

# Analisis Ekonomi Pengendalian Sedimentasi Waduk Mrica

<sup>1</sup>Dyah Anggraini, <sup>2</sup>Pranoto S.A., <sup>3</sup>Dyah Ari Wulandari

<sup>1,2,3</sup>Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Email: <sup>1</sup>dyahanggi109@gmail.com, <sup>2</sup>pranotosa2001@yahoo.com,  
<sup>3</sup>dyahariwulandari@lecturer.undip.ac.id

---

## Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

---

## Sejarah Artikel

Diterima pada 28 Oktober 2019  
Disetujui pada 29 November 2019  
Dipublikasikan pada 30  
November 2019 Hal. 567-586

---

## Kata Kunci:

Analisis ekonomi, pengendalian sedimentasi, waduk mrica

---

## DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v4i4.378>

flushing ketika turbin beroperasi memaksimalkan potensi inflow dengan kenaikan TDL 10% yaitu sebesar 17,44 dan NPV terbesar diperoleh pengendalian sedimentasi pembangunan sabo dam ketika turbin beroperasi memaksimalkan potensi inflow dengan kenaikan TDL 10% sebesar Rp. 4.908.510.910.000,00.

**Abstrak:** Waduk Mrica sudah mengalami sedimentasi sebanyak 122,073 juta m<sup>3</sup>. Laju sedimentasi yang terjadi sebesar 4,069 juta m<sup>3</sup>/tahun dan diperkirakan tidak dapat mencapai umur rencana waduk 50 tahun. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa operasi dan pemeliharaan di Waduk Mrica, menentukan alternatif pengendalian sedimentasi, dan menentukan alternatif yang paling ekonomis. Upaya pengendalian yang selama ini dilaksanakan adalah flushing, dredging, dan pembangunan sabo dam. Simulasi operasi dengan beberapa skenario alternatif pengendalian sedimentasi digunakan untuk mengetahui nilai manfaat dari produksi listrik. Analisis ekonomi dilakukan dengan metode BCR dan NPV, kenaikan TDL 5% dan 10%. Pengendalian sedimentasi yang paling ekonomis adalah flushing dengan harga Rp. 3.747,15/ m<sup>3</sup>. Analisis ekonomi mendapatkan hasil bahwa BCR terbesar diperoleh pengendalian sedimentasi

## PENDAHULUAN

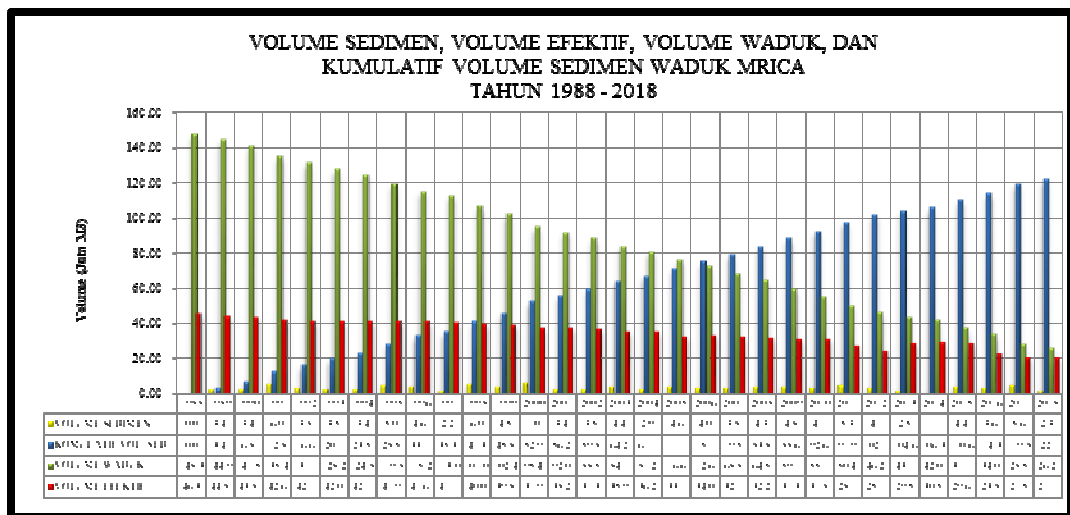
Waduk Mrica terletak di Kecamatan Bawang Kabupaten Banjarnegara Propinsi Jawa Tengah, sekitar 8 km barat Kota Banjarnegara seperti yang terlihat pada Gambar 1. Waduk Mrica membendung Sungai Serayu yang berhulu di Pegunungan Dieng dan bermuara di Laut Selatan Pulau Jawa. Waduk Mrica mulai digenangi pada bulan April tahun 1988. Tujuan pembangunan Waduk Serbaguna Mrica antara lain untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan kapasitas terpasang 180,93 MW, sumber irigasi untuk Daerah Irigasi (D.I.) Banjarcyana seluas 6.550 ha dan D.I. Penaruban 900 ha, pengendali banjir daerah hilir Sungai Serayu, antara lain Kabupaten Cilacap dan Kabupaten Banyumas, perikanan sistem karamba, dan sebagai obyek wisata (Sunandar, 2017).

Beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa Waduk Mrica adalah salah satu waduk yang mengalami sedimentasi yang cukup tinggi. Waduk Mrica mulai beroperasi pada Tahun 1988. Berdasarkan laporan PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) Mrica pada tahun 2018, sedimen yang masuk ke dalam waduk setiap tahun sebesar 4,069 juta m<sup>3</sup> dan volume sedimen yang mengendap di dalam waduk sampai bulan Oktober 2018 mencapai 122,073 juta

m<sup>3</sup> atau 82,22% dari volume total waduk, sehingga mengakibatkan tampungan waduk berkurang dari awal operasi sebesar 148,28 juta m<sup>3</sup> menjadi 22,217 juta m<sup>3</sup>. Dengan laju sedimentasi sebesar 4,069 juta m<sup>3</sup>/ tahun, diperkirakan pada tahun 2024 Waduk Mrica sudah penuh dengan sedimen. Gambar 2 menunjukkan perkembangan volume sedimen dan pengurangan volume efektif Waduk Mrica dari tahun 1988 sampai dengan 2018.



Gambar 1. Peta Lokasi Waduk Mrica



Gambar 2. Perkembangan Volume Sedimen dan Pengurangan Efektif Waduk Mrica Tahun 1988 - 2018

Sedimentasi yang terjadi di Waduk Mrica menyebabkan ketiga turbin yang ada di PLTA Mrica tidak bisa bekerja secara optimal pada saat beban puncak pukul 15.00 sampai dengan 20.00 WIB. Sedimentasi telah berpengaruh terhadap operasional waduk, setidaknya sampai dengan tahun 2005 atau setelah 16 tahun beroperasi telah terjadi pengurangan produksi listrik sebesar 18% (Soewarno, 2014).

Pengendalian sedimentasi di Waduk Mrica telah dilaksanakan oleh PT. Indonesia Power selaku pengelola Waduk Mrica dengan penggelontoran melalui

*drawdown culvert* sejak tahun 1992. Sedimen yang berhasil dibuang sampai dengan tahun 2018 adalah sebanyak 13.086.835,99 m<sup>3</sup> (PT. Indonesia Power, 2018). Dari hasil penelitian Krisetyana (2008) diketahui bahwa tingkat efisiensi penggelontoran sedimen Waduk Mrica 1,76% sehingga tidak efisien karena konsentrasi sedimen yang dapat digelontor dari dalam waduk sangat kecil dibandingkan dengan volume air yang digunakan untuk menggelontor.

