



---

## IMPLICATION OF EROSION RATE IN MOYO RIVER BASIN ON THE BATU BULAN RESERVOIR RESERVOIR OPERATION PATTERN

Oleh

Faeruzza Athiya<sup>1)</sup>, Ery Setiawan<sup>2)</sup> & Heri Sulistiyono<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Magister Teknis Sipil, Universitas Mataram

<sup>2,3)</sup>Pengajar Program Studi Magister Teknis Sipil, Universitas Mataram

Email: [ery.setiawan@unram.ac.id](mailto:ery.setiawan@unram.ac.id)

### Abstrak

Permasalahan yang membuat kinerja dan kemampuan layanan waduk terganggu antara lain: 1) perubahan dinamika sosial dalam ruang dan waktu di dalam DAS yang dapat meningkatkan laju erosi dan sedimentasi terdeposit dalam waduk sehingga menyebabkan tampungan waduk berkurang, 2) tidak efektifnya pola pengoperasian waduk akibat tidak liniernya kebutuhan air dengan ketersediaan air (inflow). Tujuan dari penelitian ini melakukan evaluasi sebagai implikasi sedimentasi dalam waduk terhadap pola operasi waduk Batu Bulan Di Kabupaten Sumbawa, Provinsi NTB. Manfaatnya dapat menjadi referensi dan rekomendasi untuk instansi terkait dalam upaya kegiatan operasi dan pemeliharaan waduk. Metode yang diterapkan berupa analisis deskriptif kualitatif terhadap data hidroklimatologi setengah bulanan sepanjang 10 tahun untuk pendugaan laju erosi dan sedimentasi menggunakan metode USLE. Data inflow digunakan dalam simulasi neraca air untuk menentukan keandalan 20% sebagai kurva batas normal atas dan keandalan 80% sebagai kurva bawah normal bawah pada kurva pola operasi waduk (rule curve). Hasil prediksi sedimentasi dengan SDR sebesar 0.540 mcm/tahun, sehingga secara fungsi linier, tampungan Waduk Batu Bulan selama kurun waktu 17 tahun mengalami pengurangan volume tampungan antara 0.6 juta m<sup>3</sup> sampai dengan 4.75 juta m<sup>3</sup>. dan prediksi tampungan efektif Waduk Batu Bulan saat ini berada pada kisaran 48,85-53 mcm. Hasil kurva POW eksisting menunjukkan bahwa pada kondisi tahun basah berada di atas zona operasi normal, kondisi tahun normal 100% berada pada zona operasi normal, sedangkan untuk kondisi tahun kering memasuki zona kritis selama kurang lebih 7 bulan, yaitu periode bulan Mei-2 sampai dengan Januari-1, sehingga pemberian air mengikuti aturan pola operasi waduk yang ada.

**Kata Kunci: Sedimentasi, Simulasi, Inflow Andalan, Rule Curve & Zona Kritis**

### PENDAHULUAN

Permasalahan yang menyebabkan kinerja waduk terganggu, salah satunya adalah berkurangnya tampungan efektif waduk. Hal ini sering dialami oleh beberapa waduk akibat pendangkalan yang disebabkan oleh sedimentasi yang masuk ke dalam waduk.

Kondisi waduk Batu Bulan di DAS Moyo, secara visual mulai nampak sedimentasi di dalam waduk, terutama di bagian kanan genangan di depan *intake tower* VH (*valve house*)-2 dan VH-3. Waduk Batu Bulan saat ini mengalami penurunan kapasitas efektif tampungan waduk yang sangat signifikan yang disebabkan oleh volume sedimentasi yang ada diwaduk. Tampungan Waduk Batu Bulan pada elevasi

+60.00 tahun 2019 kurang lebih berkisar antara 48.85 juta m<sup>3</sup> sampai dengan 53 juta m<sup>3</sup> dari volume tampungan awal tahun 2002 sebesar 53.60 juta m<sup>3</sup>. Artinya bahwa tampungan Waduk Batu Bulan selama kurun waktu 17 tahun mengalami pengurangan volume tampungan kurang lebih antara 0.6 juta m<sup>3</sup> sampai dengan 4.75 juta m<sup>3</sup> (sumber: OP SDA BWS, NT I, 2018), sehingga secara kuantitas akan mengalami perubahan kurva lengkung kapasitas/karakteristik Waduk Batu Bulan eksisting. Hal ini otomatis juga akan berpengaruh terhadap pola operasi waduknya. Perubahan ini juga akan berimbas pada pelayanan terhadap pemenuhan kebutuhan air irigasinya.



