993, **Analisis Hidrologi**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ilyas, Mohamad Arief – Mashudi, 1991, **Salah Satu Cara Teknik Simulasi Pengoperasian Reservoir**, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VIII, Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia, Jakarta, 9 – 11 Oktober 1991
- Jansen, et.al., 1979, **River Engineering**, Prentince Hall, London.
- Kasiro, Ibnu – Adidharma, Wanny – Rusli, Bhre Susantini – Nugroho, CL – Sunarto, 1997, **Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia**, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Loebis, Joesron, Soewarno, dan Supriyadi, 1993, **Hidrologi Sungai**, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Mays, Larry, W, dan Tung, Yeou Koung, 1992, **Hydrosystems Engineering and Management**, Mc Graw Hill, New York.

Mays, Larry, W, editor in chief, 1996, **Water Resources Handbook**, Mc Graw Hill, Singapore.

Pamungkas, Hening Kyat – Utama, Tri Budi, Penasehat Sudjarwadi, 1992, **Studi Keandalan Embung**, Yayasan Arcina, Yogyakarta.

Roestam Sjarief, 2003, **Pedoman Operasional dan Pemeliharaan: Pengelolaan Operasional dan Pemeliharaan**, Dirjen SDA, Depkimpraswil.

Soemarto, CD, 1995, **Hidrologi Teknik**, Edisi 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Soewarno, 2000, **Hidrologi Operasional**, Jilid 1, Penerbit PT. Citra Aditya Bakti, Bandung.

Suripin, 2000, **Konservasi Tanah dan Air**, Universitas Diponegoro, Semarang.

Wilson, E.M, 1993, **Hidrologi Teknik**, Edisi 4, Penerjemah Purbo Hadiwidjoyo, Penerbit ITB, Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

DPM, 1989, **SSARR Model Penelitian Extension Discharge Regulation Waduk**, Laporan Penelitian, Direktorat Penyelidikan Masalah Air, Direktorat Pengairan, Dept. PU, Jakarta.

Harto, Sri, Br, 1993, **Analisis Hidrologi**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Ilyas, Mohamed Arif – Mashudi, 1991, **Salah Satu Cara Teknik Simulasi Pengoperasian Reservoir**, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VIII, Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia, Jakarta, 9 – 11 Oktober 1991.

Jansen, et al., 1979, **River Engineering**, Prentice Hall, London.

Kasiro, Ibnu – Adidharma, Wanny – Rusli, Brte Susantini – Nugroho, CI – Sunarto, 1997, **Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia**, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Loebis, Joeston, Soewarno, dan Supriyadi, 1993, **Hidrologi Sungai**, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.