

PREDIKSI UMUR WADUK PANGLIMA BESAR JENDRAL SUDIRMAN BERDASAKAN HASIL PENGUKURAN ECHO-SOUNDING

Darmono

Staf Pengajar Fakultas Teknik UNY

ABSTRACT

The echo sounding measurement is a method that can be used to know the change of dam volume directly on the field. This research aims to: (1) know the rest of the economic age of the Panglima Besar Jendral Sudirman (PBJs) Dam based on measurement and calculation using the echo sounding data, and (2) give more detail view of the changes of the PBJs Dam condition viewed from sedimentation problem.

The research activities were conducted in the PBJs Dam located on Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. The research utilized secondary data collected using documentation technique, consists of: (1) sediment volume/year, (2) dam effective volume, (3) dam volume, and (4) total sediment volume year/year. The data were analyzed using the best mathematic curve interpretation supported by the Microsoft Excel software. The best mathematic curve is indicated by the variance (R^2) value or the highest correlation coefficient (R) value from the various existing trend curve alternatives.

The research results show that based on various mathematic curves being used, since 1999 the rest of operation age of the PBJs Dam lies between 17.37 to 20.71 years. This conclusion is a simple prediction without considering the future erosion control changes. The rest of the dam operation age assumes that the natural condition especially the sedimentation rate occurring in the dam does not change significantly compared to what happened on the previous years and it is not affected by the existing sand mining on the upstream of the dam.

Keywords: dam age, echo sounding

PENDAHULUAN

Sebagaimana tertuang dalam "Rencana Pembangunan Pengairan Jangka Panjang (Tahun 2000)", untuk menunjang pelaksanaan pembangunan maka salah satu kebijaksanaannya adalah meningkatkan pembangunan waduk-waduk (Soewarno, 1993). Pembangunan waduk disamping akan meningkatkan mutu dan pelayanan pemberian air irigasi, juga dapat mendukung dan menunjang pertumbuhan industri. Hal ini dikarenakan waduk dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga

listik yang sangat diperlukan dalam proses produksi di setiap industri, disamping manfaat lainnya yaitu sebagai pengendali banjir, perikanan, dan untuk wisata air.

Waduk yang mempunyai fungsi ganda (*multi purpose*) tersebut dalam pengelolaannya sering kali menghadapi masalah, khususnya yang terkait erat dengan sedimentasi. Seperti yang dikatakan oleh Sudjarwadi (1995: 199), yang mengatakan bahwa waduk di daerah tropika basah mempunyai persoalan sedimentasi yang cukup cepat. Sedimen yang berasal dari Daerah Aliran Sungai

(DAS) yang masuk ke alur sungai selanjutnya mengalir ke waduk. Volume sedimen yang masuk ke dalam waduk dipengaruhi oleh berbagai faktor, meliputi: (1) musim, dalam hal ini musim hujan dan limpasan permukaan, (2) tumbuh-tumbuhan (vegetasi), (3) geologi dan sifat tanah permukaan, (4) kemiringan tanah, (5) kemiringan alur sungai, dan (6) tata guna lahan.

Di Indonesia telah banyak dilaksanakan pembangunan waduk, seperti: Waduk Jatiluhur (1963), Selorejo (1970), Karangates (1972), Wonogiri atau Gajah Mungkur (1981), Saguling (1984), Cirata (1987), Panglima Besar Jendral Sudirman (PBJS) atau sering dikenal dengan sebutan Waduk Mrica (1988), Kedung Ombo (1989), dan Sermo (1996). Setiap pembangunan waduk seperti waduk-waduk yang telah disebutkan di atas selalu diperhitungkan berapa lama waduk tersebut dapat beroperasi. Penentuan masa operasi waduk didasarkan pada berbagai faktor yang terkait, seperti: (1) besar angkutan sedimen (suspended dan bed load) di alur sungai, (2) nilai erosi DAS, (3) nilai trap efisiensi waduk, dan (4) data fisik waduk (Kironoto, 1999: II-2 – II-3).