Berkaitan dengan hal tersebut perlu dilakukan penelitian guna mendapatkan informasi sejauh mana laju erosi yang terjadi dan bagaimana perubahan terhadap pola operasi waduk batu bulan akibat laju erosi dan potensi sedimen yang ada.

## LANDASAN TEORI

### Laju Erosi dan Sedimentasi

Erosi merupakan salah satu penyebab timbulnya sedimentasi, baik secara alamiah, geologi, maupun akibat campur tangan manusia (Arsyad, 2009 dan Soetopo W, 2010). Laju sedimentasi yang tinggi akan mengakibatkan umur layanan bendungan menjadi berkurang dari yang direncanakan (Suroso S & Widiyanto 2009). Adanya penggundulan hutan pada daerah pengaliran sungai dan perubahan fungsi lahan menyebabkan terjadinya erosi pada tanah sekitar, sehingga mempercepat pendangkalan pada bendungan (Winarno. J, 2007). Perbandingan antara sedimen yang terukur di outlet dan erosi lahan biasa disebut dengan Sediment Delivery Ratio (SDR). Secara umum, besarnya SDR cenderung berbanding terbalik terhadap luas DAS, makin luas DAS makin kecil nilai SDR (Soemarto, 1995).

### Pendugaan Laju Erosi USLE

Salah satu metode untuk memperkirakan/prediksi jumlah tanah hilang maksimum (erosi) dengan menggunakan formula USLE (Universal Soil Loss Equation), yaitu:

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

Di mana :

$E$  = jumlah tanah hilang (tererosi) rata-rata per tahun (t/ha/tahun)

$R$  = faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan

$K$  = faktor erodibilitas tanah, yaitu laju erosi per indeks erosi hujan ( $R$ )

$LS$  = faktor panjang-kemiringan lereng,

$C$  = faktor tanaman penutup lahan,

$P$  = faktor tindakan konservasi praktis (manajemen tanaman).

### 1. Erosivitas Hujan, $R$

Persamaan untuk erosivitas hujan adalah sebagai berikut:

$R =$

$$6.21 (RAIN)^{1.21} (DAYS)^{-0.47} (MAXP)^{0.53}$$

(2)

dengan:

$R$  : Erosivitas hujan rata rata tahunan

$RAIN$  : Curah hujan rata rata tahunan (cm)

$DAYS$  : Jumlah hari hujan rata-rata pertahun (hari)

$MAXP$  : Curah hujan maks rata-rata dalam 24 jam perbulan (cm)

### 2. Erodibilitas Tanah, $K$

Erodibilitas tanah, atau faktor kepekaan erosi tanah, yang merupakan daya tahan tanah baik terhadap penglepasan dan pengangkutan, terutama tergantung pada sifat-sifat tanah, seperti tekstur, stabilitas agregat, kekuatan geser, kapasitas infiltrasi, kandungan bahan organik dan kimiawi.

### 3. Panjang dan Kemiringan Lereng

Faktor  $LS$ , kombinasi antara faktor panjang lereng ( $L$ ) dan kemiringan lereng ( $S$ ) adalah dideskripsikan dalam tabel di bawah ini

Tabel 1 Kelas  $LS$ .

No.	Kelas	Penilaian $LS$
1	0-5	0.25
2	>5-15	1.20
3	>15-35	4.25
4	>35-50	9.50
5	>50	12.00

### Faktor Tanaman Penutup ( $C$ ) dan Pengelolaan Tanaman, ( $P$ )

Faktor  $CP$  menggambarkan nisbah antara besarnya erosi dari lahan yang bertanaman tertentu dan manajemen (pengelolaan) tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih. Faktor ini mengukur kombinasi pengaruh tanaman dan pengelolannya. Merupakan rasio dari tanah pada tanaman tertentu dengan tanah gundul. Pada tanah gundul (petak baku) nilai  $C = 1.0$ .

