

Rencana Pengelolaan Waduk Grawan Kabupaten Rembang

Salwa Azzahrah, dan Hendra Wahyudi
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hendra_w@ce.its.ac.id

Abstrak—Waduk Grawan dibangun pada tahun 2004. Semakin bertambahnya usia waduk, Waduk Grawan mengalami berbagai perubahan mulai dari hulu waduk, inti waduk dan hilir waduk. Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk menganalisis debit banjir, laju erosi dan sedimentasi, neraca air serta kualitas air pada Waduk Grawan. Metode analisis yang digunakan dalam menganalisis debit banjir adalah dengan menggunakan HSS SCS sedangkan analisis laju erosi menggunakan metode USLE. Hasil penelitian adalah debit banjir 0,5 PMF sebesar 246,160 m³/detik dan akan mengalami overtopping. Laju erosi sebesar 406,663 ton/ha/tahun dengan laju sedimen 96,732 ton/ha/tahun dengan umur waduk didapatkan 1,45 tahun sebelum memenuhi tampungan mati. Debit inflow dan outflow tertinggi sebesar 1,45 m³/detik dan 0,47 m³/detik. Hasil perhitungan neraca air menunjukkan seluruh debit kebutuhan air dapat terpenuhi waduk. Hasil kualitas air Waduk Grawan tergolong dalam kategori kelas C atau tercemar sedang. Sehingga, berdasarkan hasil analisis tersebut, direncanakan pengelolaan waduk kedalam tiga bagian yaitu hulu waduk, area inti waduk dan hilir waduk.

Kata Kunci—Debit Banjir, Kualitas Air, Neraca Air, Sedimentasi

I. PENDAHULUAN

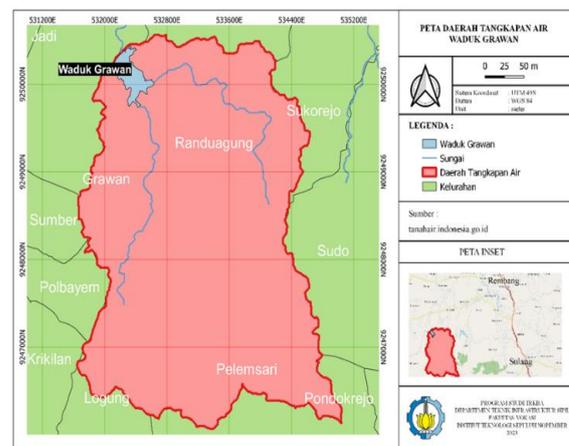
WADUK adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, dan beton, yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Peraturan Menteri PUPR, 2015, pasal 1). Waduk berfungsi untuk menyimpan air saat periode hujan tinggi dan kemudian digunakan saat hujan rendah. Ketersediaan air di waduk diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air sesuai dengan fungsi waduk yang berubah-ubah dari waktu ke waktu.

Pada tahun 2021, pemerintah melalui Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Jratun Seluna melaksanakan perencanaan pengelolaan Waduk Grawan untuk memperpanjang fungsi waduk. Waduk Grawan dibangun pada tahun 2004 dan berada di Desa Grawan, Kecamatan Sumber, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis, lokasi Waduk Grawan berada pada 06° 46' 50,58" Lintang Selatan dan 111° 17' 24,72" Bujur Timur seperti yang disajikan pada Gambar 1. Sumber air Waduk Grawan berasal dari Sungai Kali Jengking yang bermuara di Laut Jawa sekitar 12 km dari Waduk Grawan. Operasional dan manajemen Waduk Grawan di bawah pengawasan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. Adapun, DTA Waduk Grawan disajikan pada Gambar 2.

Pada keadaan optimal, daya tampung Waduk Grawan dapat mencapai 472,34 juta m³ dan dimanfaatkan sebagai aliran irigasi sebesar 160 hektar dan untuk kebutuhan air baku sebesar 6,43 liter/detik.



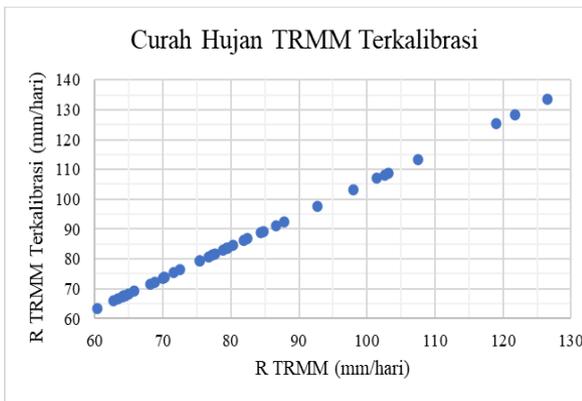
Gambar 1. Lokasi Studi



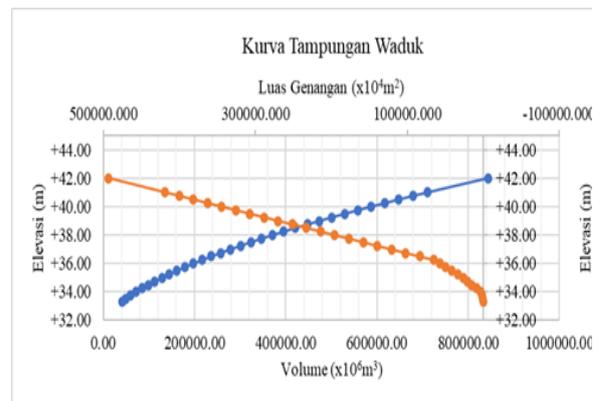
Gambar 2. Daerah Tangkapan Air Waduk Grawan.