Mengingat kondisi sedimentasi di Waduk Mrica yang sudah sedemikian parah, maka para peneliti telah memberi alternatif rencana pengendalian sedimentasi, yaitu:

1. Pengerukan sedimen sebanyak 1,1 juta m<sup>3</sup>/ tahun dan flushing sebanyak 1,5 juta m<sup>3</sup>/ tahun supaya umur Waduk Mrica bisa mencapai 50 tahun sesuai rencana awal (PT. Indonesia Power, 2018).
2. Pengerukan lumpur untuk memperpanjang umur waduk sehingga operasionalisasi PLTA lebih panjang lagi dengan estimasi biaya Rp. 200 Milyar untuk mengeruk 4 juta m<sup>3</sup> endapan sedimen (Wulandari, 2007).
3. Pada tahun 2007 Balai Sabo Pusat Litbang Sumber Daya Air telah membangun sabo dam Kali Lumajang yang bertujuan untuk mengurangi laju sedimentasi di Waduk Mrica. Sabo dam Kali Lumajang merupakan salah satu contoh sabo dam berinovasi tipe tertutup (Soewarno dan Sukatja, 2010).

Beberapa alternatif yang diharapkan dapat mengendalikan sedimentasi Waduk Mrica antara lain *flushing*, *dredging*, dan pembangunan sabo dam. *Flushing* adalah kegiatan penggelontoran sedimentasi untuk pemeliharaan Waduk. *Dredging* adalah kegiatan pengerukan sedimentasi yang telah mengendap di Waduk. Sedangkan *Sabo dam* adalah bangunan melintang sungai untuk mengendalikan angkutan sedimen (Soewarno, 2014). *Sabo dam* berfungsi mengumpulkan sedimen sebelum masuk ke dalam waduk tetapi meloloskan air

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa operasi PLTA dan pemeliharaan Waduk Mrica terkait sedimentasi, menentukan alternatif pengendalian sedimen secara teknis, dan menentukan alternatif pengendalian sedimen yang paling ekonomis untuk menangani sedimentasi di Waduk Mrica. Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penanganan sedimentasi yang paling ekonomis untuk menangani sedimentasi di Waduk Mrica, sebagai masukan untuk pengembangan kajian ilmiah atau referensi bagi penelitian sedimentasi pada waduk dan upaya pengendaliannya, dan hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pihak-pihak terkait untuk menangani sedimentasi Waduk Mrica secara terpadu dan komprehensif.

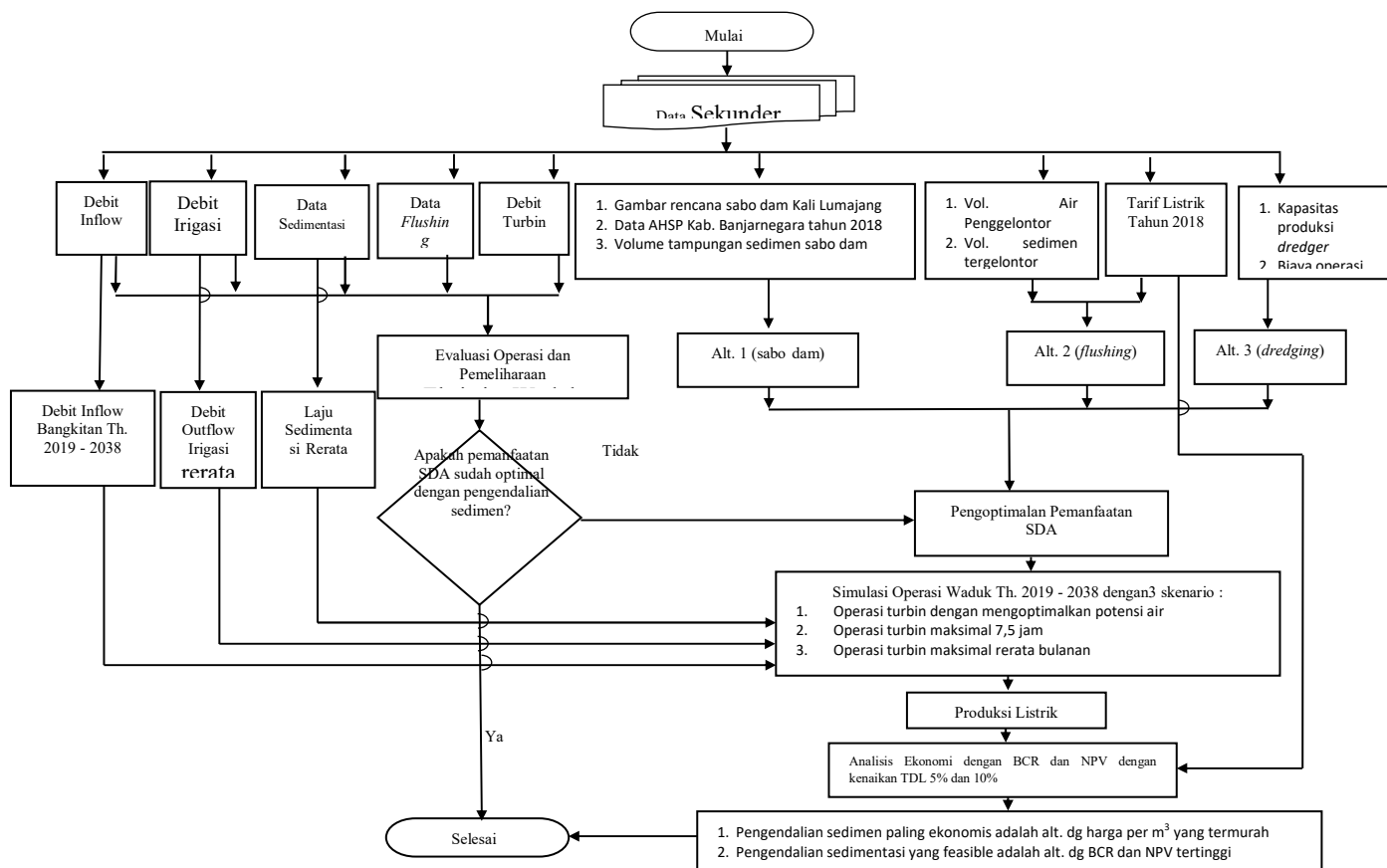
## **METODE**

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis nilai ekonomis alternatif pengendalian sedimen yang dilakukan pada Waduk Mrica. Metode pengendalian sedimen yang dibahas dalam penelitian ini adalah pembangunan sabo dam di hulu Waduk Mrica, *dredging*, dan *flushing*. Analisis dilakukan dengan melakukan perhitungan dan simulasi dari beberapa alternatif pengendalian sedimen yang dilakukan.

Analisis ekonomi dilakukan dengan menghitung biaya yang harus disediakan untuk beberapa alternatif pengendalian sedimen untuk kemudian dibandingkan dengan potensi produksi listrik PLTA yang hilang akibat

sedimentasi. Nilai manfaat yang diperhitungkan hanya nilai manfaat dari produksi listrik karena pemanfaatan air waduk untuk irigasi tidak memiliki nilai tarif yang harus dibayarkan oleh petani kepada PT. Indonesia Power. Garis besar diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.

Data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Indonesia Power UBP Mrica, Balai Sabo Yogyakarta, DPU Taru Kabupaten Banjarnegara, dan dari studi-studi terdahulu. Data operasional waduk meliputi data inflow waduk, data outflow waduk untuk turbin PLTA, data outflow untuk irigasi, data flushing, data laju sedimentasi, data elevasi muka air waduk, dan data volume efektif. Data ini digunakan untuk mengevaluasi operasi Waduk Mrica Tahun 2009 – 2018 dan untuk simulasi pola operasi Waduk Mrica Tahun 2019 – 2038. Data biaya pengendalian sedimen yang diperhitungkan mencakup beberapa parameter, yaitu biaya yang dibutuhkan untuk *flushing*, *dredging*, dan pembangunan sabo dam di hulu waduk, dan biaya pemeliharaan rutin waduk.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, di sungai, dan di waduk (Asdak, 2007). Sedimen terdiri dari partikel material padat mineral dan organik yang diangkut oleh air (Marsudiantoro, 2012). Pada sistem sungai, banyaknya sedimen yang diangkut dipengaruhi oleh daya angkut air dan jumlah pasokan sedimen. Angkutan sedimen terlarut adalah sedimen yang diangkut

dalam bentuk larutan dan terdiri dari material yang terangkut dari dasar sungai (*suspended bed material*) dan material hasil erosi DAS (*washload material*) yang masuk ke dalam aliran sungai. Material hasil erosi umumnya lebih halus dibandingkan dengan material dasar sungai.