### 1. Kerentanan Erosi



Peta kerentanan erosi di peroleh dari (*overlay*) peta faktor USLE, yaitu : peta erosivitas hujan, R; peta erodibilitas tanah, K; peta kemiringan – panjang lereng, LS; dan peta CP. Dari hasil analisis diperoleh nilai erosi yang telah di klasifikasikan sesuai besarnya. Klasifikasi erosi berdasarkan laju erosi lahan ditampilkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2 Klasifikasi kerentanan bahaya erosi**

Kelas Erosi	Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)	Tingkat Bahaya Erosi
1	< 15	Sangat ringan
2	15-60	Ringan
3	60-80	Sedang
4	180-280	Berat
5	>480	Sangat Berat

**Sediment Delivery Ratio (SDR)**

SDR dapat juga ditentukan berdasarkan persamaan empiris yang merupakan fungsi dari luas DAS, untuk menentukan *sediment delivery ratio* (SDR) digunakan rumus Boyce (1975), yaitu :

$$SDR = 0,41 A^{-0,3} \tag{3}$$

dengan:

SDR = *sediment delivery ratio*

A = luas DAS (ha)

**Jumlah Angkatan Sedimen**

Angkutan sedimen im berdasarkan perkalian antara besarnya erosi dan nilai SDR dengan persamaan berikut ini:

$$SY = SDR \times E \tag{4}$$

dengan:

SY = besarnya angkutan sedimen (ton/ha/th)

SDR = *sediment delivery ratio* (SDR)

E = besarnya erosi (ton/ha/th)

**Simulasi Neraca Air Waduk**

Persamaan untuk simulasi neraca air waduk adalah sebagai berikut Persamaan (2.3) dapat ditulis secara lebih spesifik sebagai berikut :

$$S_{(t+1)} = S_t + I - R - Sp - L \tag{5}$$

Dengan R adalah volume debit lepasan terkontrol, Sp adalah volume debit limpahan (tak

terkontrol), dan L adalah total bersih volume debit minor kehilangan yang keluar waduk (evaporasi, rembesan, curah hujan di waduk) (Soetopo W, 2010).

**Kurva Pola Operasi Waduk (Rule Curve)**

Kurva pola operasi waduk disusun dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Kurva batas normal atas dibentuk oleh Q20% inflow hasil neraca air,
2. Kurva batas normal bawah dibentuk oleh Q80% inflow hasil neraca air,
3. *Normal water level* (NWL) berada pada *crest* pelimpah pada elevai +60.00,
4. *Minimal operation level* (MOL) berada pada elevasi +55.00,
5. *Dead storage* (DS) berada pada pengambilan yaitu elevasi +49.25.

**METODE PENELITIAN**

Berikut ini akan dijelaskan tahapan dan metode dalam melaksanakan studi yang akan dilakukan untuk mempermudah penyusun dalam penyelesaian penelitian ini, antara lain :

1. Pengolahan DEM (*Digital Elevation Model*) resolusi grid ukuran 90x90 m<sup>2</sup> untuk proses pemodelan DAS,
2. Interpretasi peta tata guna lahan menggunakan bantuan perangkat lunak ArcGIS,
3. Pengolahan peta tata guna lahan dan jenis tanah dengan format grid sesuai resolusi data DEM,
4. Melakukan running dengan metode USLE untuk memperoleh hasil laju erosi dan sedimen,
5. Menentukan tingkat bahaya erosi dengan melakukan overlay antara peta laju erosi,
6. Menentukan nilai SDR dan jumlah sedimen terdeposit,
7. Melakukan simulasi waduk untuk menentukan pola operasi waduk eksisting,
8. Membuat kurva operasi waduk (*rule cuve*) berdasarkan hasil simulasi di eksisting, dengan kurva batas normal atas andalan 20% dan batas normal bawah andalan 80%,
9. Menentukan kurva operasi waduk untuk rencana operasi pada tahun normal, tahun basah dan tahun kering,

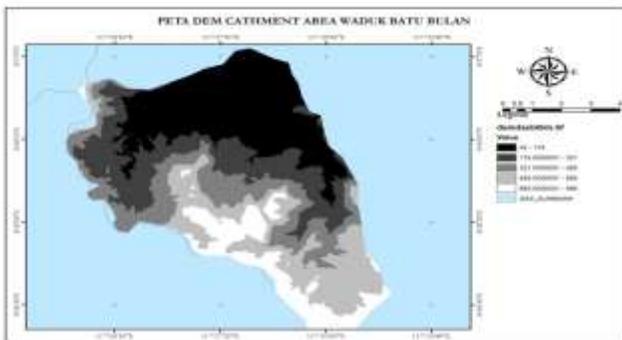


**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Peta DEM DAS Moyo di Waduk Batu Bulan**

Hasil pengolahan DEM (*Digital Elevation Model*) resolusi grid ukuran 90x90 m<sup>2</sup> pada proses DAS pemodelan DAS Moyo di Waduk Batu Bulan dihasilkan seperti yang disajikan pada Gambar 1.