Selama proses pembangunan sampai sekarang, Waduk Grawan mengalami berbagai perubahan. Perubahan yang terjadi pada waduk dikarenakan pola manajemen dan dinamika tata guna lahan daerah tangkapan air waduk yang berpengaruh terhadap limpasan dan produksi sedimen Daerah Aliran Sungai (DAS). Faktor-faktor tersebut berdampak langsung pada proses pengendapan material sedimen atau yang lebih dikenal sebagai proses sedimentasi. Saat sedimentasi berlangsung, tumpukan material sedimen akan menggantikan ruang yang seharusnya diisi oleh air. Bila tidak dilakukan penanggulangan masalah sedimentasi pada Waduk Grawan maka akibatnya sedimen akan mengendap di dasar waduk dan kapasitas tampungan waduk akan mengalami penyusutan dan akan berpengaruh terhadap umur waduk tersebut karena akan mengalami percepatan pengurangan layanan [1].

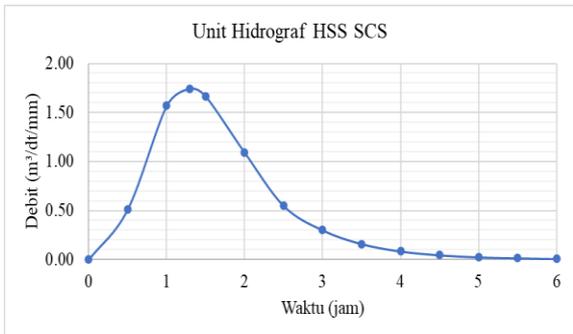
Selain permasalahan sedimentasi pada waduk, pemenuhan fungsi waduk sebagai penyuplai ketersediaan air juga harus diperhatikan. Dimana, debit air yang tersedia pada waduk harus dapat memenuhi kebutuhan air daerah sekitar waduk. Oleh karena itu, perlu adanya perhitungan keseimbangan air pada Waduk Grawan dan operasional waduk yang baik agar



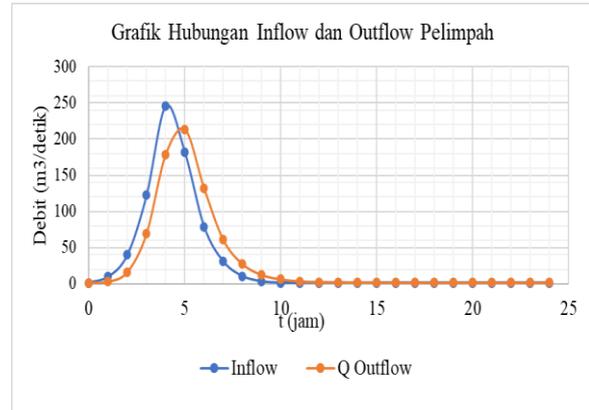
Gambar 3. Curah Hujan TRMM Terkalibrasi.



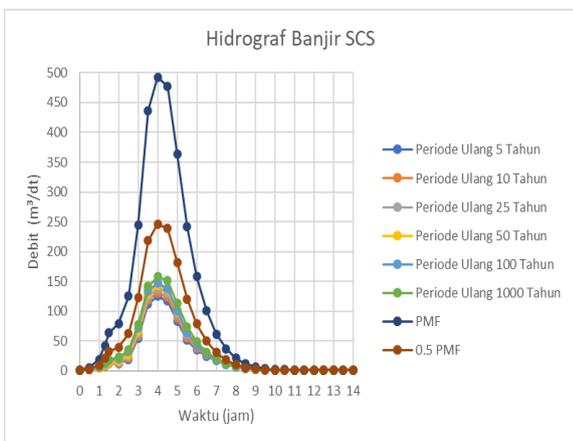
Gambar 6. Kurva Tampungan Waduk Grawan



Gambar 4. Grafik Unit Hidrograf SCS.



Gambar 7. Grafik Hubungan *Inflow* dan *Outflow* Pelimpah



Gambar 5. Hidrograf Banjir SCS Periode Ulang Tertentu.

Waduk Grawan dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat sekitarnya. Serta perlu adanya analisa kualitas air dari Waduk Grawan agar air dari waduk tersebut dapat digunakan dengan aman.

Selain dari permasalahan tersebut, selama pengoperasian Waduk Grawan perlu dilakukan antisipasi terhadap terjadinya air waduk yang meluap atau overtopping. Overtopping dapat memiliki dampak yang sangat merugikan, seperti kerusakan infrastruktur, pencemaran air, dan bahkan hilangnya nyawa manusia. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis debit banjir yang komprehensif untuk mengetahui potensi terjadinya overtopping dan merancang langkah-langkah mitigasi yang tepat.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai laju erosi, debit banjir, neraca air serta kualitas air pada Waduk Grawan untuk selanjutnya dapat dilakukan perencanaan pengelolaan Waduk Grawan sebagai upaya pelestarian fungsi waduk agar dapat beroperasi secara efektif dan efisien).

Tabel 1.
Berat Jenis Sedimen DTA Waduk Grawan

Jenis Material	Berat Jenis Sedimen	
	ton/m ³	
Lempung	0.96	
Lanau	1.2	
Pasir	1.6	
Pasir sisa dan kerikil	2.08	
Rata-Rata	1.46	

II. METODOLOGI

A. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang digunakan untuk menunjang kajian perencanaan pengelolaan Waduk Grawan dari hulu hingga hilir waduk. Data yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu: (1) Peta DTA Waduk Grawan, (2) Hujan TRMM DTA Waduk Grawan 2010-2019, (3) Hujan Harian Stasiun Hujan Sulang 2010-2019, (4) Peta PMP Isohyet Jawa Tengah, (5) Jenis Tanah, (6) Peta Kemiringan Lahan, (7) Peta Tata Guna Lahan, (8) Hasil Survei Batimetri Waduk, (9) Iklim DTA Waduk Grawan 2010-2019, (10) Kualitas Air Waduk Grawan.