Pola Operasi Waduk adalah patokan operasional bulanan suatu waduk dimana debit air yang dikeluarkan oleh waduk harus sesuai dengan ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai rencana (Setyaningsih et al, 2010). Simulasi operasi waduk bertujuan untuk meninjau sejauh mana tingkat keandalan atau kegagalan yang terjadi dari perilaku sistem pengoperasian waduk untuk memenuhi kebutuhan pelayanannya. Simulasi dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan, yaitu (Setyaningsih et al, 2010):

1. Simulasi dilakukan beberapa tahun menurut urutan tahun inflow.
2. Awal pengoperasian pada bulan Oktober sesuai dengan pola tanam di daerah irigasi.
3. Tampungan awal dilakukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas waduk.
4. Kehilangan air bulanan (evaporasi) merupakan fungsi dari luas genangan permukaan x tinggi evaporasi x koefisien bulanan)
5. Tampungan waduk di akhir periode tidak boleh kurang dari kapasitas minimum waduk dan tidak boleh melebihi kapasitas maksimum waduk.
6. Limpasan terjadi jika volume tampungan akhir waduk melebihi kapasitas maksimum waduk.
7. Hukum keseimbangan air waduk menggunakan Persamaan 1 dan 2 (Wurbs, 1996 dalam Setyaningsih et al, 2010).

$$I_t = R_{L_t} + L_{e_t} + S_{P_t} + S_t - S_{t-1} \quad (1)$$

$$S_{O(\text{awal})} = S_{12} \quad (2)$$

Dimana :

- $I_t$  : debit inflow waduk pada bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $R_{L_t}$  : release waduk pada bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $S_t$  : tampungan waduk akhir bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $S_{t-1}$  : tampungan waduk awal bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $D_t$  : demand pada waktu ke-t (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $E_t$  : Evaporasi pada bulan ke-t (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $S_{\text{maks}}$  : tampungan waduk maksimum (juta m<sup>3</sup>/ bulan)
- $t$  : bulan (1, 2, 3, ..., 12)

8. Luas genangan dan elevasi waduk dapat ditentukan dengan menggunakan lengkung teoritis waduk.
9. Volume tampungan awal waduk sama dengan volume tampungan akhir waduk bulan sebelumnya.
10. Unjuk kerja yang dihitung adalah keandalan, kelentingan, dan kerawanan.
11. Pada perhitungan unjuk kerja digunakan asumsi bahwa waduk dianggap gagal apabila tidak bisa memenuhi seluruh kebutuhan.

Prinsip dari 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. Penggelontoran sedimen melalui bottom outlet (drawdown culvert) atau flushing membutuhkan air waduk

untuk menggelontor sedimen. Air waduk yang seharusnya dapat digunakan untuk menggerakkan turbin dan dapat menghasilkan energi listrik. Maka biaya yang diperlukan untuk penggelontoran sedimen dapat dikonversikan dalam kWh dan rupiah, dengan perhitungan menggunakan Persamaan 3 (Keristiyana, 2008).

$$\text{Biaya (1 kWh)} = \frac{(\text{Volume Air yang Digunakan untuk flushing}) \times (1 \text{ kWh})}{\text{Volume air yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kWh}} \quad (3)$$

PLTA Mrica mempunyai 3 buah turbin dengan kapasitas maksimal 74 m<sup>3</sup>/dt. Satu turbin dalam satu jam secara teori dapat menghasilkan listrik sebesar 60.300 kWh. Sehingga kebutuhan air untuk membangkitkan 1 kWh listrik adalah 4,4 m<sup>3</sup> (Sulistyo, 2005).

Evaluasi di bidang ekonomi teknik adalah suatu analisis ekonomi yang mencakup prinsip-prinsip dari berbagai teknik matematis yang akan membantu dalam pengambilan keputusan ekonomis (pemilihan yang rasional dari dua atau lebih alternatif rangkaian kegiatan) yang didasarkan atas perbandingan nilai manfaat dari alternatif kegiatan tersebut, dikaitkan dengan pembiayaannya (Suyanto et al, 2001). Dalam kajian ini, analisis ekonomi teknis menggunakan 2 metode, yaitu *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *Net Present Value* (NPV). Menurut Giatman (2005), metode BCR ini memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya dan kerugian yang akan ditanggung (*cost*) dengan adanya investasi tersebut. Perhitungan benefit cost ratio menggunakan Persamaan 4, 5, dan 6.

Rumus umum:

$$\text{BCR} = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} = \frac{\sum \text{Benefit}}{\sum \text{Cost}} \quad (4)$$

Jika analisis dilakukan terhadap nilai sekarang (present value) :

$$\text{BCR} = \frac{(pV)B}{(pV)C} \quad (5)$$

Jika analisis dilakukan terhadap biaya tahunan (annual) :

$$\text{BCR} = \frac{\text{EUAB}}{\text{EUAC}} = \frac{\sum_{t=0}^n \text{Cbt}(\text{FBA})t}{\sum_{t=0}^n \text{Cct}(\text{FBA})t} \quad (6)$$

Apabila nilai BCR < 1, proyek tersebut tidak layak, sedangkan bila nilai BCR > 1, maka proyek tersebut layak (feasible). Sedangkan bila nilai B/C = 1, maka proyek dikatakan marginal (tidak untung dan tidak rugi). Pada analisis ini, benefit adalah nilai pendapatan yang diperoleh dari pemanfaatan air untuk kebutuhan produksi listrik. Sedangkan biaya adalah biaya yang dibutuhkan untuk pengerukan sedimen waduk. NPV adalah metode menghitung nilai bersih (netto) pada waktu sekarang (present) (Giatman, 2005). Nilai sekarang (net present value) perlu dihitung untuk mengetahui nilai waktu dari uang (time value of money). Menurut Kodoatie (1995), dari nilai Manfaat (benefit) dan biaya (cost) yang sudah dihitung terlebih dahulu, dapat dilakukan analisis dengan rumus sebagai berikut:

$$P_n = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (7)$$

dimana:

P<sub>n</sub> = Jumlah uang pada akhir n periode saat sekarang

F = Jumlah uang pada saat yang akan datang

n = jumlah tahun yang ditinjau

i = tingkat suku bunga yang berlaku

Menurut Giatman (2005), NPV diperoleh dari selisih antara PWB (Present Worth of Benefit) dan PWC (Present Worth of Cost) dengan rumus sebagai berikut :

$$PWB = \sum_{t=0}^n Cbt (FBP)^t \quad (8)$$

$$PWC = \sum_{t=0}^n Cct (FBP)^t \quad (9)$$

Dimana :

Cb = cash flow benefit

Cc = cash flow cost

FPB = faktor bunga present

t = periode waktu

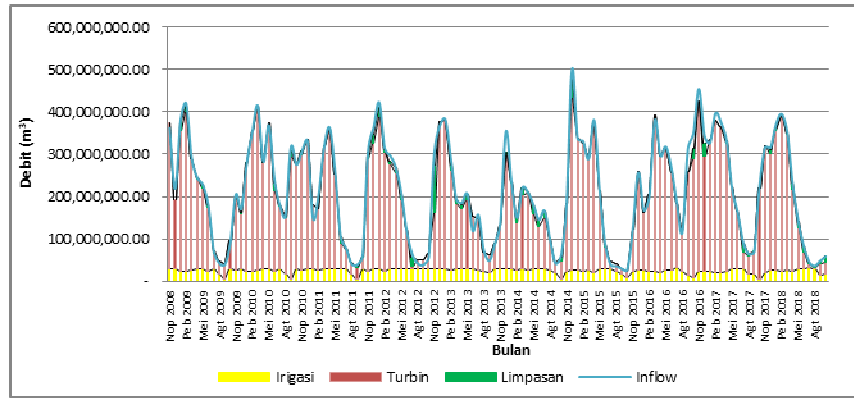
n = umur investasi

Untuk mengetahui apakah rencana suatu proyek tersebut layak atau tidak, diperlukan suatu ukuran/ kriteria tertentu dalam menggunakan metode NPV ini, yaitu (Giatman, 2005): Jika  $NPV > 0$  = artinya investasi akan menguntungkan/ layak (*feasible*), Jika  $NPV < 0$  = artinya investasi tidak menguntungkan/ tidak layak (*unfeasible*).

## HASIL

### Operasi dan Pemeliharaan Waduk Mrica Eksisting

Penilaian PLTA Mrica dikelola oleh satu sistem terpadu interkoneksi kelistrikan Jawa - Bali. Pembangkitan di Jawa Tengah diatur pengoperasiannya oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Region Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta yang berkedudukan di Ungaran. Intake untuk irigasi terletak pada elevasi +227,00 m, sedangkan intake untuk turbin terletak pada elevasi +224,50 m. Pengelola Waduk Mrica memprioritaskan alokasi air untuk irigasi terlebih dahulu. Setelah kebutuhan air irigasi terpenuhi, air akan dialirkan menuju turbin dengan tetap memperhatikan elevasi minimum waduk. Pehitungan operasi Waduk Mrica 10 tahun terakhir (tahun 2009 sampai dengan 2018) menggunakan data tampungan waduk, debit inflow, debit outflow untuk turbin, debit outflow untuk irigasi, kebutuhan air untuk *flushing*, sedimen yang masuk ke Waduk Mrica dalam operasi Waduk Mrica menggunakan data bulanan dalam satuan  $m^3$ . Air akan melimpas secara otomatis jika jumlah air yang ada di Waduk melebihi tampungan waduk pada bulan tersebut. Air yang melimpas akan mengurangi nilai manfaat waduk karena air tersebut sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik. Operasi Waduk Mrica Tahun 2009 – 2018 diperlihatkan Gambar 4.



Gambar 4. Pola Operasi Waduk Mrica Tahun 2009 – 2018

Pada operasi Waduk Mrica tahun 2009 – 2018, dapat dilihat bahwa produksi listrik rata-rata tiap tahun adalah 498,73 GWh. Ketiga turbin bekerja rata-rata 7 jam 29 menit per hari pada beban puncak sesuai arahan dari PT. PLN (Persero) P3B. Produksi listrik Waduk Mrica dapat lebih dioptimalkan karena air yang melimpas sangat banyak. Limpasan yang terjadi rata-rata sebesar 2,43 m<sup>3</sup>/dtk, limpasan terbesar terjadi pada Bulan Nopember 2012 sebesar 43,86 m<sup>3</sup>/dtk.

#### Pemeliharaan Waduk Mrica Eksisting

Biaya operasi dan pemeliharaan rutin Waduk Mrica pada tahun 2018 mencapai Rp. 18.600.000.000,00 yang mencakup biaya operasi PLTA, pemeliharaan bendung, pemeliharaan waduk, pemeliharaan kantor, gaji karyawan, pengukuran *echosounding*, pengecatan pintu, dan lain-lain (PT. Indonesia Power, 2018).

#### Flushing Waduk Mrica

*Flushing* Waduk Mrica dilakukan ketika elevasi sedimen melebihi elevasi +187,00 m (dasar saluran *drawdown culvert*) yang bertujuan untuk mempertahankan sisa kapasitas tampung waduk dan agar elevasi ambang power intake (+206 m) tidak tertutup endapan sedimen. *Flushing* telah dilakukan oleh PT. Indonesia Power sejak tahun 1992 dan sampai dengan tahun 2018 telah dilaksanakan sebanyak 169 kali *flushing* dengan volume lumpur yang terbuang sebanyak 13.086.835,99 m<sup>3</sup> (PT. Indonesia Power, 2019). *Flushing* yang dilakukan di Waduk Mrica rata-rata dapat mengendalikan sedimentasi sebanyak 484.697,63 m<sup>3</sup>/ tahun. Sedangkan laju sedimentasi rata-rata Waduk Mrica adalah 4,069 juta m<sup>3</sup>/ tahun. Laju sedimentasi yang terjadi di Waduk Mrica lebih besar daripada laju pengendaliannya sehingga Waduk Mrica tidak bisa mencapai umur rencana. Perhitungan harga pengendalian sedimen Waduk Mrica dengan *flushing* per m<sup>3</sup> adalah sebagai berikut: 1) Volume air yang digunakan untuk *flushing* = 380.330.096,00 m<sup>3</sup>. 2) Volume air waduk yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kWh = 4,4 m<sup>3</sup>. 3) Harga jual listrik PLTA Mrica Tahun 2018 = Rp. 576,32 per KWH. Biaya yang dibutuhkan untuk *flushing* =  $\frac{380.330.096}{4,4} \times \text{Rp. } 576,32 = \text{Rp. } 49.038.379.559,71$ . 4) Sedimen yang dapat dikeluarkan dari Waduk Mrica adalah



13.086.835,99 m<sup>3</sup> Sehingga harga pengendalian sedimen Waduk Mrica dengan *flushing* per m<sup>3</sup> adalah sebesar  $= \frac{49.038.379.559,71}{13.086.835,99} = \text{Rp.}3.747,15 /\text{m}^3$ .

### **Dredging Waduk Mrica**

Rencana pengerukan sedimen di Waduk Mrica seluas 37 Ha dengan kedalaman sekitar 3 sampai dengan 5 m dan rencana *spoil bank* yang berjarak 856 m dari lokasi pengerukan yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Dengan menggunakan Permen PU No. 28 Tahun 2016 TM.07.a AHSP pengerukan menggunakan kapal keruk diperoleh harga pengendalian sedimentasi Waduk Mrica dengan *dredging* adalah sebesar Rp. 50.541,50.



Gambar 5a Rencana Pengerukan Waduk Mrica



Gambar 5b Rencana Spoil Bank Waduk Mrica

### **Pembangunan Sabo Dam di hulu Waduk Mrica**

Balai Litbang Sabo telah membangun sabo dam prototipe di Kali Lumajang pada tahun 2007. Sabo Dam Kali Lumajang terletak pada koordinat geografis 109°40'34" BT 07°21'40", terletak di Desa Linggasari Kecamatan Wanadadi Kabupaten Banjarnegara seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kondisi Sabo Dam Kali Lumajang pada Bulan Juli 2019

Menurut pengamatan yang dilakukan oleh petugas dari Balai Sabo, pada musim hujan tahun 2008/ 2009 Sabo Dam Kali Lumajang dapat menampung sedimen sebanyak 1.350 m<sup>3</sup> dan pada musim hujan tahun 2009/ 2010 sebanyak 1.390 m<sup>3</sup>, sehingga diambil rata-rata sedimen yang bisa ditampung oleh sabo dam Kali Lumajang adalah 1.370 m<sup>3</sup>. Perhitungan biaya pembangunan Sabo Dam Kali Lumajang dihitung berdasarkan gambar rencana yang didesain oleh Balai Sabo dan analisa harga satuan pekerjaan berdasarkan daftar harga upah dan harga Kabupaten Banjarnegara Tahun 2018. Biaya pembangunan Sabo Dam Kali Lumajang sebesar Rp. 1.674.382.000,00, sehingga biaya pengendalian sedimen dengan pembangunan sabo dam adalah :

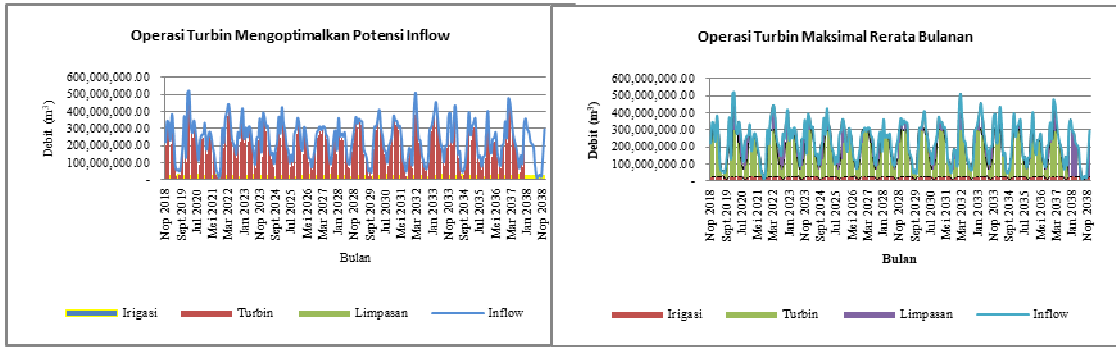
$$= \frac{1.674.382.000}{1.370 \times 20} = \text{Rp. } 61.108,83/ \text{ m}^3$$

### Analisis Ekonomis Pengendalian Sedimentasi Waduk Mrica

Alternatif pengendalian sedimentasi Waduk Mrica yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flushing*, *dredging*, dan pembangunan sabo dam. Untuk mencapai umur rencana awal Waduk Mrica, maka pengendalian sedimentasi Waduk Mrica setiap tahun adalah sebesar 2.758.000 m<sup>3</sup>. Simulasi operasi Waduk dilakukan dalam 4 alternatif yaitu dengan upaya pengendalian sedimentasi *dredging*, *flushing*, pembangunan sabo dam di hulu waduk, dan tanpa upaya pengendalian sedimentasi. Masing-masing alternatif tersebut akan disimulasikan dalam 3 kondisi operasi turbin, yaitu operasi turbin mengoptimalkan potensi inflow, operasi turbin maksimal rerata bulanan, dan operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari. Simulasi pola operasi Waduk Mrica tahun 2019 – 2038 menggunakan data inflow bangkitan tahun 2019 – 2038. Data outflow untuk irigasi menggunakan data irigasi rerata bulanan yang diambil dari pola operasi Waduk Mrica tahun 2009 – 2018. Proses *flushing* akan mengurangi volume air yang seharusnya bisa digunakan untuk menggerakkan turbin dan memproduksi listrik. Setiap bulan Waduk Mrica memerlukan air sebanyak 6.679.424,56 m<sup>3</sup> sehingga dapat mengeluarkan sedimen sebanyak 229.833,33 m<sup>3</sup> dan menekan laju sedimentasi di Waduk Mrica menjadi 1.310.827,05 m<sup>3</sup>/tahun. Hasil simulasi Operasi Waduk Mrica dengan upaya pengendalian sedimentasi *dredging* ditampilkan pada Gambar 7a, 7b, 7c dan Tabel 1.

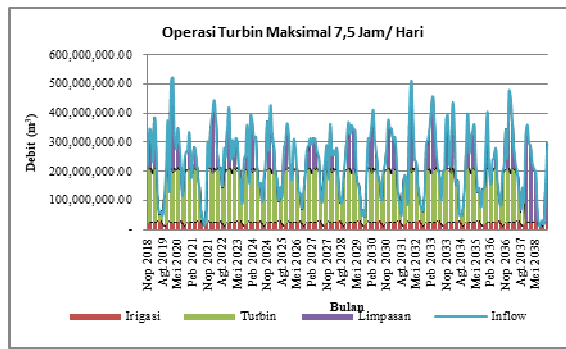
Tabel 1. Rekapitulasi inflow, outflow, dan produksi listrik Waduk Mrica Tahun 2019-2038 dengan upaya pengendalian sedimentasi *dredging*

No.	Simulasi	inflow (m <sup>3</sup> )	Outflow (m <sup>3</sup> )			Produksi Listrik (GWH)
			Irigasi	Turbin	Limpasan	
1.	Memaksimalkan potensi inflow	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	48.808.745.038,49	-	11.092,90
2.	Operasi turbin maksimal rerata	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	38.166.622.725,10	12.514.641.085,61	8.674,23
3.	Operasi turbin maksimal 7,5 jam/	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	34.548.485.951,70	16.133.110.222,71	7.851,93



Gambar 7a. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan Pengendalian Sedimentasi *Dredging* (Operasi Turbin Mengoptimalkan Potensi Inflow)

Gambar 7b. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan Pengendalian Sedimentasi *Dredging* (Operasi Turbin Maksimal Rerata Bulanan)

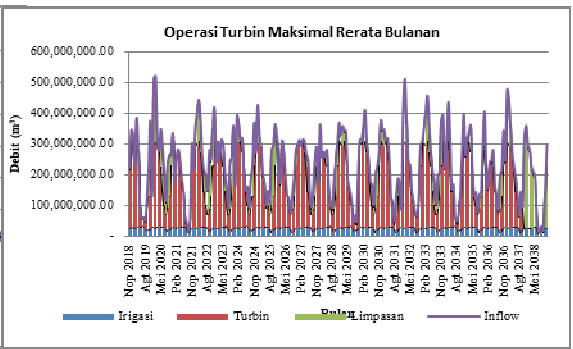
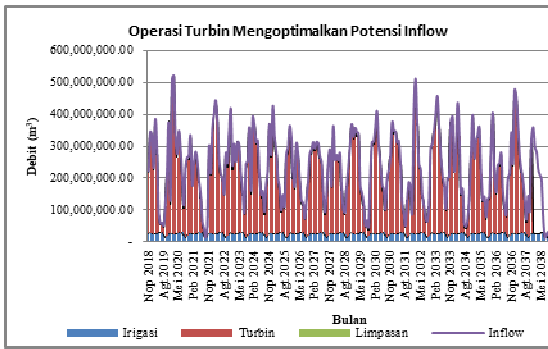


Gambar 7c. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan Pengendalian Sedimentasi *Dredging* (Operasi Turbin Maskimal 7,5 jam/ hari)

Hasil simulasi Operasi Waduk Mrica dengan upaya pengendalian sedimentasi *flushing* ditampilkan pada Gambar 8a, 8b, 8c, dan Tabel 2.

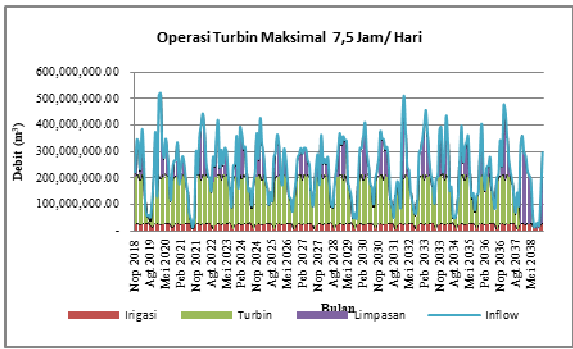
Tabel 2 Rekapitulasi inflow, outflow, dan produksi listrik Waduk Mrica Tahun 2019-2038 dengan upaya pengendalian sedimentasi *Flushing*

No.	Simulasi	inflow (m <sup>3</sup> )	Outflow (m <sup>3</sup> )			Produksi Listrik (GWH)
			Irigasi	Turbin	Limpasan	
1.	memaksimalkan potensi inflow	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	47.279.244.960,00	0	10.745,28
2.	operasi turbin maksimal rerata bulanan	56.626.538.136,79	5.849.847.144,19	37.736.361.368,63	11.424.237.366,08	8.576,45
3.	operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari	56.626.538.136,79	5.822.193.765,38	33.994.293.282,25	15.287.060.429,90	7.725,98



Gambar 8a. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan dengan Upaya Pengendalian Sedimentasi *Flushing* (Operasi Turbin Mengoptimalkan Potensi Inflow)

Gambar 8b. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan dengan Upaya Pengendalian Sedimentasi *Flushing* (Operasi Turbin Mengoptimalkan Potensi Inflow)

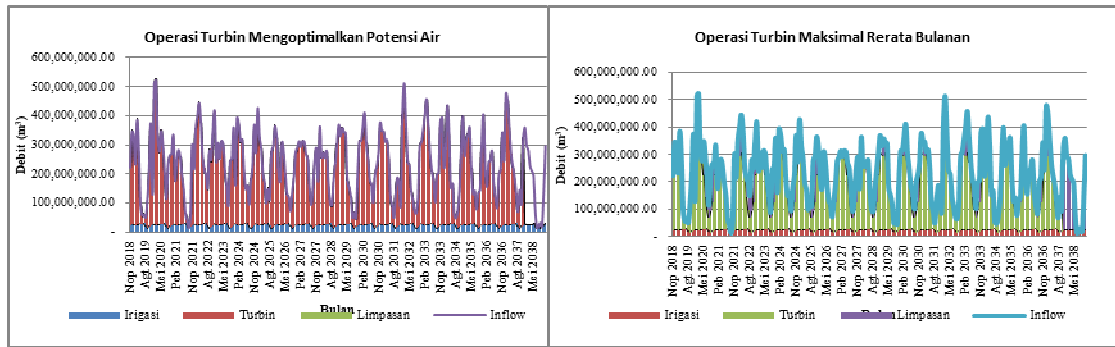


Gambar 8c. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan dengan Upaya Pengendalian Sedimentasi *Flushing* (Operasi Turbin Mengoptimalkan Potensi Inflow)

Hasil simulasi Operasi Waduk Mrica dengan upaya pengendalian sedimentasi pembangunan sabo dam ditampilkan pada Gambar 9a, 9b, 9c, dan Tabel 3.

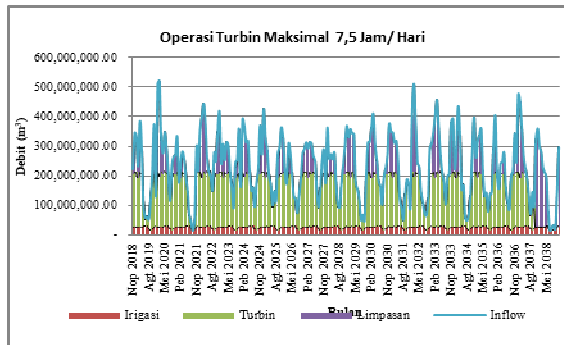
Tabel 3. Rekapitulasi inflow, outflow, dan produksi listrik Waduk Mrica Tahun 2019-2038 dengan upaya pengendalian sedimentasi Sabo Dam

No.	Simulasi	inflow (m <sup>3</sup> )	Outflow (m <sup>3</sup> )			Produksi Listrik (GWH)
			Irigasi	Turbin	Limpasan	
1.	memaksimalkan potensi inflow	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	48.808.745.038,49	0,00	11.092,90
2.	operasi turbin maksimal rerata bulanan	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	38.166.622.725,10	12.514.641.085,61	8.674,23
3.	operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	34.548.485.951,70	16.133.110.222,71	7.851,93



Gambar 9a. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan dengan Upaya Pengendalian Sedimentasi pembangunan sabo dam (Operasi Turbin Memaksimalkan Potensi Inflow)

Gambar 9b. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan dengan Upaya Pengendalian Sedimentasi pembangunan sabo dam (Operasi Turbin Maksimal Rerata Bulanan)

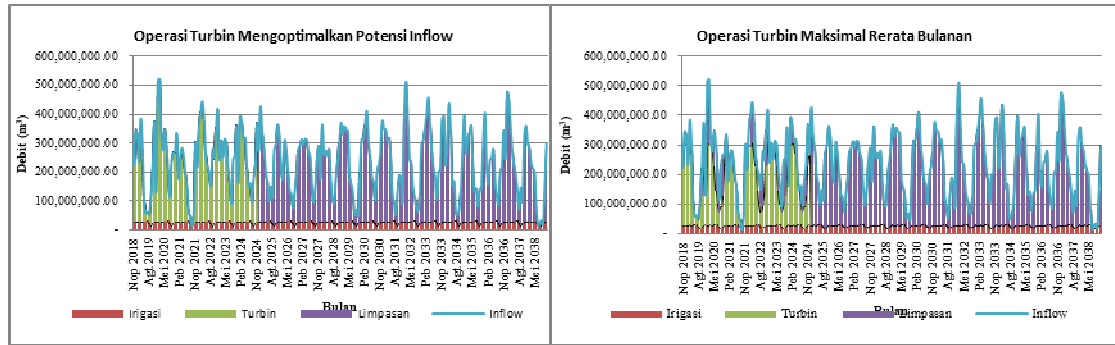


Gambar 9a. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan dengan Upaya Pengendalian Sedimentasi pembangunan sabo dam (Operasi Turbin Maksimal 7,5 Jam/ Hari)

Hasil simulasi Operasi Waduk Mrica tanpa upaya pengendalian sedimentasi ditampilkan pada Gambar 10a, 10b, 10 c, dan Tabel 4.

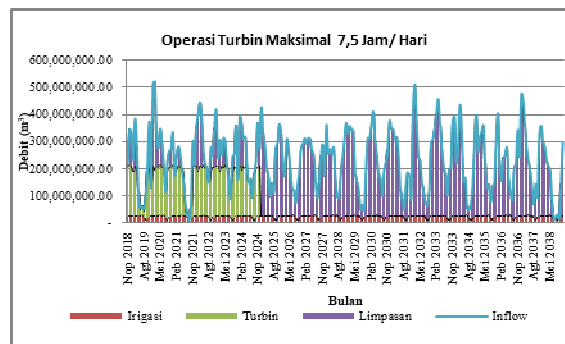
Tabel 4. Rekapitulasi inflow, outflow, dan produksi listrik Waduk Mrica Tahun 2019-2038 Tanpa Upaya Pengendalian Sedimentasi

No.	Simulasi	inflow (m <sup>3</sup> )	Outflow (m <sup>3</sup> )			Produksi Listrik (GWH)
			Irigasi	Turbin	Limpasan	
1.	memaksimalkan potensi inflow	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	16.166.390.760,00	34.539.653.318,67	3.674,18
2.	operasi turbin maksimal rerata bulanan	56.626.538.136,79	5.945.192.466,99	12.251.095.784,75	38.430.397.881,54	2.784,34
3.	operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari	56.626.538.136,79	5.942.423.407,50	11.410.035.532,57	39.223.130.543,91	2.593,19



Gambar 10a. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan Tanpa Upaya Pengendalian Sedimentasi (Operasi Turbin Memaksimalkan Potensi Inflow)

Gambar 10b. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan Tanpa Upaya Pengendalian Sedimentasi (Operasi Turbin Maksimal Rerata Bulanan)



Gambar 10c. Simulasi Operasi Waduk Mrica dengan Tanpa Upaya Pengendalian Sedimentasi (Operasi Turbin Maksimal 7,5 Jam/ Hari)

Biaya yang diperhitungkan adalah biaya operasi dan pemeliharaan rutin Waduk Mrica dan biaya untuk melaksanakan pengendalian sedimentasi setiap tahun. Perhitungan Biaya Pengendalian Sedimentasi Waduk Mrica ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Biaya Pengendalian Sedimentasi Waduk Mrica

No.	Alternatif Pengendalian Sedimentasi	Biaya (juta Rp.)
1.	<i>Flushing</i>	369.145,91
2.	<i>Dredging</i>	4.985.901,91
3.	Pembangunan dan pemeliharaan sabo dam	447.228,65
4.	Biaya OP Rutin	664.378,08

### Perhitungan Manfaat Waduk Mrica

Manfaat Waduk Mrica diperoleh dari besarnya debit untuk operasi turbin pada simulasi pola operasi Waduk. Perhitungan manfaat Waduk Mrica ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel Perhitungan Manfaat Waduk Mrica

No.	Simulasi	TDL	Nilai Manfaat (juta Rp.)
1.	Memaksimalkan potensi inflow		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	10.351.672,23
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	18.022.724,90
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	10.687.589,11
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	18.609.217,34
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	10.687.589,11
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	18.609.217,34
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	2.513.171,17
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	2.979.068,63
2.	Operasi turbin maksimal rerata		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	8.275.557,30
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	14.401.328,27
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	8.369.023,43
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	14.563.504,91
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	8.369.023,43
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	14.563.504,91
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	1.904.876,26
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	2.259.370,61
3.	Operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	7.418.670,85
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	12.861.484,04
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	7.539.557,98
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	13.070.452,49
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	7.539.557,98
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	13.070.452,49
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	1.779.628,42
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	2.116.454,49

### Perhitungan BCR

Metode *benefit ratio cost* dalam pembahasan ini menggunakan perbandingan antara nilai manfaat/ keuntungan yang akan diperoleh dengan nilai biaya yang harus dikeluarkan untuk pengendalian sedimentasi waduk untuk masing-masing alternatif. BCR diperoleh dengan membandingkan jumlah manfaat yang diperoleh dengan jumlah biaya yang harus dikeluarkan selama periode Tahun 2019 sampai dengan tahun 2038, yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan BCR

No.	Simulasi	TDL	BCR
1.	Memaksimalkan potensi inflow		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	9,952
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	17,374
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	1,879

	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	3,281
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	9,553
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	16,679
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	3,677
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	4,378
2.	Operasi turbin maksimal rerata bulanan		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	8,007
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	13,934
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	1,481
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	2,577
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	7,529
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	13,101
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	2,867
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	3,401
3.	Operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari		
	i. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	7,18
	j. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	12,44
	k. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	1,33
	l. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	2,31
	m. Upaya pengendalian sabo dam	5%	6,78
	n. Upaya pengendalian sabo dam	10%	11,76
	o. Tanpa upaya pengendalian	5%	2,68
	p. Tanpa upaya pengendalian	10%	3,19

### Perhitungan *Net Present Value* (NPV)

NPV diperoleh dari selisih antara PWB (*Present Worth of Benefit*) dan PWC (*Present Worth of Cost*). Perhitungan NPV untuk masing-masing alternatif pengendalian sedimentasi Waduk Mrica ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan NPV

No.	Simulasi	TDL	NPV (juta Rp.)
1.	Memaksimalkan potensi inflow		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	3.159.705,998
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	4.873.055,407
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	1.737.904,541
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	3.506.888,610
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	3.139.526,839
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	4.908.510,908
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	1.486.381,819
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	1.770.503,734
2.	Operasi turbin maksimal rerata bulanan		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	2.439.638,862
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	3.815.671,404
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	937.355,121
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	2.265.019,990
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	2.338.977,419



	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	3.730.220,740
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	1.073.512,191
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	1.288.292,115
3.	Operasi turbin maksimal 7,5 jam/ hari		
	a. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	5%	2.179.714,97
	b. Upaya pengendalian <i>flushing</i>	10%	3.410.238,59
	c. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	5%	638.144,52
	d. Upaya pengendalian <i>dredging</i>	10%	1.936.655,95
	e. Upaya pengendalian sabo dam	5%	2.087.573,62
	f. Upaya pengendalian sabo dam	10%	3.338.278,25
	g. Tanpa upaya pengendalian	5%	979.151,80
	h. Tanpa upaya pengendalian	10%	1.182.964,42

## PEMBAHASAN

### Operasi dan Pemeliharaan Waduk Mrica Eksisting

Produksi listrik Waduk Mrica pada tahun 2009 – 2018 tidak dapat optimal karena potensi inflow yang tersedia tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal. Karena operasi turbin mengikuti arahan dari PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B). Produksi listrik rata-rata tiap tahun adalah 498,73 GWh. Ketiga turbin bekerja rata-rata 7 jam 29 menit per hari pada beban puncak sesuai. Produksi listrik Waduk Mrica dapat lebih dioptimalkan karena air yang melimpas sangat banyak. Limpasan yang terjadi rata-rata sebesar 2,43 m<sup>3</sup>/dtk, limpasan terbesar terjadi pada Bulan Nopember 2012 sebesar 43,86 m<sup>3</sup>/dtk. Hal ini sesuai dengan penelitian Gatot Sulisty (2005) yang menyebutkan bahwa masa manfaat Waduk Mrica akan habis pada Tahun 2018 dan jika PLTA masih beroperasi maka seolah-olah akan berfungsi sebagai *run off river*. Dengan laju sedimentasi 4,3 juta m<sup>3</sup> per tahun, maka mulai pada Tahun 2014 kapasitas tampungan waduk tidak akan menampung debit inflow secara utuh lagi sehingga secara otomatis akan selalu melimpas ke *spillway*.

### Pemeliharaan Waduk Mrica Eksisting

Pemeliharaan yang selama ini dilaksanakan di Waduk Mrica adalah *flushing* dan sabo Dam Kali Lumajang. *Flushing* dilaksanakan sebanyak 484.697,63 m<sup>3</sup>/ tahun dan sabo dam Kali Lumajang mampu menampung sedimen 1.370 m<sup>3</sup>/ tahun, sehingga total sedimen yang dapat dikendalikan adalah 969.395,26 m<sup>3</sup>/ tahun, Sedangkan laju sedimentasi rata-rata Waduk Mrica adalah 4,069 juta m<sup>3</sup>/ tahun. Laju sedimentasi yang terjadi di Waduk Mrica lebih besar daripada laju pengendaliannya sehingga masih memerlukan pengendalian sedimen sebesar 2.758.000 m<sup>3</sup> yang mampu menahan sedimen sehingga Waduk Mrica dapat mencapai umur rencananya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Dyah Ari Wulandari (2007), yang menyatakn bahwa dengan *flushing* sebanyak 4 kali sampai dengan tahun 2006 sedimen yang terbuang hanya 188.630 m<sup>3</sup> sehingga tidak mampu mengimbangi laju sedimentasi yang terjadi dan umur waduk hanya 30 tahun saja.

### **Flushing Waduk Mrica**

*Flushing* yang dilakukan di Waduk Mrica adalah untuk mengeluarkan sebesar 2.758.000 m<sup>3</sup>/ tahun sedimen yang membutuhkan air penggelontor sebanyak 80.153.094,75 m<sup>3</sup>/ tahun. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Hari Krisetyana (2007) yang menyebutkan bahwa nilai konsentrasi sedimen *flushing* Waduk Mrica adalah 5,71%, yang berarti bahwa volume sedimen yang dapat digelontor keluar dari dalam waduk sangat kecil dibandingkan dengan volume air yang digunakan. Walaupun demikian, *flushing* masih memungkinkan untuk dilakukan karena inflow rata-rata sebesar 2.145.421.172,45 m<sup>3</sup>/ tahun.

### **Dredging Waduk Mrica**

Peralatan pengerukan yang digunakan adalah *Cutter Suction Dredger*. Kandungan air dalam pengerukan adalah 80% dan sedimen 20%.

### **Pembangunan Sabo Dam di Hulu Waduk Mrica**

Sabo dam direncanakan dapat menampung sedimen sebanyak 2,758 juta m<sup>3</sup>/ tahun. Jika pembangunan sabo dam yang baru di alur Sungai Merawu, maka waktu yang dibutuhkan untuk mengisi sabo sam sampai penuh adalah 1 bulan 16 hari. Biaya operasi dan pemeliharaan sabo dam sebesar 5% dari nilai investasi awal digunakan antara lain sebagai biaya penggalian sedimen jika sabo dam sudah terisi penuh. Kenaikan biaya ini sebesar 5% setiap tahun. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Achmad Fauzi Bachtiar (2006), yang menyebutkan bahwa Pengendalian erosi tanah dilakukan dengan mengganti teras pola lama ke teras bangku, walaupun tanpa pohon pelindung, membangun sabo berkapasitas besar direncanakan sebanyak 9 buah dengan kapasitas pengendalian sedimen sebesar 4,617 juta m<sup>3</sup> dan sabo berkapasitas kecil direncanakan 33 buah, dan 1 buah bangunan sabo penahan sedimen hasil longsor. Konservasi lahan dan bangunan sabo yang disertai penambangan galian C masing-masing memperpanjang umur layanan waduk menjadi 39 tahun. Sedangkan kombinasi konservasi lahan dan bangunan sabo dapat memperpanjang umur layanan waduk menjadi 47 tahun.

### **Perhitungan Manfaat Waduk Mrica**

Pengendalian Waduk Mrica sebanyak 2.758.000 m<sup>3</sup>/ tahun akan mengembalikan umur waduk sesuai umur rencana waduk sampai dengan tahun 2038. Analisis ekonomi pengendalian sedimentasi Waduk Mrica dengan metode BCR mendapatkan nilai BCR > 1, yang menunjukkan bahwa kegiatan ini adalah layak untuk dilaksanakan karena jika nilai BCR > 1, maka proyek tersebut layak (*feasible*). Analisis ekonomi mendapatkan hasil bahwa BCR terbesar diperoleh pengendalian sedimentasi *flushing* ketika turbin beroperasi memaksimalkan potensi inflow dengan kenaikan TDL 10% yaitu sebesar 17,44. Sedangkan dengan metode NPV, menghasilkan nilai NPV > 0 yang berarti bahwa kegiatan ini akan menguntungkan, karena jika NPV > 0 artinya investasi akan menguntungkan/ layak (*feasible*). NPV terbesar diperoleh pengendalian sedimentasi pembangunan sabo dam ketika turbin beroperasi memaksimalkan potensi inflow dengan kenaikan TDL 10% sebesar Rp. 4.908.510.910.000,00.

### **KESIMPULAN**

Pola operasi Waduk Mrica eksisting menunjukkan bahwa masih banyak

air yang terbuang melalui spillway karena tidak dimanfaatkan secara maksimal. Waduk Mrica masih diatur pengoperasiannya oleh PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Region Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta yang berkedudukan di Ungaran. Pemeliharaan Waduk Mrica terutama pengendalian sedimentasi selama ini hanya dengan metode *flushing* yang tidak mampu mengimbangi laju sedimentasi sehingga diprediksi Waduk Mrica tidak dapat mencapai umur rencana sampai tahun 2038. Alternatif pengendalian sedimentasi Waduk Mrica yang dapat dilakukan adalah *flushing*, *dredging*, dan pembangunan sabo dam di hulu Waduk Mrica. Hasil analisis ekonomi alternatif pengendalian sedimentasi Waduk Mrica menunjukkan bahwa pengendalian sedimentasi dengan *flushing* merupakan alternatif pengendalian sedimen yang paling ekonomis. Perhitungan analisis ekonomi alternatif pengendalian sedimentasi Waduk Mrica dengan berbagai skenario mendapatkan hasil bahwa BCR terbesar diperoleh pengendalian sedimentasi *flushing* ketika turbin beroperasi memaksimalkan potensi inflow dengan kenaikan TDL 10% dan NPV terbesar diperoleh pengendalian sedimentasi pembangunan sabo dam ketika turbin beroperasi memaksimalkan potensi inflow dengan kenaikan TDL 10%.

## SARAN

Pengendalian sedimentasi Waduk Mrica akan lebih efektif jika beberapa alternatif pengendalian sedimentasi diterapkan bersama-sama di Waduk Mrica. Meskipun sedimentasi sudah memenuhi seluruh tampungannya, Waduk Mrica tetap bisa beroperasi dengan pemeliharaan rutin *flushing* sebesar 63.750 m<sup>3</sup> supaya intake turbin dan pintu drowdown culvert tetap beroperasi, sehingga Waduk Mrica bisa memproduksi listrik dengan mengoptimalkan debit inflow yang masuk ke Waduk Mrica (*run of river*). Waduk Mrica memerlukan alternatif lain untuk mengendalikan sedimentasinya, yaitu dengan menekan produksi sedimen di daerah hulu, terutama daerah pertanian semusim seperti kentang di daerah Dieng dan sekitarnya.

## DAFTAR RUJUKAN

- Asdak, C. (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (keempat)*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Bachtiar, F.A. (2006). *Kajian Pengendalian Sedimentasi Waduk Panglima Besar Soedirman Dengan Teknologi Sabo*. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Giatman, M. (2005). *Ekonomi Teknik*. Jakarta : PT. Rajagrafindo Persada.
- Haryono, et al. (2012). Penerapan Teknik Sabo untuk Pengendalian Daya Rusak Air di Dataran Tinggi Dieng. *Jurnal Teknik Hidraulik* Vol. 3 No. 2, Desember 2012 : 157-168.
- Kodoatie, Robert J. (2005). *Analisis Ekonomi Teknik*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Krisetyana, H. (2008). *Tingkat Efisiensi Penggelontoren Endapan Sedimen Waduk PLTA PB. Sudirman*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Marsudiantoro, D. S. (2012). *Laporan Draft Final Pekejaan Penanganan Sedimen di Waduk Saguling*. [www.researchgate.net/publication/305660684](http://www.researchgate.net/publication/305660684).
- PT. Indonesia Power. (2018). *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA Banjarnegara*.

- Setyaningtyas, A. dan Hapsari, A. F. (2010). *Perencanaan Operasi dan Konservasi Waduk Mrica (PB. Soedirman) Banjarnegara*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Soewarno dan Sukatja, B. (2010). *Kinerja Dam Sabo K. Lumajang untuk Pengendalian Sedimentasi Waduk Mrica*. *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 6 No. 1 Mei 2010 : 1-100.
- Soewarno. (2014). *Hidrometri dan Aplikasi Teknosabo dalam Pengelolaan Sumber Daya Air (Seri Hidrologi)*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Sulistyo, G. (2005). *Kajian Pola Operasi PLTA PB. Soedirman dengan Mempertimbangkan Laju Sedimentasi*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sunandar, R. (2017). *Analisis Erosi dan Sedimentasi Bendungan Mrica Banjarnegara*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Suyanto, A., Sunaryo, T., dan Syarief, R. (2001). *Ekonomi Teknik Proyek Sumber Daya Air*. PT. Mediatama Saptakarya Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum Pekerjaan Umum dan Masyarakat Hidrologi Indonesia (HMI).
- Wulandari, D.A. (2007). *Penanganan Sedimentasi Waduk Mrica*. *Berkala Ilmiah Teknik Keairan* Vol. 13, No. 4-Desember 2007, ISSN 0854-4549 Akreditasi No. 23.a/DIKTI/KEP/2004.