**Gambar 1** Peta DEM Waduk Batu Bulan



**Laju Erosi**

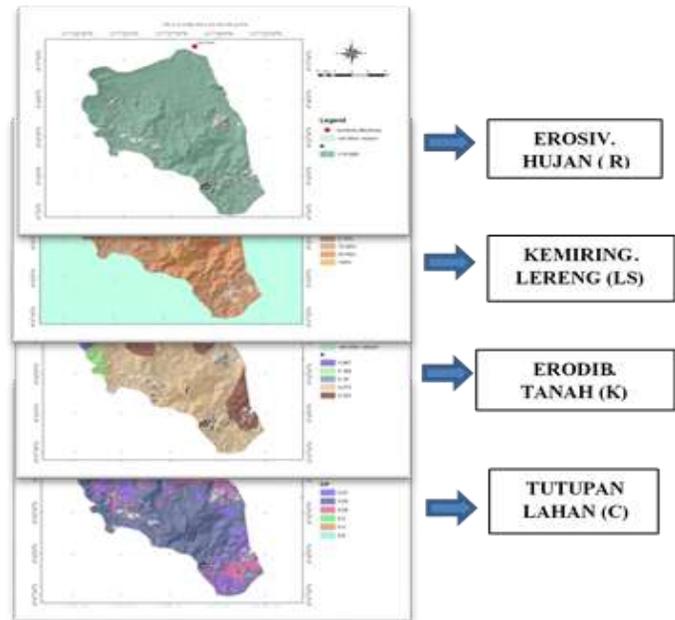
Analisa besarnya laju erosi di waduk batu bulan pada das moyo dengan menggunakan metode USLE terlebih dahulu dengan variable-variable pembentuk erosi, yaitu nilai erosivitas hujan (R), factor erodibilitas tanah (K), factor kemiringan dan panjang lereng (LS), factor pengolahan tanaman (C) konservasi tanah (P) seperti disajikan pada Gambar 2, sedangkan hasil Laju erosi seperti disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3** Pendugaan Tingkat Bahaya Erosi

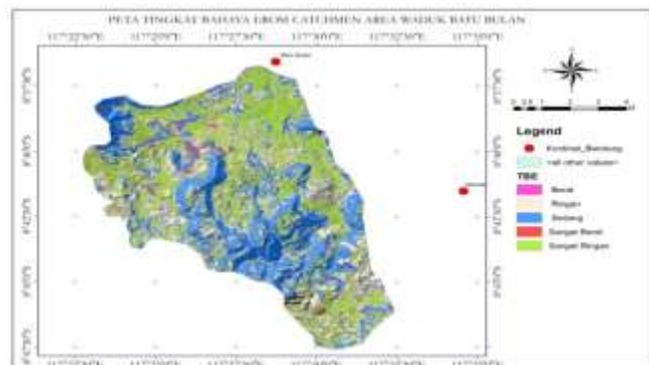
Kelas	Laju erosi	Luas (km2)	Persentase	Keterangan
I	<15	75.07	38.70%	sangat ringan
II	15-60	54.66	28.18%	ringan
III	60-80	61.88	31.90%	sedang
IV	180-480	0.66	0.34%	berat
V	>480	1.73	0.89%	sangat berat

Sumber : Hasil Analisis

**Gambar 2** Analisis prediksi laju erosi DAS Moyo di Waduk Batu Bulan



**Gambar 3.** Peta Tingkat Bahaya Erosi Waduk Batu Bulan.



Berdasarkan hasil pendugaan laju erosi diatas kemudian dihasilkan peta tingkat bahaya erosi berdasarkan overlay menggunakan software arcGis seperti dibawah ini.