Berdasarkan data tersebut dilakukan pengolahan data untuk menganalisis hidrologi debit banjir, sedimentasi, neraca air dan status mutu air pada Waduk Grawan untuk selanjutnya dilakukan perencanaan pengelolaan waduk yang didasari oleh hasil analisis.

B. Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan pelaksanaan penelitian ini: (1) Analisis Hidrologi: Pengkalibrasian data TRMM terhadap data stasiun hujan pengamatan untuk digunakan dalam

Tabel 4.
Total Kebutuhan Air Alternatif II

Total Kebutuhan Air Waduk Grawan Alternatif II				
Bulan	Periode	Air Irigasi	Air Baku	Total
		m3/dtk	m3/dtk	m3/dtk
Jan	I	0.17	0.01	0.17
	II	0.00	0.01	0.01
Feb	I	0.00	0.01	0.01
	II	0.13	0.01	0.14
Mar	I	0.22	0.01	0.23
	II	0.17	0.01	0.18
Apr	I	0.15	0.01	0.16
	II	0.18	0.01	0.19
May	I	0.19	0.01	0.19
	II	0.07	0.01	0.08
Jun	I	0.17	0.01	0.18
	II	0.35	0.01	0.36
Jul	I	0.08	0.01	0.08
	II	0.11	0.01	0.12
Aug	I	0.18	0.01	0.19
	II	0.19	0.01	0.19
Sep	I	0.20	0.01	0.21
	II	0.09	0.01	0.10
Oct	I	0.00	0.01	0.01
	II	0.23	0.01	0.24
Nov	I	0.37	0.01	0.38
	II	0.20	0.01	0.20
Dec	I	0.12	0.01	0.12
	II	0.19	0.01	0.19

Tabel 5.
Total Kebutuhan Air Alternatif III

Total Kebutuhan Air Waduk Grawan Alternatif III				
Bulan	Periode	Air Irigasi	Air Baku	Total
		m3/dtk	m3/dtk	m3/dtk
Jan	I	0.17	0.01	0.18
	II	0.13	0.01	0.13
Feb	I	0.00	0.01	0.01
	II	0.00	0.01	0.01
Mar	I	0.11	0.01	0.12
	II	0.25	0.01	0.26
Apr	I	0.15	0.01	0.16
	II	0.18	0.01	0.19
May	I	0.19	0.01	0.20
	II	0.20	0.01	0.21
Jun	I	0.07	0.01	0.08
	II	0.18	0.01	0.18
Jul	I	0.36	0.01	0.36
	II	0.08	0.01	0.08
Aug	I	0.14	0.01	0.14
	II	0.18	0.01	0.19
Sep	I	0.21	0.01	0.22
	II	0.19	0.01	0.20
Oct	I	0.10	0.01	0.11
	II	0.00	0.01	0.01
Nov	I	0.19	0.01	0.19
	II	0.34	0.01	0.35
Dec	I	0.12	0.01	0.13
	II	0.19	0.01	0.20

Tabel 2.

Debit Tersedia FJ Mock (m3/detik)		
Bulan	Periode	Rata-Rata Debit Tersedia (m3/detik)
Jan	I	1.39
	II	1.45
Feb	I	1.32
	II	1.28
Mar	I	1.22
	II	1.00
Apr	I	1.19
	II	0.69
Mei	I	0.65
	II	0.50
Jun	I	0.36
	II	0.40
Jul	I	0.25
	II	0.21
Agst	I	0.12
	II	0.13
Sep	I	0.13
	II	0.27
Okt	I	0.32
	II	0.34
Nov	I	0.67
	II	0.84
Des	I	1.07
	II	1.00

Tabel 3.
Total Kebutuhan Air Alternatif I

Total Kebutuhan Air Waduk Grawan Alternatif I				
Bulan	Periode	Air Irigasi	Air Baku	Total
		m3/dtk	m3/dtk	m3/dtk
Jan	I	0.02	0.01	0.03
	II	0.00	0.01	0.01
Feb	I	0.12	0.01	0.12
	II	0.26	0.01	0.27
Mar	I	0.14	0.01	0.15
	II	0.17	0.01	0.17
Apr	I	0.15	0.01	0.15
	II	0.18	0.01	0.18
May	I	0.06	0.01	0.07
	II	0.17	0.01	0.18
Jun	I	0.35	0.01	0.35
	II	0.07	0.01	0.08
Jul	I	0.11	0.01	0.11
	II	0.14	0.01	0.15
Aug	I	0.18	0.01	0.19
	II	0.18	0.01	0.18
Sep	I	0.10	0.01	0.10
	II	0.00	0.01	0.01
Oct	I	0.23	0.01	0.24
	II	0.46	0.01	0.47
Nov	I	0.23	0.01	0.23
	II	0.19	0.01	0.20
Dec	I	0.11	0.01	0.12
	II	0.18	0.01	0.19

perhitungan debit banjir rencana. (2) Analisis Laju Sedimentasi dan Umur Layanan Waduk: Analisis akan diawali dengan mengetahui laju erosi pada DTA Waduk Grawan dengan menggunakan metode *The Universal Soil Loss Equation* (USLE). (3) Analisis Neraca Air: Pada analisa neraca air, perhitungan debit tersedia menggunakan metode FJ Mock dan debit kebutuhan meliputi air baku dan irigasi. (4) Analisis Status Mutu Air: Analisis status mutu air dilakukan dengan metode STORET. (5) Rencana pengelolaan Waduk: Setelah dilakukan analisis debit banjir, sedimentasi, neraca air, dan status mutu air dapat disimpulkan rencana pengelolaan waduk sesuai dengan tujuan penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

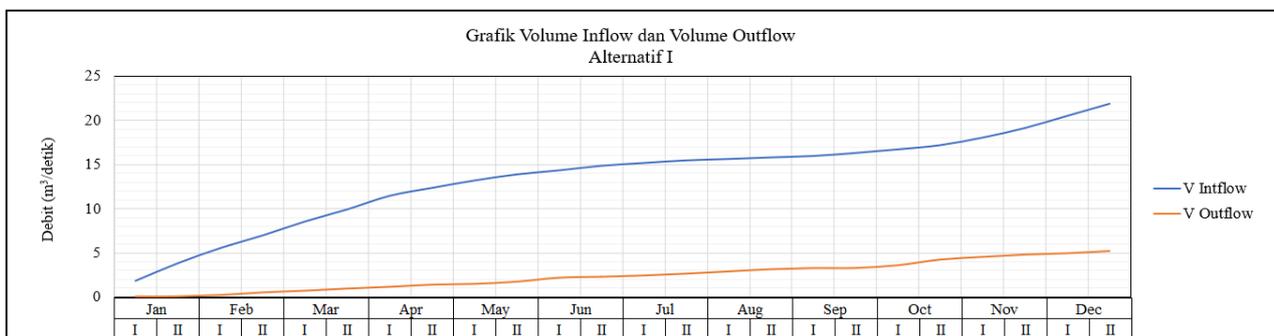
A. Analisis Hidrologi

1) Kalibrasi dan Validasi Data Hujan TRMM

Pada analisis hidrologi diawali dengan pengkalibrasian dan validasi data hujan TRMM dengan data hujan stasiun pengamatan untuk mengetahui sejauh mana akurasi data TRMM dalam memperkirakan curah hujan permukaan [2]. Validasi model dilakukan dengan NSE dan RMSE. Kriteria penilaian NSE yaitu (1) $0,75 < NSE < 1,00$:Sangat Baik, (2) $0,65 < NSE < 0,75$:Baik, (3) $0,50 < NSE < 0,65$:Memuaskan, (4) $NSE < 0,50$:Kurang memuaskan [3]. Adapun kriteria penilaian RMSE yaitu semakin kecil nilai RMSE, semakin kecil

Tabel 6.
Total Kebutuhan Air Alternatif IV

Total Kebutuhan Air Waduk Grawan Alternatif IV				
Bulan	Periode	Air Irigasi	Air Baku	Total
		m3/dtk	m3/dtk	m3/dtk
Jan	I	0.18	0.01	0.18
	II	0.13	0.01	0.14
Feb	I	0.13	0.01	0.14
	II	0.03	0.01	0.04
Mar	I	0.00	0.01	0.01
	II	0.13	0.01	0.13
Apr	I	0.23	0.01	0.24
	II	0.18	0.01	0.19
May	I	0.19	0.01	0.20
	II	0.20	0.01	0.21
Jun	I	0.20	0.01	0.20
	II	0.07	0.01	0.08
Jul	I	0.18	0.01	0.18
	II	0.36	0.01	0.37
Aug	I	0.10	0.01	0.10
	II	0.14	0.01	0.15
Sep	I	0.20	0.01	0.21
	II	0.20	0.01	0.21
Oct	I	0.21	0.01	0.21
	II	0.10	0.01	0.10
Nov	I	0.00	0.01	0.01
	II	0.17	0.01	0.18
Dec	I	0.28	0.01	0.28
	II	0.19	0.01	0.20



Gambar 9. Grafik Volume *Inflow* dan Volume *Outflow* Alternatif I.

kesalahan yang terjadi [4]. Hasil kalibrasi disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan perhitungan validasi, didapat hasil korelasi antara dua variabel adalah sebagai berikut menggunakan metode NSE adalah 0,99. Sedangkan untuk nilai RMSE didapatkan 1,095 yang mana hasil tersebut menyatakan interpretasi baik dan disimpulkan data memenuhi persyaratan NSE maupun RMSE.

2) *Debit Banjir Rencana*

Perhitungan debit banjir rencana dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis SCS. Dengan persamaan umum HSS SCS sebagai berikut [5].

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \tag{1}$$

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \tag{2}$$

$$t_p = 0,6 \times T_c \tag{3}$$

$$T_c = 0,01947 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \tag{4}$$

Q_p adalah puncak hidrograf satuan (m3/s), C adalah konstanta (2,08), A adalah luas DTA, dan T_p adalah waktu naik (jam), t_r adalah lama terjadinya hujan efektif (jam), t_p adalah waktu kelambatan (jam), T_c adalah waktu konsentrasi

persamaan Kirpich, L adalah panjang maksimum lintasan air (m), dan S adalah kemiringan DTA.

Sehingga, didapatkan grafik unit hidrograf HSS SCS pada Gambar 4 dan hasil hidrograf banjir SCS tiap periode ulang disajikan pada Gambar 5.

Pada penelitian ini, debit banjir yang direncanakan adalah 0,5 PMF sesuai dengan SNI 2415:2016 [6]. Lalu untuk mengetahui apakah 0,5 PMF akan menyebabkan kondisi overtopping atau tidak, diperlukan penelusuran banjir melalui pelimpah. Grafik lengkung kapasitas Waduk Grawan disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil penelusuran banjir diperoleh elevasi tertinggi saat $Q_{outflow}$ maksimal adalah 42,95 m, sedangkan elevasi puncak tubuh bendungan adalah sebesar 42,00 m. Hal ini menunjukkan bahwa Bendungan Grawan mengalami overtopping akibat debit 0,5PMF seperti disajikan pada Gambar 7.

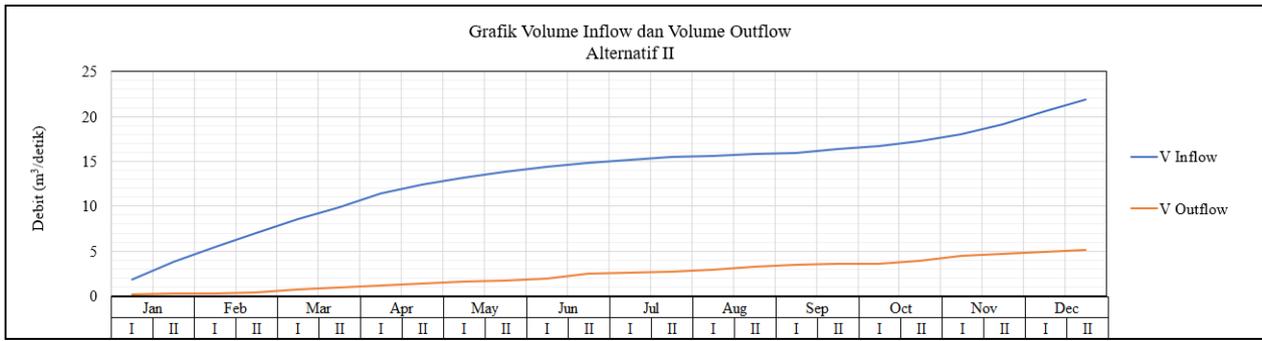
B. *Analisis Laju Sedimen dan Umur Layanan Waduk*

1) *Laju Erosi Aktual*

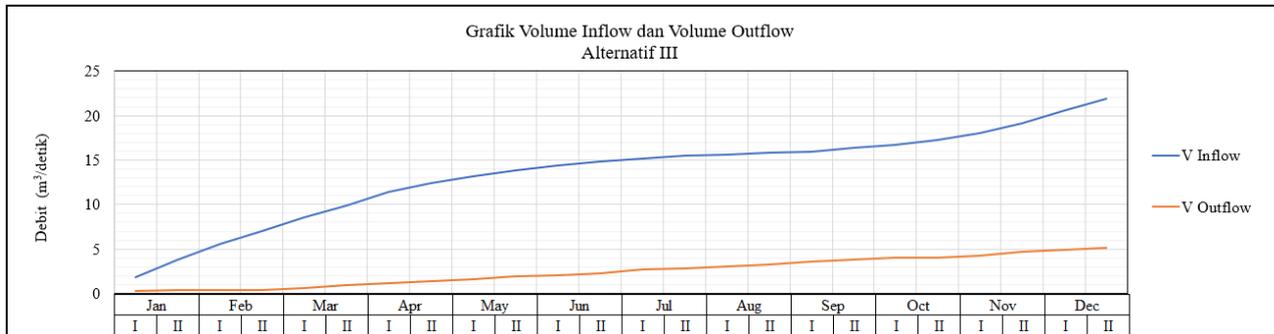
Laju erosi aktual dihitung dengan metode USLE dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \tag{5}$$

A adalah laju erosi aktual rata-rata tahunan (ton/ha/tahun),



Gambar 10. Grafik Volume *Inflow* dan Volume *Outflow* Alternatif II.



Gambar 11. Grafik Volume *Inflow* dan Volume *Outflow* Alternatif III.

R adalah nilai erosivitas hujan, K adalah nilai erodibilitas tanah, LS adalah nilai faktor panjang dan kemiringan lereng, C adalah nilai faktor pengelolaan tanaman, dan P adalah nilai faktor konservasi tanah.

Dengan diketahui nilai erosivitas hujan (R) sebesar 1186,78; nilai erodibilitas tanah (K) sebesar 0,18; nilai faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) sebesar 9,999; nilai faktor pengelolaan tanaman (C) dan faktor konservasi tanah (P) sebesar 0,19; didapatkan laju erosi aktual sebesar 406,663 ton/ha/tahun.

2) *Laju Sedimentasi*

Hasil laju sedimen dipengaruhi oleh tingkat erosi di wilayah tangkapan air dan tingkat laju erosi itu sendiri. Dan untuk mengestimasi laju sedimen diperlukan nilai *Sediment Delivery Ratio* (SDR) yang nilainya bergantung pada luas DTA [8]. Dengan luas DTA sebesar 1094,75 ha nilai SDR yang digunakan sebesar 23,79%.

Dari perhitungan SDR selanjutnya dihitung laju sedimentasi pada DTA Waduk Grawan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Sp = A \times SDR \tag{6}$$

Sp adalah sedimentasi potensial (ton/ha/tahun), A adalah nilai laju erosi aktual (ton/ha/tahun), dan SDR adalah *sediment delivery ratio* (%). Dengan diketahui nilai laju erosi aktual sebesar 406,663 ton/ha/tahun dengan diketahui nilai SDR 23,79% didapatkan nilai laju sedimentasi sebesar 96,732 ton/ha/tahun.

3) *Umur Layanan Waduk*

Untuk menentukan umur layanan Waduk Grawan, langkah pertama adalah menghitung volume sedimen yang mengendap dengan persamaan sebagai berikut:

$$VS = \frac{Sp}{\gamma} \tag{7}$$

VS adalah volume sedimentasi, Sp adalah sedimentasi

potensial (ton/ha/tahun), dan γ adalah berat jenis sedimen.

Adapun, perhitungan berat jenis sedimen pada Waduk Grawan disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan tabel 1, diketahui bahwa nilai berat jenis sedimen pada Waduk Grawan sebesar 1,46 ton/m³. Sehingga, didapatkan volume sedimentasi sebesar 1243,538 m³/tahun.

Setelah itu, dilakukan perhitungan prediksi umur layanan Waduk Grawan dengan persamaan berikut:

$$UmurWaduk = \frac{Vtampunganmati}{Vs} \tag{8}$$

Dengan volume tampungan mati sebesar 1805 m³ dan volume sedimentasi sebesar 1243,538 m³/tahun sehingga didapatkan umur waduk sebesar 1,45 tahun.

C. *Analisis Neraca Air*

1) *Evapotranspirasi*

Analisa evapotranspirasi menggunakan metode Penman Modifikasi dengan persamaan berikut [9]:

$$ET_o = c[W \times R_n + (1 - \tau) \times f(u) \times (\epsilon\gamma - \epsilon d)] \tag{9}$$

$$R_n = ((1 - 0,25) \times R_s) - R_{n1} \tag{10}$$

$$R_s = (0,25 + 0,54 \times \frac{n}{N}) \times R_\gamma \tag{11}$$

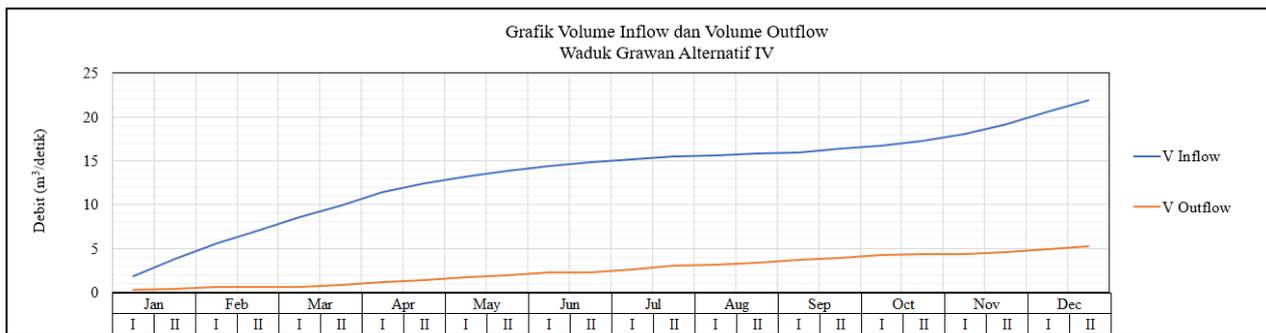
$$R_{n1} = f(t) \times f(\epsilon d) \times f(\frac{n}{N}) \tag{12}$$

$$f(\epsilon d) = 0,34 - 0,044\sqrt{\epsilon d} \tag{13}$$

$$f(\frac{n}{N}) = 0,1 + 0,9\frac{n}{N} \tag{14}$$

$$f(u) = 0,27 \times (1 + 0,864 \times U) \tag{15}$$

ET_o adalah evapotranspirasi (mm/hari), $\epsilon\gamma$ adalah tekanan uap sesuai temperatur, w adalah faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi daerah, R_s adalah radiasi gelombang pendek, R_γ adalah radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer dan berhubungan dengan lokasi lintang daerah, R_n adalah radiasi bersih gelombang panjang, $f(t)$



Gambar 12. Grafik Volume Inflow dan Volume Outflow Alternatif III.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Mutu Air Metode STORET pada Waduk Grawan

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengukuran	
				Rata-Rata	Skor
Fisika					
1	Suhu	°C	Dev 3	28.00	0
2	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1000	250.00	0
3	Zat tersuspensi total (TSS)	mg/L	50	7.00	0
Kimia					
4	Derajat keasaman (pH)		6.0 - 9.0	7.60	0
5	Sulfida	mg/L	0.002	0.00	0
6	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	25	8.76	0
7	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	3	1.00	0
8	Klorida (Cl)	mg/L	300	21.00	0
9	Nitrat (N)	mg/L	10	0.00	0
10	Nitrit (N)	mg/L	0.06	0.00	0
11	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	4	3.80	0
12	Kobalt terlarut (Co)	mg/L	0.2	0.10	0
13	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	47.90	0
14	Besi terlarut (Fe)	mg/L	-	0.00	0
15	Tembaga terlarut (Cu)	mg/L	0.02	0.00	0
16	Total coliform	MPN/100ml	5000	79.00	0
17	Fecal coli	MPN/100ml	1000	49.00	0
18	Fluorida (F)	mg/L	1.5	1.44	0
19	Khlor bebas	mg/L	0.03	0.00	0
20	Arsen (As)	mg/L	0.05	0.01	0
21	Amoniacal nitrogen (N)	mg/L	0.2	0.00	0
22	Minyak dan lemak	mg/L	1	0.00	0
23	Fenol	mg/L	0.005	0.00	0
24	Kromium val.6	mg/L	0.05	0.00	0
25	Timbal terlarut (Pb)	mg/L	0.03	0.00	0
26	Cianida	mg/L	0.02	0.02	0
27	Seng terlarut (Zn)	mg/L	0.05	0.08	-12
28	Kadmium terlarut (Cd)	mg/L	0.01	0.00	0
29	Mangan (Mn)	mg/L	-	0.32	0
30	Selenium (Se)	mg/L	0.05	0.00	0
31	Detergent sebagai MBAS		0.2	0.08	0
32	Merkuri (Hg)	mg/L	0.002	0.00	0
33	Total fosfat (P)	mg/L	0.2	0.52	-12
Total Skor					-24
Keterangan			Tercemar Sedang		

adalah fungsi suhu, $f(ed)$ adalah fungsi tekanan uap, $f(n/N)$ adalah fungsi kecerahan matahari, $f(u)$ adalah fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2,00 m, $(\epsilon\gamma - \epsilon d)$ adalah perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap asli dan c adalah angka koreksi perbulan.

Dengan data terukur yang didapatkan dari BMKG Stasiun Klimatologi Jawa Tengah pada jangkakan waktu 2010–2019 seperti letal lintang daerah, suhu rata-rata bulanan (t), kelembaban udara rata-rata bulanan (RH), kecepatan angin rata-rata (U) dan penyinaran matahari rata-rata (n/N). Didapatkan nilai evapotranspirasi rata-rata yang disajikan dalam Gambar 8.

2) Debit Tersedia FJ Mock

Debit tersedia dihitung dengan metode FJ Mock dengan persamaan sebagai berikut [10]:

a. Hujan

Nilai curah hujan (P) diperoleh dari pencatatan hujan bulanan (mm) dan hari hujan didapatkan dari jumlah hari hujan pada bulan yang bersangkutan (n).

b. Evapotranspirasi terbatas (Et)

$$E/ETo = (m/20) \times (18 - h) \tag{16}$$

$$\Delta E = ETo \times \frac{E}{ETo} \tag{17}$$

$$Et = ETo - \Delta E \tag{18}$$

E/ETo adalah perbedaan antara Eto dan Et/Eto , m adalah persentase lahan yang tidak tertutupi vegetasi, h adalah jumlah hari hujan, ΔE adalah perbedaan antara Eto dan Et , Eto adalah evapotranspirasi potensial dan Et adalah evapotranspirasi terbatas.

c. Keseimbangan air di permukaan tanah

$$Ds = P - Et \quad (19)$$

$$SS = ISMS \varphi + \varphi \Delta S \quad (20)$$

$$WS \varphi = SS - SMC \quad (21)$$

Ds adalah perubahan kandungan air tanah, P adalah curah hujan (mm/hari), Et adalah evapotranspirasi terbatas, SS (Soil Storage) adalah besarnya volume air yang ditahan tanah, SMC (Soil Moist Capacity) jika nilai $P-Ea > 0$ $SMC = 200$ mm; jika nilai $P-Ea < 0$ $SMC = ISMS + (P-Ea)$, WS (Water Surplus) adalah volume air yang masuk ke tanah.

d. Penyimpanan air tanah

$$In = WS \varphi \times I \quad (22)$$

$$Vn = k \times V_{(n-1)} + 0,5(1 + K) \times In \quad (23)$$

$$DVn = Vn - V_{(n-1)} \quad (24)$$

In adalah infiltrasi, Vn adalah volume air tanah, $Vn-1$ adalah volume air tanah bulan ke $(n-1)$, DVn adalah perubahan volume air tanah, I adalah koefisien infiltrasi, dan k adalah faktor resesi aliran tanah.

e. Aliran sungai

$$BF = In - dVn \quad (25)$$

$$DR \varphi = WS \varphi - In \quad (26)$$

$$R = BF \varphi + \varphi DR \quad (27)$$

BF (Base Flow) adalah aliran sungai sepanjang tahun, DR (Direct Runoff) adalah aliran permukaan langsung, dan R adalah aliran permukaan. Berdasarkan data hujan dari tahun 2010-2019 diperoleh rata-rata debit tersedia FJ Mock yang akan masuk ke waduk disajikan pada Tabel 2.

3) Analisis Kebutuhan Air

a. Kebutuhan air irigasi

$$Q = DR \varphi \times A \quad (28)$$

$$DR = \frac{NFR}{e \times 8,64} \quad (29)$$

Q adalah debit di pintu saluran (liter/detik), A adalah luas areal irigasi (ha), DR adalah kebutuhan air di pintu pengambilan, NFR adalah kebutuhan air bersih di sawah (mm/hari), dan e adalah efisiensi irigasi. Kebutuhan air irigasi direncanakan dengan empat alternatif pola tanam dengan pola tanam padi-padi/polowijo-polowijo sebagai berikut:

Alternatif I : MT 1 bulan Oktober periode I

Alternatif II : MT 1 bulan Oktober periode II

Alternatif III : MT 1 bulan November periode I

Alternatif IV : MT 1 bulan November periode II

b. Kebutuhan air baku

Kebutuhan air baku ditetapkan sebesar 6,41 liter/detik sesuai dengan data teknis Waduk Grawan. Sehingga, untuk total kebutuhan air Waduk Grawan adalah kebutuhan air irigasi ditambah dengan kebutuhan air baku seperti yang disajikan pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6 dengan berbagai alternatif.

4) Neraca Air

$$I - O = \Delta S \quad (30)$$

I adalah inflow pada suatu sistem, O adalah outflow suatu

sistem, dan ΔS adalah perubahan simpanan air. Neraca air waduk adalah keseimbangan antara masukan air dan keluaran air di waduk [9]. Dengan mempertimbangkan volume tampungan normal sebesar $0,474 \times 10^6 \text{ m}^3$ didapatkan neraca air waduk dengan berbagai alternatif disajikan pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.

D. Status Mutu Air Waduk

Parameter yang digunakan untuk menganalisis status mutu air adalah parameter fisika, parameter kimia dan parameter biologi. Data yang digunakan menggunakan data uji parameter kualitas air yang telah dianalisa oleh BBWS Pemali Juana pada dokumen hasil evaluasi status mutu air dengan metode index pencemaran Waduk Grawan. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu air kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Hasil perhitungan STORET disajikan pada Tabel 7.

Dari hasil perhitungan skor diatas, didapatkan total skor sebesar -24. Berdasarkan tabel 7 menunjukan bahwa status mutu air Waduk Grawan untuk kelas II berdasarkan sistem penilaian dari US-EPA pada data diatas termasuk dalam kategori Kelas C (Cemar Sedang).

E. Rencana Pengelolaan Waduk

Rencana pengelolaan waduk adalah strategi yang disusun untuk menjaga dan memaksimalkan manfaat dari waduk serta melindungi sumber daya air yang terkait. Dalam rangka mencapai tujuan ini, berbagai langkah strategis perlu diambil untuk mengelola waduk secara efektif. Langkah strategis dalam pengelolaan waduk dibuat berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan baik pada bagian hulu waduk, area inti waduk, maupun hingga hilir waduk. Dimana, masing-masing bagian tidak dapat dipisahkan satu sama lain karena saling berkaitan.

1) Rencana Pengelolaan Hulu Waduk

Rencana pengelolaan hulu waduk terdiri dari konservasi lahan DTA Waduk Grawan menjadi teras bangku. Dengan konservasi lahan DTA Waduk, reduksi laju sedimen yang dapat dilakukan sebesar 39,100 ton/ha/tahun atau 40%. Jika luas DTA Waduk Grawan sebesar 1094,75 ha, maka dalam 1 hektar konservasi lahan DTA dapat mengurangi 0,04% laju sedimen.

Selain konservasi lahan DTA pembuatan cek dam juga dapat dilakukan untuk menampung sedimentasi yang akan masuk ke dalam waduk.

2) Rencana Pengelolaan Area Inti Waduk

Rencana pengelolaan area inti waduk dapat terdiri dari pemeliharaan rutin waduk (*dredging*), pembuatan pelimpah darurat untuk mengalirkan debit *outflow* puncak sebesar 213,389 m³/detik. Dan dengan meningkatkan edukasi dan kesadaran masyarakat tentang bahaya *overtopping* waduk, termasuk evakuasi yang tepat jika diperlukan.

3) Rencana Pengelolaan Hilir Waduk

Rencana pengelolaan hilir waduk dibuat dengan analisis neraca air, dimana terdapat air yang terbuang karena berlebihan debit inflow pada waduk. Sehingga, air tersebut dapat dimanfaatkan dengan menambahkan sekitar 3 hektar dengan debit spill out sebesar 3,67 liter/detik. Dengan asumsi rata-rata kebutuhan air irigasi sebesar 1,2 liter/detik/ha.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:(1)Besarnya debit banjir rancana yang terjadi pada Waduk Grawan pada kala ulang 0,5 PMF sebesar 246,160 m³/detik. Dan pada perhitungan penelusuran banjir Waduk Grawan mengalami overtopping akibat debit banjir rancangan 0,5 PMF;(2)Besarnya sedimentasi yang masuk ke Waduk Grawan dari analisis laju erosi sebesar 406,663 ton/ha/tahun dengan laju sedimen 96,732 ton/ha/tahun, berdasarkan hasil perhitungan volume sedimentasi didapatkan umur Waduk Grawan sebesar 1,45 tahun;(3)Dari debit perhitungan tersedia dengan menggunakan metode FJ Mock didapatkan nilai debit *inflow* maksimal Waduk Grawan sebesar 1,45 m³/detik. Debit *outflow* dihitung berdasarkan analisis kebutuhan air irigasi dan air baku sehingga didapatkan debit *outflow* maksimal sebesar 0,47 m³/detik. Pada perhitungan neraca air menunjukkan bahwa seluruh debit air yang harus dipenuhi (air baku dan air irigasi) dapat terpenuhi oleh waduk;(4)Berdasarkan hasil analisa status mutu air dengan menggunakan Metode STORET didapatkan bahwa status mutu air untuk kelas II pada Waduk Grawan termasuk ke dalam kategori ke dalam kategori kelas C (tercemar sedang);(5)Dalam rencana pengelolaan waduk grawan dibagi menjadi tiga bagian yaitu hulu waduk, area inti waduk dan hilir waduk untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fakhrizal Arifadi and Cahyono Ikhsan, "Pengaruh sedimen terhadap umur layanan pada tampungan mati (dead storage) waduk krisak di wonogiri dengan metode usle (universal soil losses equation)," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no. 4, 2019, doi: 10.20961/mateksi.v7i4.38482.
- [2] Dieta Putri Jarwanti, Ery Suhartanto, and Jadfian Sidqi Fidari, "Validasi data curah hujan satelit trmm (tropical rainfall measuring mission) dengan data pos penakar hujan di das grindulu, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air (JTRESDA)*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.36>.
- [3] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith, "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations," *Trans ASABE*, vol. 50, no. 3, pp. 885–900, 1983, doi: 10.13031/2013.23153.
- [4] M. D. Syaifullah, "Validasi data TRMM terhadap data curah hujan aktual di tiga das di Indonesia," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 15, no. 2, pp. 109–118, 2014.
- [5] Bambang Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*, 5th ed. Yogyakarta: Beta Offset, 2008. ISBN : 978-979-8541-40-7.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Jakarta: Badan Standar Nasional Indonesia, 2016.
- [7] Chay Asdak, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 5th ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1995.
- [8] Menteri Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia, Nomor:P.60/Menhut-II/2014 Tentang Kriteria Penetapan Klasifikasi Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2014.
- [9] N. Hadisusanto, *Aplikasi Hidrologi*. Yogyakarta: Jogja Mediatama, 2011.
- [10] Lily Montarich Limantara, *Hidrologi Praktis*. Bandung: Lubuk Agung, 2010.