Berbagai penelitian yang erat kaitannya dengan masalah sedimentasi waduk yang salah satunya Waduk PBJS telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan lokasi, tinjauan, dan masalah yang berbeda-beda. Hasil dari berbagai penelitian yang menfokuskan pada tinjauan umur ekonomis waduk, hasilnya kebanyakan berbeda secara signifikan dengan umur rencana waduk yang bersangkutan.

Untuk mengetahui laju sedimentasi yang pada akhirnya digunakan sebagai evaluasi sisa umur ekonomis waduk, salah satu metode yang dapat ditempuh adalah melakukan pengukuran *echo sounding*. Prediksi laju sedimentasi

Waduk PBJS berdasar data *echo sounding* selama enam tahun pengukuran hasilnya kurang memuaskan (PT PLN Persero, 1994). Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud memprediksi sisa umur ekonomis Waduk PBJS setelah waduk tersebut beroperasi selama 11 tahun.

Pengukuran dengan *echo sounding* adalah merupakan metode yang dapat dipakai untuk mengetahui sisa umur ekonomis waduk secara langsung di lapangan. Oleh karena itu, masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut "Berapa sisa umur ekonomis Waduk PBJS berdasarkan data pengukuran dan perhitungan *echo-sounding* tersebut?". Tujuan penelitian ini yaitu untuk: (1) Mengetahui sisa umur ekonomis Waduk PBJS berdasar data hasil pengukuran dan perhitungan *echo.sounding*, dan (2) Memberikan gambaran yang lebih terperinci mengenai perubahan kondisi Waduk PBJS yang ditinjau dari masalah sedimentasi yang terjadi.

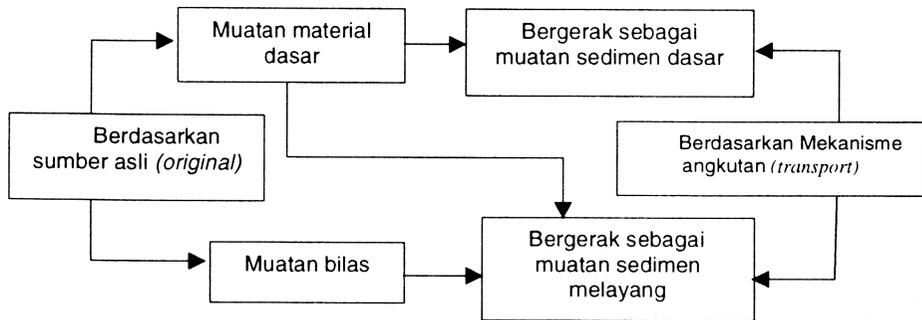
Hasil penelitian ini akan memberikan manfaat kepada pengelola waduk khususnya pihak PT PLN Pembangkitan Jawa-Bali I (PJB I) Sektor Mrica dalam usaha mengatasi masalah sedimentasi yang terjadi di waduk yang bersangkutan. Usaha ini dapat ditempuh dengan cara pengelolaan dan usaha konservasi lahan dan daerah di sekitar waduk sehingga umur waduk dapat dipertahankan seperti yang direncanakan. Manfaat yang lebih luas yaitu kepada masyarakat yang memanfaatkan listrik yang diproduksi dari PLTA waduk yang bersangkutan akan dapat berumur lebih panjang.

Sumber Sedimentasi Waduk

Sedimen yang mengendap di dasar waduk berasal dari erosi lahan yang kemudian masuk ke alur sungai yang

akhirnya menuju ke waduk yang bersangkutan. Sedimen di alur sungai dapat diklasifikasikan berdasarkan asal dan mekanismenya. Berdasarkan asalnya, sedimen dibedakan sebagai angkutan material dasar dan wash load, sedangkan menurut mekanismenya sedimen dapat dibagi menjadi muatan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*) (Anonim, 1994). Selanjutnya secara skematis Soewarno (1991) menggambarkan angkutan sedimen tersebut sebagai berikut:

kasar ini akan terendapkan di bagian hulu waduk sehingga membentuk delta. Per-samaan dasar yang telah dikembangkan untuk menghitung laju *bed load* antara lain telah dikemukakan oleh Meyer-Peter-Muller (1934), Frijlink (1952), Einstein (1950), dan Suzka dan Graf (Anonim, 1994). Hasil penelitian sedimentasi waduk, pengaruh partikel dasar terhadap usia waduk biasanya relatif kecil bila dibandingkan dengan pengaruh sedimen suspensi yang mengendap (Anonim, 1994). Oleh karenanya, muatan dasar



Gambar 1 Skema Angkutan Sedimen di Alur Sungai

Suspended load yang terdiri dari butiran halus dapat dipandang sebagai material dasar sungai (*bed load*) yang melayang di dalam aliran. Pada sebagian alur sungai, *suspended load* dapat dianggap tetap konsentrasinya apabila panjang alur sungai relatif pendek. Akan tetapi, pada seluruh alur sungai konsentrasi *suspended load* sangat bervariasi. Oleh karena itu, dalam kaitannya dengan masalah sedimentasi yang terjadi di dalam waduk informasi konsentrasi sedimen suspensi sebaiknya diperoleh pada lokasi yang letaknya tidak jauh dari waduk.

Sedimen dasar yang bergerak di sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut *bed load*. Partikel

yang mengendap jarang ditentukan dengan perhitungan berdasarkan rumus-rumus muatan dasar yang ada di literatur, melainkan berdasarkan persentase dari hasil prediksi volume sedimen suspensi yang masuk ke dalam waduk.

Daerah Aliran Sungai Waduk PLTA PBJS

Tujuan utama pembangunan Proyek PLTA PBJS adalah untuk membangkitkan tenaga listrik murah sebesar 580.000 MWH per tahun yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Jawa, khususnya wilayah Jawa Tengah.

Proyek PLTA PBJS terletak di DAS Serayu Hulu, dengan luas DAS kurang

lebih 1.022 km² atau sekitar 32% dari seluruh luas DAS Serayu Hulu. Waduk PBJS mulai dibangun pada tahun 1983 dan mulai beroperasi pada Bulan April 1988. Luas genangan pada elevasi +231,0 meter (operasi penuh) mencapai sekitar 1.200 hektar dengan volume genangan 141.247.000 m³.

DAS Serayu Waduk PBJS dibatasi oleh rangkaian pegunungan dengan puncak-puncaknya sebagai berikut:

- di sebelah utara, antara lain: Gunung Butak (2222 m), Gunung Kerdeng (2018 m), Gunung Brama (1848 m), Gunung Prahau (2565 m), dan Gunung Malang (1990 m),
- di sebelah selatan, antara lain: Gunung Midangan (1042 m), Gunung Jenggot (812 m), Gunung Besek (693 m), Gunung Sigelap (691 m), dan Gunung Jambu (821 m),
- di sebelah timur, antara lain: Gunung Kendil (1885 m), Gunung Sindoro (3152 m), dan Gunung Sumbing (3760 m), dan
- di sebelah barat, antara lain: Gunung Merdeka (1174 m), Gunung Limbung (811 m), dan Gunung Limerak (554 m).

Metode Perhitungan Laju Sedimentasi Waduk

Waduk yang dibangun pada suatu alur sungai berfungsi sebagai sarana penampung air yang mempunyai banyak manfaat, meliputi: (1) penyediaan air irigasi, (2) industri, (3) pembangkit tenaga listrik, (4) pengendali banjir, (5) perikanan, dan (6) sebagai obyek wisata air. Masuknya air dari sungai ke waduk yang membawa sedimen merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindarkan sehingga menyebabkan terjadinya sedimentasi (pendangkalan) waduk.

Akumulasi sedimen yang masuk ke dalam waduk akan menyebabkan berkurangnya kapasitas waduk secara bertahap, akibatnya fungsi waduk sebagai sarana penampungan air lambat laun akan menjadi berkurang kapasitasnya. Untuk memprediksi akumulasi sedimen yang masuk ke dalam waduk dapat dilakukan pengukuran dengan metode *echo-sounding*. Metode *echo-sounding* pada dasarnya adalah mengukur perubahan elevasi dasar waduk, sehingga dapat diketahui perubahan laju sedimen yang mengendap di waduk tersebut. Selain dengan metode *echo-sounding*, Soewarno (1991: 766) mengemukakan dua metode lain yang dapat digunakan untuk memprediksi laju sedimentasi suatu waduk, yaitu: (1) menghitung volume sedimen tahunan yang masuk, dan (2) menghitung pengurangan kapasitas waduk. Prakiraan akumulasi volume sedimen tahunan dapat dilakukan dengan metode: (1) empiris, dan (2) *inflow-outflow*.

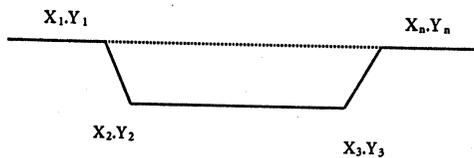
Pengukuran volume waduk dengan metode *Echo Sounding*

Salah satu cara untuk mengetahui besarnya sedimen total yang mengendap di dalam waduk yaitu dengan cara membandingkan kapasitas waduk yang diukur pada dua waktu yang berlainan. Pengukuran kapasitas waduk ini dapat dilakukan secara langsung yaitu dengan metode *echo sounding*. Volume sedimen yang mengendap setiap tahunnya dihitung berdasarkan data kenaikan dasar waduk.

Prosedur pengukurannya dilakukan dengan metode kontur (*contour method*) atau metode jalur (*range method*). Pemilihan metode ini tergantung dari kuantitas dan distribusi sedimen yang mengendap di waduk, ketersediaan peta

dasar, tujuan survei, dan tingkat ketelitian yang diinginkan. Metode kontur menggunakan prosedur pemetaan topografi, dan metode jalur dilaksanakan dengan membuat profil melintang. Metode kontur dipilih terutama sebelum waduk diisi air, sedangkan metode jalur digunakan setelah penggenangan waduk terjadi.

Metode jalur akan mendapatkan data lapangan yang berupa rekaman kedalaman dari alat echo-sounder serta jarak dari alat distomat untuk masing-masing jalur. Perubahan penampang berikutnya dihitung/diinterpolasi sesuai dengan perubahan kedalaman dan jarak dari tiap-tiap tanda (*mark*). Untuk menghitung luas dari setiap penampang digunakan sistem koordinat, yaitu jarak yang digunakan sebagai absis dan kedalaman digunakan sebagai ordinat (Anonim, 1999: 7).



Gambar 2 Sketsa Penampang Melintang Waduk

$$\text{Luas} = \frac{[(X_1 \cdot Y_2 + X_2 \cdot Y_3 + X_3 \cdot Y_n + \dots + X_n \cdot Y_1) - (Y_1 \cdot X_2 + Y_2 \cdot X_3 + Y_3 \cdot X_n + \dots + Y_n \cdot X_1)]}{2} \quad (2)$$

Volume antara 2 penampang melintang =

$$\frac{L_1 + L_2}{2} \times \text{jarak antar penampang} \quad (3)$$

Metode empiris

Besarnya laju sedimentasi waduk dapat diperkirakan berdasarkan besarnya erosi DAS. Besarnya erosi DAS ditentukan berdasarkan rumus-rumus empiris yang dikembangkan berdasarkan kondisi fisiografi dan klimatologi dari DAS yang bersangkutan.

Erosi lahan pada dasarnya adalah suatu prakiraan jumlah tanah hilang maksimum yang dapat terjadi pada sebidang lahan bila pengelolaan tanaman dan konservasi tanah tidak mengalami gangguan dalam jangka waktu yang panjang. Prakiraan jumlah tanah hilang maksimum ini dapat dilakukan dengan persamaan yang dikembangkan pada tahun 1960 oleh Smith dan Wischmeier (Kirkby, 1980 dalam Kironoto, 1999) dan dikenal dengan istilah *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Soewarno (1981) menuliskan persamaan USLE untuk menduga laju erosi rata-rata tahunan adalah sebagai berikut:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

dimana:

- E = laju erosi aktual rata-rata tahunan (ton/ha/tahun),
- R = faktor erositivitas hujan,
- K = faktor erodibilitas tanah,
- L = faktor panjang lereng (m),
- S = faktor kemiringan lereng (%),
- C = faktor pengelolaan tanaman, dan
- P = faktor konservasi tanah.

Metode Inflow-Outflow

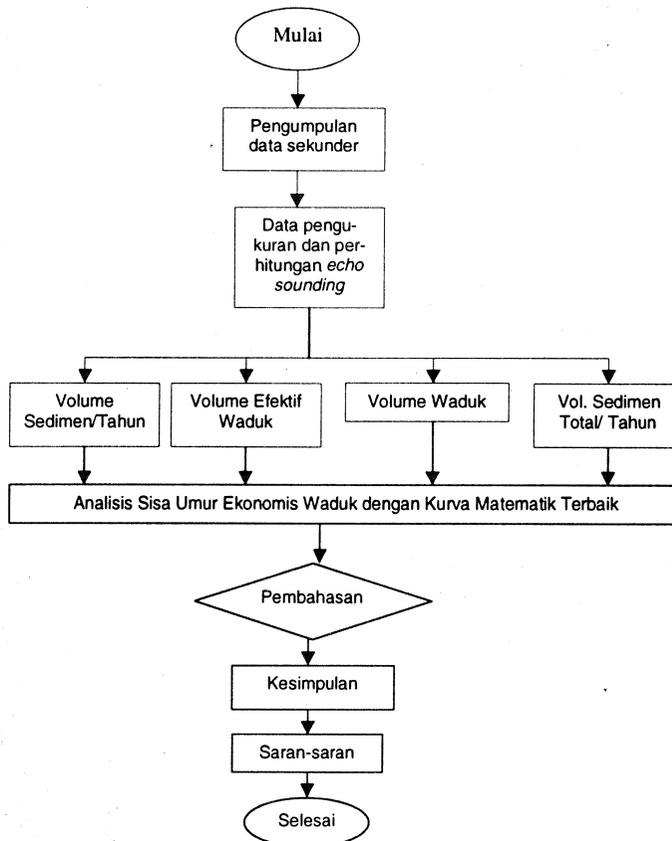
Pengaruh adanya waduk di alur sungai akan menyebabkan semakin lambatnya laju aliran sungai yang bersangkutan. Gejala semakin lambatnya kecepatan aliran sungai ini menyebabkan daya angkut sungai terhadap sedimen yang terkandung di dalamnya menjadi semakin kecil, akibatnya akan terjadi pengendapan sedimen di waduk tersebut.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mengukur laju sedimentasi waduk telah dikemukakan oleh Soewarno (1991: 778) yaitu: (1) Debit sedimen yang masuk waduk (inflow), (2) Debit sedimen yang terendap di dalam waduk, dan (3) Berat spesifik dari endapan sedimen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Waduk PBJS yang terletak di Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Data penelitian berupa data sekunder yang dikumpulkan dengan teknik dokumentasi, meliputi data: (1) volume sedimen/tahun, (2) volume efektif waduk, (3) volume waduk, dan (4) volume sedimen total/tahun.

Prosedur penelitian untuk mengetahui sisa umur ekonomis Waduk PBJS dilakukan seperti digambarkan pada bagan alir berikut ini.



Gambar 3 Prosedur Penelitian

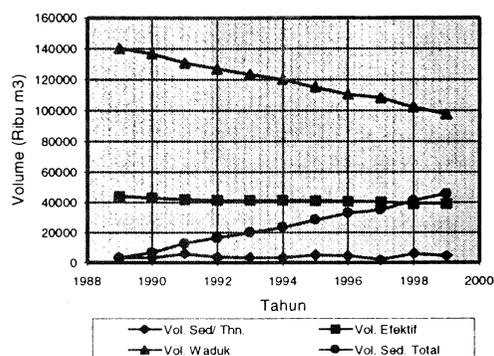
Data skunder pengukuran dan perhitungan echo sounding yang meliputi: (1) volume sedimen per tahun, (2) volume efektif waduk, (3) volume waduk, dan (4) volume sedimen kumulatif per tahun, masing-masing dianalisis dengan kurva matematik terbaik. Untuk memudahkan analisis data, digunakan bantuan *Software Excel*. Kurva matematik terbaik ditunjukkan dengan nilai varians (R^2) atau nilai koefisien korelasi (R) tertinggi dari berbagai alternatif kecenderungan (trend) kurva yang tersedia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Hasil Pengukuran Echo Sounding

Berdasarkan hasil pengukuran perubahan elevasi dasar waduk dengan metode *echo sounding*, laju endapan sedimen di Waduk PBJS untuk setiap tahunnya disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Mengacu pada hasil pengukuran *echo sounding* seperti yang tertuang dalam Tabel 1 di atas, untuk selanjutnya semua nilai hasil pengukuran tersebut dapat digambarkan dalam bentuk diagram garis seperti terlukis dalam Gambar 4 berikut ini. Penggambaran dalam bentuk grafik ini dimaksudkan agar dapat membantu pemahaman dan melihat secara nyata kecenderungan perubahan sedimentasi Waduk PBJS untuk setiap tahunnya.



Gambar 4 Hasil Pengukuran Echo Sounding Waduk PB Jendral Soedirman

Tabel 1 Laju Sedimentasi Waduk PBJS Berdasarkan Hasil Pengukuran Echo Sounding

No.	Periode Pengukuran	Vol Sedi- men/Tahun (m ³)	Volume Efektif Waduk (m ³)	Volume Waduk (m ³)	Volume Sedimen Total (m ³)
1.	Januari s.d. Okt. 1989 (10 bln)	3.382.678	44.208.000	140.333.000	3.382.678
2.	Nop. '89 s.d. Okt. 1990 (12 bln)	3.441.288	43.196.000	136.892.000	6.823.966
3.	Nop. '90 s.d. Okt. 1991 (12 bln)	6.018.471	42.000.000	130.873.000	12.842.437
4.	Nop. '91 s.d. Okt. 1992 (12 bln)	3.782.662	41.506.000	127.091.000	16.625.099
5.	Nop. '92 s.d. Okt. 1993 (12 bln)	3.487.578	41.477.000	123.603.000	20.112.677
6.	Nop. '93 s.d. Okt. 1994 (12 bln)	3.386.697	41.514.000	120.217.000	23.499.374
7.	Nop. '94 s.d. Okt. 1995 (12 bln)	5.022.637	41.335.000	115.193.000	28.522.011
8.	Nop. '95 s.d. Okt. 1996 (12 bln)	4.604.384	40.774.000	110.589.000	33.126.395
9.	Nop. '96 s.d. Okt. 1997 (12 bln)	2.174.447	40.339.000	108.415.000	35.300.842
10.	Nop. '97 s.d. Okt. 1998 (12 bln)	5.999.578	39.263.000	102.214.000	41.300.420
11.	Nop. '98 s.d. Okt. 1999 (12 bln)	4.537.659	39.242.000	97.878.000	45.838.079
Rata-rata		4.167.098			

Sumber: Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB Sudirman.

Hasil Analisis Berdasarkan Berbagai Kurva Matematik

Seperti yang telah dijelaskan di atas, bahwa analisis data penelitian ini menitik beratkan pada perubahan volume waduk. Rangkuman hasil analisis data dengan berbagai kurva matematik disajikan dalam Tabel 3 berikut ini.

dapat tercapai, lebih pendek, atau sebaliknya lebih panjang dari umur rencana tersebut.

Memperhatikan nilai varians (R^2) atau dapat juga dicari nilai koefisien korelasinya (R) dari sembilan kurva matematik yang digunakan untuk menganalisis data besarnya berbeda-beda (sangat bervariasi). Secara matematis (teoritis), kurva dengan nilai varians (R^2) dan koefisien korelasi (R)

Tabel 2 Rangkuman Hasil Prediksi Umur Waduk PBJS

No.	Jenis Kurva	Persamaan	Varians (R^2)	Prediksi Umur Waduk (Tahun)
1.	Eksponensial	$Y = 150,49 e^{-0,345 X}$	0,9928	299
2.	Power Regretion	$Y = 155,49X - 0,1528$	0,8539	> 1000
3.	Logaritmik	$Y = -18,6651 \ln(X) + 152,51$	0,8862	> 1000
4.	Linier	$Y = -4,7233X + 149,83$	0,9947	31,71
5.	Polinomial Orde 2	$Y = -0,0322X^2 - 4,3371X + 148,99$	0,9950	28,37
6.	Polinomial Orde 3	$Y = 0,022X^3 - 0,4279X^2 - 2,3542X + 146,59$	0,9962	12,80
7.	Polinomial Orde 4	$Y = -0,0031X^4 + 0,096X^3 - 1,0169X^2 + 0,6148X + 145,15$	0,9964	19,92
8.	Polinomial Orde 5	$Y = -0,0015X^5 + 0,0404X^4 - 0,3802X^3 + 1,2893X^2 - 5,3299X + 148,17$	0,9966	14,65
9.	Polinomial Orde 6	$Y = -0,0004X^6 + 0,0126X^5 - 0,1561X^4 + 0,956X^3 - 3,2631X^2 + 1,779X + 144,39$	0,9967	13,08

Pembahasan

Waduk PBJS direncanakan mempunyai umur operasi selama 55 tahun dihitung sejak waduk tersebut beroperasi (penggenangan pertama) yaitu pada tahun 1988. Berdasar umur rencana waduk tersebut, penelitian ini selanjutnya akan melakukan pembahasan berdasarkan data-data yang tersedia dan hasil analisis yang telah dilakukan. Pembahasan ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan apakah umur rencana waduk tersebut

tertinggi merupakan hasil prediksi yang terbaik.

Permasalahan berikutnya adalah bagaimana menginterpretasikan dari berbagai hasil analisis berdasarkan beberapa kurva matematik tersebut. Dalam hal ini, beberapa asumsi perlu diterapkan dalam pengambilan keputusan berapa sisa umur ekonomis Waduk PBJS tersebut. Sebagai misal, kurva matematik polinomial orde enam yang mendapatkan umur waduk sejak beroperasi pada tahun 1988 adalah 13,08 tahun. Pada hal waduk tersebut

sampai dengan tahun 1999 telah beroperasi selama 11 tahun, sehingga sisa umur operasinya tinggal $13,08 - 11 = 2,08$ tahun saja, rasanya tidak masuk akal. Lebih-lebih pada tahun ini (2005) waduk tersebut masih dapat beroperasi dengan baik. Hasil ini bila dicermati dan dikaitkan dengan laju sedimen yang mengendap di waduk sangatlah tidak rasional. Begitu juga kurva matematik polinomial orde tiga, empat, dan lima mempunyai makna yang sama dengan kurva matematik polinomial orde enam tersebut.

Kurva eksponensial yang mendapatkan umur operasi waduk selama 29 tahun sejak beroperasi, sedangkan kurva matematik *power regretion* dan logaritmik masing-masing mendapatkan prediksi bahwa umur Waduk PBJS sejak beroperasi adalah lebih besar dari 1.000 tahun. Hasil ini bila dicermati dengan fenomena alam yang terjadi di lapangan merupakan hasil prediksi yang tidak wajar. Pernyataan ini didukung dengan suatu fakta seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa Waduk PBJS tersebut dibangun dengan umur rencana hanya selama 55 tahun saja.

Ketidak akuratan hasil prediksi umur waduk berdasarkan beberapa jenis kurva matematik yang telah dibahas di atas, akhirnya mengarahkan pada suatu perhatian bahwa kurva linier dan polinomial orde dua yang masing-masing mendapatkan prediksi umur operasi Waduk PBJS adalah selama 31,71 tahun dan 28,37 tahun dirasakan sebagai umur yang paling rasional dan relatif sesuai dengan fenomena alam yang ada di lapangan.

Berdasarkan kurva polinomial orde dua yang memprediksi umur waduk selama 28,37 tahun sejak beroperasi pada tahun 1988, berarti mengindikasikan bahwa sisa

umur Waduk PBJS adalah selama $28,37 - 11 = 17,37$ tahun yang tentunya dihitung sejak tahun 1999. Sedangkan untuk kurva matematik linier yang memperoleh hasil prediksi umur waduk selama 31,71 tahun, menyisakan umur Waduk PBJS yaitu $31,71 - 11 = 20,71$ tahun terhitung sejak tahun 1999.

KESIMPULAN

Mengacu pada hasil analisis dan pembahasan yang telah dikemukakan, untuk selanjutnya dapat disimpulkan bahwa berdasarkan berbagai kurva matematik yang digunakan untuk menganalisis data, sejak tahun 1999 sisa umur operasi Waduk PBJS terletak antara 17,37 sampai dengan 20,71 tahun. Hasil analisis ini merupakan prediksi sederhana tanpa adanya perubahan pengendalian erosi di masa yang akan datang. Untuk mengetahui nilai ekonomis waduk secara teliti, terdapat beberapa langkah perhitungan dengan mengikuti prosedur operasi waduk secara cermat, meninjau penerapan pengendalian erosi lahan di lapangan, perubahan tataguna lahan di DAS yang bersangkutan, dan berbagai hal yang terkait dengan masalah sedimentasi tersebut.

Sisa umur operasi waduk di atas, tentunya dengan catatan bahwa kondisi alam khususnya laju sedimentasi yang terjadi di dalam waduk tersebut tidak mengalami perubahan yang jauh berbeda dengan kejadian pada tahun-tahun sebelumnya. Selain itu, sisa umur operasi waduk tersebut juga tidak dipengaruhi adanya penambangan pasir di bagian hulu waduk yang sering dilakukan oleh warga masyarakat sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1994. Penelitian Sedimentasi Waduk PLTA Panglima Besar Sudirman. *Laporan Akhir*. PT. PLN (Persero) Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan Bekerjasama dengan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kironoto. B. A.. 1999. Studi Sedimentasi Waduk Sermo dan Penanggulangannya. *Laporan Akhir*. PT. Tatareka Paradya. Yogyakarta.
- Mahmood. K.. 1987. *Reservoir Sedimentation. Impact Extent. and Mitigation*. Word Bank Technical Paper Number 71. Washington DC.
- Strand. R. I. and Pemberton. E. L.. 1982. *Reservoir Sedimentation. Sedimentation and River Hydraulics Section Hydrology Branch. Devison of Planning Technical Services Engineering and Research Center. Denver. Colorado*.
- Sudjarwadi. 1995. Kesulitan Prediksi Laju Sedimentasi Waduk Berdasar Data Echo Sounding. *Journal PIT XII HATHI 1995*. Surabaya.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Nova. Bandung.
- _____. 1993. Memprediksi Laju Pengurangan Kapasitas Waduk dengan Metode *Inflow-Outflow*. *Jurnal Informasi Teknik No. 11-1993*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Proyek Pengembangan Metode Pelaksanaan Irigasi. Bekasi
- Windia. W.. 2000. Dilema Penyerahan Sistem Irigasi Kecil Kepada Petani. *Harian Kedaulatan Rakyat Tanggal 24 Januari 2000*. Yogyakarta.