Berdasarkan hasil overlay kemudian didapatkan hasil perhitungan SDR dan prediksi laju sedimen disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut untuk kelas tererosi sangat ringan memiliki total angkutan sedimen sebesar 4.383 ton/tahun, sedangkan untuk kelas yang tererosi ringan total angkutan sedimen sebesar 25.048 ton.tahun, untuk kelas yang tererosi sedang total angkutan sedimen sebesar 51.979 ton/tahun,



untuk untuk kelas yang tererosi berat total angkutan sedimen sebesar 53.095 ton/tahun dan 298.229 ton/tahun untuk kelas yang tererosi berat dengan total keseluruhan sebesar 432.734 ton/tahun atau ekuivalen dengan 0.54 mcm/tahun.

**Tabel 4. Hasil prediksi sedimen**

Kelas	Laju erosi	Luas (km <sup>2</sup> )	Ket	Sedimen (Ton/thn)	Sedimen (m <sup>3</sup> /thn)
I	<15	75.07	sangat ringan	4.383	5.479
II	15-60	54.66	ringan	25.048	31.310
III	60-80	61.88	sedang	51.979	64.974
IV	180-480	0.66	berat	53.095	66.369
V	>480	1.73	sangat berat	298.229	372.786

Sumber : Hasil Analisis Arcgis

### Penyusunan Kurva Pola Operasi Waduk (POW) Batu Bulan

Pola operasi waduk yang disusun berdasarkan data historis sepanjang 10 tahun menggunakan simulasi neraca air (water balance) waduk, dengan mempertimbangkan kondisi pada tahun normal, tahun basah dan tahun kering. Beberapa pedoman atau aturan dalam menyusun POW Batu Bulan adalah sebagai berikut.

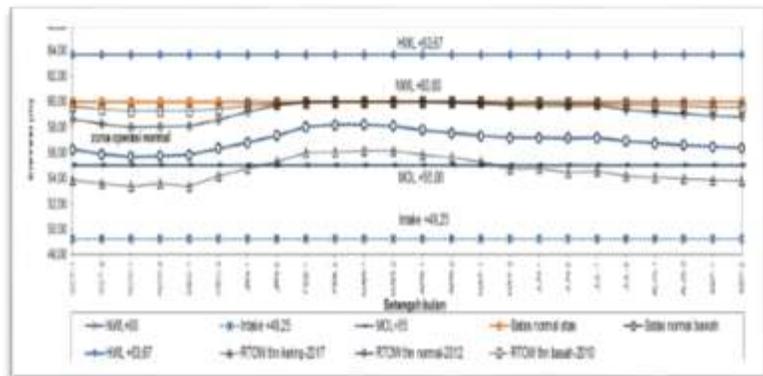
- Elevasi air normal atau NWL berada pada *crest* pelimpah yaitu pada elevasi +60.00, batas minimal operasi (MOL) waduk berada pada elevasi +55.00, sedangkan batas elevasi tampungan mati (*dead storage*) berada pada elevasi pintu pengambilan (*intake*) yaitu +49.25.
- Outflow* mempertimbangkan pola dan intensitas tanam eksisting selama 5 tahun terakhir dari intensitas terkait, yaitu : MT I : Padi – MT II : Padi/Palawija, seluas +/- 5576 Ha.
- Inflow* disusun berdasarkan ketersediaan air hasil pencatatan dari petugas pengamat Waduk Batu Bulan dengan mempertimbangkan volume tampungan hasil analisis sedimentasi waduk dan *outflow*.
- Rule Curves* dibuat dengan mempertimbangkan kecenderungan (*trend*) *inflow* ke waduk, baik pada tahun normal,

tahun kering maupun tahun basah (pasal 47 Permen PUPR no 27/2015).

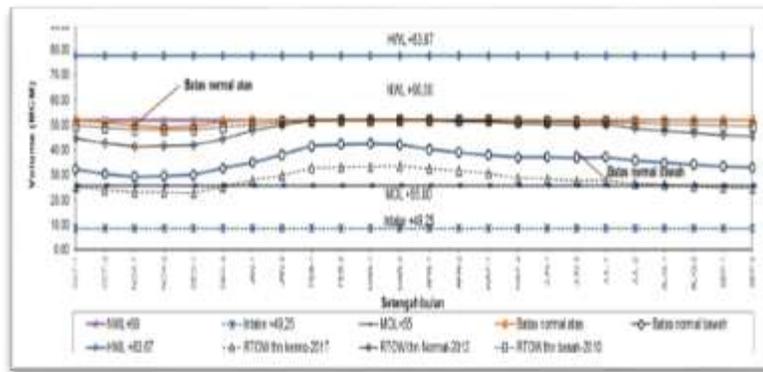
- Kurva batas normal atas dianalisis berdasarkan simulasi *water balance* mempertimbangkan kondisi tahun basah (Q-andalan 20).
- Kurva batas normal bawah dianalisis berdasarkan simulasi *water balance* mempertimbangkan kondisi tahun kering (Q-andalan 80%) dengan penggunaan menyesuaikan pada zona kritis.
- Zona kritis adalah zona dimana kurva batas normal bawah berada dibawah elevasi muka air minimal operasi (MOL).

Gambar 4 dan 5 secara berturut-turut menyajikan hasil kurva pola operasi waduk (POW) Batu Bulan, baik dalam bentuk volume maupun elevasi.

**Gambar 4 Pola operasi waduk Batu Bulan (dalam elevasi-m).**



**Gambar 5 Pola operasi waduk Batu Bulan (dalam volume-mcm).**





### Pola Operasi Waduk Tahun Normal

Aturan pola operasi waduk pada tahun normal adalah sebagai berikut:

- a. Elevasi muka air (kurva) terletak di antara elevasi MOL (+55.00) sampai dengan elevasi NWL (+60.00), atau terletak di antara kurva batas normal atas sampai dengan batas normal bawah kurva operasi waduk.
- b. Pada semua masa tanam (MT-I & MT-II), kurva menunjukkan pemenuhan kebutuhan 100 % (terlayani semua) sehingga pengeluaran air ke sistem jaringan irigasi menggunakan faktor  $K = 1$ .

### Operasi Tahun Basah

Aturan pola operasi waduk pada tahun basah adalah sebagai berikut:

- a. Elevasi muka air (kurva) terletak di antara batas normal bawah *rule curve* (kurva operasi waduk) sampai dengan elevasi HWL (+63.67), atau terletak di antara elevasi NWL (+60.00) dan HWL (+63.67).
- b. Jika elevasi muka air di antara elevasi NWL (+60.00) dan HWL (+63.67), karena batas atas kurva waduk adalah elevasi mercu pelimpah (+60.00), maka dengan sendirinya debit akan melimpah sehingga muka air tetap dipertahankan pada elevasi mercu pelimpah (NWL +60.00). Sedangkan pengeluaran air untuk pemenuhan kebutuhan 100 % terlayani semua.
- c. Jika elevasi muka air di antara batas normal bawah dan NWL (+60.00), maka aturan pengeluaran air mengikuti RTOW tahun normal. Pada semua masa tanam (MT-I & MT-II), kurva menunjukkan pemenuhan kebutuhan 100 % (terlayani semua) sehingga pengeluaran air ke sistem jaringan irigasi menggunakan faktor  $K = 1$ .

### Operasi Tahun Kering

Aturan pola operasi waduk pada tahun kering adalah sebagai berikut:

- a. Sebagian elevasi muka air (kurva) terletak di antara batas normal bawah dan batas normal atas dan sebagian lagi berada di antara elevasi MOL (+ 55.00) dan elevasi intake (+49.25) pada kurva operasi waduk.

- b. Pada MT-I, kondisi tahun kering, terjadi penurunan karena waduk kosong dan inflow kecil menunjukkan grafik pemenuhan kebutuhan yang naik turun (fluktuatif) cukup signifikan, ini terlihat jika elevasi muka air berada pada zona kritis (berada di bawah elevasi MOL, mendekati batas normal bawah), maka penggunaan faktor  $K$  menyesuaikan terhadap ketersediaan air atau  $0,6 \leq K \leq 0,75$  untuk MT-I tersebut. Jika pada MT I ini elevasi muka air waduk (pada batas normal bawah) berada tepat dead storage (DS) +49,25 maka pemberian air dihentikan untuk semua pengambilan.
- c. Pada MT-II terjadi peningkatan inflow di waduk seiring dengan peningkatan pemenuhan kebutuhan (terjadi saat pertengahan musim hujan). Hal ini ditunjukkan oleh elevasi muka air di atas elevasi MOL sampai dengan batas normal atas. Tetapi jika elevasi muka air waduk berada di bawah MOL sampai dengan batas normal bawah, maka penggunaan faktor  $K$  menyesuaikan terhadap ketersediaan air atau  $0,6 \leq K \leq 0,75$  (bisa juga  $K < 0,6$ ) untuk MT-II tersebut.
- d. Bila elevasi batas normal bawah muka air waduk mendekati dan/atau tepat berada pada elevasi *dead storage* (DS) atau intake pada +49,25 maka otomatis pemberian air dihentikan untuk semua pintu pengambilan/intake.
- e. Saat kondisi tahun kering, sebaiknya pengambilan air waduk sebisa mungkin menghindari kondisi *rapid draw down* (suatu kondisi dimana terjadi penurunan muka air secara tiba-tiba dari elevasi NWL +60.00 sampai dengan elevasi *dead storage* (DS) +49.25, karena akan mengurangi stabilitas dan keamanan bendungan.



## PENUTUP

### Kesimpulan

1. Berdasarkan prediksi laju erosi dan tingkat kelas kerentanan bahaya erosi di DAS Moyo di Waduk Batu Bulan diperoleh hasil klasifikasi mulai sangat ringan sampai dengan klasifikasi sangat berat.
2. Berdasarkan analisis potensi sedimen masuk ke dalam tampungan waduk +/- 0.540 mcm/tahun dan prediksi tampungan efektif Waduk Batu Bulan saat ini berada pada kisaran 48,8-53 mcm.
3. Hasil kurva POW eksisting menunjukkan bahwa pada kondisi tahun basah dan tahun normal 100% berada pada zona operasi normal, sedangkan untuk kondisi tahun kering memasuki zona kritis selama kurang lebih 7 bulan, yaitu periode bulan Mei-2 sampai dengan Januari-1.

### Saran

1. Pengoperasian dalam pemenuhan kebutuhan air disarankan selalu berpedoman kepada pola operasi waduk (POW) Batu Bulan yang sudah ada, baik untuk kondisi tahun normal, tahun basah dan tahun kering.
2. Perlu adanya pengukuran echo-sounding (bathimetri) untuk mengetahui sedimentasi dan kapasitas volume tampungan terukur.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arsyad, S. 2009. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- [2] Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, SNI 2851, 2015. *tentang Disain Bangunan Penahan Sedimen*, diterbitkan di Jakarta.
- [4] BWS NT I, 2017. *Pola Operasi Waduk Batu Bulan*, Laporan Akhir.
- [5] BWS NT I, 2018. *Penyusunan Manual OP Bendungan Batujai dan Batu Bulan*, Laporan Akhir, DOISP-TA 2018.
- [6] Ery Setiawan, Salehudin, Syamsul Hidayat, M. Bagus Budianto, 2018. *Evaluation of sediment management for two large reservoirs in Lombok island*, Proceeding of

ICRMCE 2018, Vol: 10 No: 1051, ISSN: 1950-5002

- [7] M. Gery P., 2019. *Perbandingan Pola Operasi Waduk Tanju Berdasarkan Kebutuhan dengan Aturan Lepas Tampung*, Tesis MTS FT Unram.
- [8] Kumar, D.N., Raju, K.S., & Ashok, B., 2006, *Optimal Reservoir Operation for Irrigation of Multiple Crops Using Genetic Algorithms*, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*
- [9] Mc. Mahon, T.A, Mein, R.G. 1978. *Reservoir Capacity and Yield*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- [10] Sardono, Soetopo W & Darmawan V, 2018. *Simulasi Pola Operasi Tampungan Embung Tiu Pasai Sebagai Suplai Air Baku Dan Irigasi Menggunakan Metode Algoritma Genetik*. Malang : Universitas Brawijaya
- [11] Soedibyo, 2003. *Teknik Bendungan*, Jakarta: Pradnya Paramita
- [12] Soemarto, CD. 1986. *Hidrologi Teknik Edisi I*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- [13] Soetopo, W. 2010. *Operasi Waduk Tunggal*. Malang: Citra Malang.
- [14] Soetopo, W. 2012. *Model-model Simulasi Stokastik untuk Sistem Sumberdaya Air*. Malang: Asrori.
- [15] Soewarno. 1991. *Hidrologi*. Bandung: Penerbit Nova.
- [16] Soewarno. (1995). *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: Penerbit Nova.
- [17] Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 1987. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Paradnya Paramita.
- [18] Sudjarwadi. 1988. *Operasi Waduk*. Yogyakarta: KMTS Universitas Gajah Mada.
- [19] Triatmodjo B, 2010, *Hidrologi Terapan*, Yogyakarta : Beta Offset.
- [20] Utomo, W. H. 1995. *Erosi dan Konservasi Teknik*. Malang: IKIP MALANG



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN