

SIMULASI PEMANFAATAN AIR BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN BOGOR

Nuril Sabrina¹ Hendra Wahyudi² Bagas Yoga Pratama^{3*}

^{1,2,3}Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh

Nopember, Surabaya

Jl. Raya Menur No. 127, Kota Surabaya, 60282, Jawa Timur, Indonesia

E-mail: sabrinanuril03@gmail.com¹, ayahukung@gmail.com², bagasyogap@its.ac.id³

(*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim: 22 Agustus 2025, Direvisi: 24 Oktober 2025, Diterima: 25 Desember 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i3.4824>

ABSTRAK: Ketersediaan air yang terbatas menuntut pengelolaan yang tepat untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Bendungan Cijurey berperan penting dalam penyediaan air irigasi, air baku, dan pembangkit listrik. Penelitian ini mengkaji optimasi pola operasi waduk guna meningkatkan efisiensi distribusi air dan mendukung intensitas tanam. Analisis optimasi pola operasi, dilakukan dengan melakukan analisis pengaruh bukaan pintu radial pada Pelimpah. Dari hasil analisis optimasi, didapatkan bahwa waduk mampu memenuhi kebutuhan air baku untuk kecamatan Sukamakmur dan Cariu sebesar 0.38 m³/detik dan dapat memenuhi kebutuhan air baku industri maksimal sebesar 0.99 m³/detik. Selain itu, pada analisis potensi pembangkit listrik didapatkan bahwa energi listrik yang dihasilkan adalah 535.86 MwH. Direncanakan pola tanam dengan Padi – Padi – Padi dengan besar debit kebutuhan 1.35 m³/detik. Dari hasil analisis waduk mampu mempertahankan muka air efektif pada periode akhir dan memenuhi kebutuhan air dengan memanfaatkan pengaruh operasi pintu radial pelimpah, didapatkan hasil memenuhi kebutuhan air baku dan kebutuhan air irigasi dengan pola tanam Padi – Padi – Padi dengan intensitas 300% dengan memanfaatkan pengaruh pola operasi pintu radial pada pelimpah.

KATA KUNCI : *Air Baku, Bendungan, Irigasi, Pembangkit Listrik., Pola Operasi*

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air merupakan faktor penting dalam keberlanjutan kehidupan dan pembangunan di berbagai sektor, seperti pertanian, industri, dan rumah tangga. Seiring dengan pertumbuhan populasi, kebutuhan air semakin meningkat. Sementara ketersediaan sumber daya air seringkali terbatas dan tidak merata. Dengan dibangunnya bendungan ini, diharapkan kebutuhan air bagi masyarakat sekitar dan pemenuhan kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi.

Oleh karena itu, pengelolaan debit air dari waduk menjadi hal yang sangat penting guna menjamin tercapainya distribusi air yang seimbang, efisien, dan berkelanjutan. Pada proyek akhir ini, dilakukan optimasi dengan pola operasi yang bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan air dari Bendungan Cijurey secara optimal, terutama dalam mengoptimalkan alokasi debit air waduk untuk irigasi, pemenuhan kebutuhan air baku, dan pembangkit listrik, yang memungkinkan untuk memaksimalkan intensitas tanam dengan mempertimbangkan kapasitas tampaungan waduk dan air yang berlebih.

2. METODE PENELITIAN

1. Analisis Hidrologi
Analisis hidrologi meliputi :

- a. Merekap data curah hujan dan melakukan pengujian data.
- b. Perhitungan bobot stasiun hujan dengan metode poligon thiessen.
2. Analisis Klimatologi
Data klimatologi yang terdiri data temperatur udara, kelembapan relatif, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin rata - rata yang digunakan untuk analisis evapotranspirasi untuk data perhitungan perencanaan tanam.
3. Analisis kebutuhan air baku domestik dan non domestik
Analisis kebutuhan air baku dilakukan dengan mengolah data jumlah penduduk untuk proyeksi jumlah penduduk dengan metode aritmatika ,geomatika, dan least square. Perhitungan proyeksi jumlah penduduk digunakan untuk menganalisis kebutuhan air baku rencana. Untuk analisis kebutuhan air baku non domestik komersial diasumsikan antara 15% sampai 30% dari total air pemakaian air bersih rumah tangga, perhitungan kebutuhan air industri dapat diperhitungkan berdasarkan jumlah karyawan, luas industri, jenis/tipe industri.
4. Analisis kebutuhan air irigasi



SIMULASI PEMANFAATAN AIR BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN BOGOR.

(Nuril Sabrina, Hendra Wahyudi, Bagas Yoga Pratama)

Analisis kebutuhan air irigasi dilakukan dengan mengolah data curah hujan yang dipengaruhi beberapa faktor yaitu curah hujan efektif, besarnya evapotranspirasi dari perhitungan analisis klimatologi, besarnya perlakuan di lapangan, pengelolaan tanah dan penyiapan lahan, koefisien jenis tanaman, dan efisiensi irigasi.

5. Curah Hujan Efektif (Re)

Curah Hujan Efektif merupakan hujan yang jatuh pada daerah irigasi dan secara langsung dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air guna pertumbuhan tanaman. Untuk jenis tanaman padi dan palawija tentu berbeda. Berdasarkan KP Penunjang tahun 1986, untuk nilai hujan efektif tanaman padi direncanakan 70% dari curah hujan rata-rata tengah bulanan (R_{50}) dihitung dengan persamaan (1). Sedangkan tanaman Palawija, kemungkinan terpenuhi 50% dapat dihitung dengan persamaan (2) dan (3)

$$R_{epadi} = 0,7 \times \frac{1}{15} R \quad (1)$$

Dengan :

R = Curah hujan rata-rata setengah bulanan (mm). Kemudian untuk jenis tanaman Palawija dapat dihitung dengan persamaan (2)

$$R_e = 0,80 \cdot R_e - \frac{25}{30} \quad (2)$$

Kondisi tersebut jika $R_{50} > 75$ mm/bulan

$$R_e = 0,80 \cdot R_e - \frac{10}{30} \quad (3)$$

Kondisi tersebut jika $R_{50} < 75$ mm/bulan

6. Metode F.J Mock

Metode ini pertama kali ditemukan oleh F.J Mock sendiri. Dalam metode ini semua komponen diperhitungkan seperti besar aliran dari data curah hujan, evapotranspirasi potensial serta karakteristik hidrologi pada daerah pengaliran. Terdapat ketentuan sebagai berikut :

1. Data curah hujan (P) yang digunakan yaitu data curah harian, setengah bulanan atau bulanan rata-rata

2. Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Evapotranspirasi ini merupakan evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan frekuensi hujan. Data-data yang dibutuhkan dalam (Et) ini adalah Evapotranspirasi potensial (Eto) dan Permukaan lahan terbuka (Exposed Surface)

3. Water Balance

Dalam *water balance* terdapat beberapa komponen yang dihitung yaitu :

- Air hujan yang sampai permukaan tanah (Ds)

$$Ds = P - Et \quad (4)$$

Dengan :

Ds = air hujan yang mencapai permukaan tanah (mm/hari)

P = curah hujan bulanan (mm) yang terdistribusi merata per harinya (mm/hari)

Et = Evapotranspirasi (mm/hari)

- Kandungan Air tanah (Soil Storage) Jika nilai $SS = 0$, maka SS tersebut bernilai "0" (nol) ; dan jika $SS < 0$, maka SMC (kelembaban tanah) = $200 - SS$. Besarnya nilai SMC berkisar 50-200 mm

- Nilai *Water Surplus* (WS)

$$Ws = Ds - SS \quad (5)$$

Dengan :

WS = Water surplus (mm/hari)

Ds = air hujan yang mencapai permukaan tanah (mm/hari)

SS = soil storage (mm) yang terakumulasi per harinya (mm/hari)

- *Run off* dan *Groundwater Storage*

▪ Koefisien Infiltrasi (I)

Koefisien ini memiliki rentang nilai 0-1 bergantung pada porositas tanah di wilayah DAS

▪ Faktor Resesi Aliran Tanah (k)

Nilai faktor ini adalah bentuk perbandingan aliran air tanah pada bulan ke-n dengan awal bulan sebelumnya (n-1). Nilai ini didapat berdasarkan *trial and error*.

Penyimpanan Air Tanah (*Groundwater Storage*)

Bergantung pada kondisi geologis setempat. Dapat dihitung dengan persamaan (6)

$$V_n = k \cdot V_{n-1} + 0,5 (1 + k) \cdot I \quad (6)$$

Dengan :

V_n = Volume air tanah periode ke- n

k = Faktor resesi air tanah

V_{n-1} = Volume air tanah periode ke- (n-1)

I = koefisien infiltrasi

▪ Base flow (BF)

Merupakan perhitungan aliran dasar

$$BF = I - DV_n \quad (7)$$

Dengan :

BF = Nilai Base flow

$$\begin{array}{ll} I & = \text{Koefisien infiltrasi} \\ DVn & = \text{Perubahan volume} \end{array}$$

- *Direct Run off (DR)*
Aliran langsung dapat dihitung dengan persamaan (8)
$$DR = WS - I \quad (8)$$
- Dengan :

$$\begin{array}{ll} DR & = \text{Direct Run off} \\ WS & = \text{Water surplus} \\ I & = \text{Koefisien infiltrasi} \end{array}$$
- *Run off (R)*
Aliran permukaan dapat dihitung dengan persamaan (9)
$$R = BF + DR \quad (9)$$
- Dengan :

$$\begin{array}{ll} R & = \text{Run off} \\ BF & = \text{Nilai Base flow} \\ DR & = \text{Direct Run off} \end{array}$$

Setelah itu Metode F.J Mock perlu di kalibrasi dengan menggunakan uji NASH-Sutcliffe Efficiency (NSE) dengan tujuan untuk mengevaluasi keakuratan. Dapat dituliskan dengan persamaan (10)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_i^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (10)$$

Dengan :

$$\begin{array}{ll} NSE & = \text{Nash-Sutcliffe Efficiency} \\ Q_{obs} & = \text{Debit observasi/pengamatan (m}^3/\text{s}) \\ Q_{sim} & = \text{Debit hasil simulasi/hitungan (m}^3/\text{s}) \\ n & = \text{jumlah data} \end{array}$$

7. Analisis pembangkit listrik

Analisis pembangkit listrik dilakukan dengan menganalisis tinggi jauh efektif air untuk menentukan besar energi untuk menghasilkan energi listrik.

8. Analisis pola operasi waduk

Analisis pola operasi waduk dilakukan setelah mengetahui debit ketersediaan air (inflow) dengan debit kebutuhan (outflow) guna mengatur operasi waduk yang optimal kemudian dibagi sesuai dengan kebutuhan, dengan mempertimbangkan pola operasi bukaan pintu pelimpah.

9. Pola Operasi Pintu Air Tipe radial

Pintu air radial dipilih berdasarkan kondisi eksisting. Pintu air ini memiliki korelasi sudut bukaan pintu terhadap tinggi muka air dan debit. Bentuk persamaan sebagai berikut

$$a = R(1 - \cos\theta) \quad (11)$$

Dengan :

$$a = \text{bukaan vertikal (m)}$$

$$R = \text{jari-jari pintu radial (m)}$$

θ = sudut bukaan (dari posisi vertikal = 0° , biasanya dinyatakan dalam sudut dalam radian

$$Q = C_d \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} \quad (12)$$

Dengan :

$$Q = \text{debit aliran (m}^3/\text{s})$$

$$C_d = \text{koefisien debit}$$

$$a = \text{bukaan vertikal (m)}$$

$$b = \text{lebar efektif pintu (m)}$$

$$h_1 = \text{tinggi energi hulu (m)}$$

Sehingga jika persamaan (11) di substitusi ke persamaan (12) menjadi

$$Q = C_d \left(\theta, \frac{a}{h_1} \right) \cdot a \cdot (\theta) \cdot b \cdot \sqrt{2gh_1} \quad (13)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Evapotranspirasi Potensial (Eto*)

Data klimatologi yang digunakan adalah data klimatologi yang tercatat pada Stasiun Citeko. Berikut merupakan contoh perhitungan evapotranspirasi potensial pada tahun 2009 yang dapat dilihat pada **Tabel 1**

Tabel 1 Evapotranspirasi Potensial

No	Uraian	Satuan	Jan	
			I	II
1	Suhu	°C	20.07	20.14
2	Kelembaban	%	85.27	93.19
3	Lama penirinan	jam	1.54	0.83
4	Kecepatan angin	m/dt	0.33	0.06
5	Kecerahan matahari, (n/N)	%	0.12	0.07
6	Tekanan uap jenuh, ϵ_j	mbar	21.62	21.75
7	Faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi daerah, w		0.70	0.70
8	Fungsi suhu, $f(t)$		14.58	14.59
9	Radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfir, $R\gamma$	mm/15hr	15.91	15.91
10	Radiasi gelombang pendek, R_s	mm/15hr	3.99	3.98
11	Tekanan uap yang sebenarnya, ϵ_d	mbar	18.4	20.3
12	Fungsi tekanan uap $f(\epsilon_d)$		0.151	0.142
13	Fungsi kecerahan matahari, $f(n/N)$		0.211	0.160
14	Fungsi kecepatan angin, $f(U)$		0.348	0.285
15	Radiasi bersih gelombang panjang, R_{n1}	mm/15hr	0.465	0.331
16	Perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya, $\epsilon_j - \epsilon_d$	mbar	21.47	21.61
17	Angka koreksi, C		1.10	1.10
18	Evapotranspirasi Potensial, (Eto)	mm/15hr	4.43	4.09

SIMULASI PEMANFAATAN AIR BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN BOGOR.

(Nuril Sabrina, Hendra Wahyudi, Bagas Yoga Pratama)

B. Debit Metode FJ. Mock

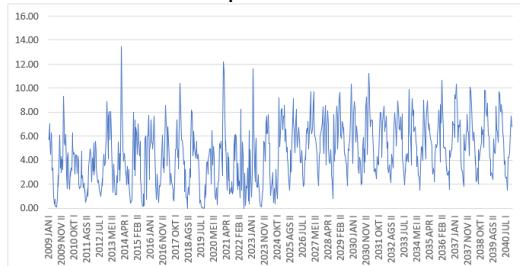
Perhitungan debit dengan metode FJ. Mock dipilih dengan dasar pertimbangan yaitu lebih akurat dalam jangka waktu panjang serta lebih fleksibel di berbagai jenis populasi data. dapat dilihat pada **Tabel 2**. Setelah dilakukan perhitungan debit metode F.J Mock dilakukan pengujian kalibrasi dengan data sungai menggunakan metode *NSE* sesuai persamaan (10). Sehingga didapatkan nilai *NSE* sebesar 0,96 mendekati 1, maka hasil perhitungan debit metode FJ. Mock dikategorikan bagus. Dapat dilihat pada **Tabel 2** untuk Bulan Januari.

Tabel 2 Debit Metode FJ. Mock

No	Uraian	Satuan	Jan I	Jan II
I Data Hujan				
1	Curah Hujan (P)	mm/15hr	448	165
2	Hari Hujan (h)	mm/15hr	15	15
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)				
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto*)	mm/15hr	4.43	4.09
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	30	30
5	(m/20) × (18-h)	-	0.05	0.05
6	E = (Eto*) × (m/20) × (18-h)	mm/15hr	0.20	0.18
7	Et = (Eto*) - E	mm/15hr	4.23	3.90
III Keseimbangan Air				
8	Ds = P - Et	mm/15hr	443. 6	161. 2
9	Aliran permukaan (hujan lebat)	mm/15hr	2.9	1.1
10	Kandungan Air Tanah	mm/15hr	440. 7	160. 1
11	Kelebihan Air (WS)	mm/15hr	443. 6	161. 2
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah				
12	Infiltrasi (I)	mm/15hr	177. 5	56.4
13	Vol. Air Tanah, G = 0.5 × (1+k) × (12)	-	124. 2	39.5
14	L = k × V(n-1)	-	88.0	85
15	Volume Penyimpanan (Vn)	mm/15hr	212. 2	124
16	Perubahan Volume (DVn)	mm/15hr	212. 2	-88
17	Aliran Dasar (BF)	mm/15hr	- 34.8	144. 3
18	Aliran Langsung (DR)	mm/15hr	266. 2	104. 8
19	Aliran (R)	mm/15hr	231. 4	249. 0
V Debit Aliran Sungai				
20	Jumlah hari	-	15	16
21	Debit Aliran Sungai	m ³ /detik	5.75	5.80
22	Debit Aliran Sungai	lt/detik	5749	5799

C. Debit Andalan

Perhitungan debit andalan dilakukan dengan mengurutkan debit dari yang besar ke kecil. Mohon ditunjukkan perhitungan debit andalan. Gambar 1, merupakan hasil dari pembangkitan metode FJ mock. Dapat dilihat dari **Gambar 1**



Gambar 1 Debit Inflow

D. Analisis Kebutuhan Air Baku

1. Analisis proyeksi jumlah penduduk

ada 3 metode Perhitungan proyeksi jumlah penduduk, yaitu: aritmetika, geometrik dan least square. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah aritmetika (Pekerjaan Umum (Public Works), 2007). Metode ini dipilih karena efisien, mudah diterapkan serta dapat memberikan perkiraan yang cukup akurat. Perhitungan proyeksi jumlah penduduk dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Jumlah Penduduk Sukamakmur dengan Metode Aritmatika

No	Tahun	Sukamakmur (jiwa)	Cariu (jiwa)
1	2009	74231	47243
2	2010	73881	47248
3	2011	73946	47279
4	2012	76915	46707
5	2013	81289	47583
6	2014	78106	46774
7	2015	78689	49071
8	2016	78689	49277
9	2017	79547	45921
10	2018	79479	45384
11	2019	79631	45011
12	2020	85565	51619
13	2021	86530	52060
14	2022	87850	52730
15	2023	88831	53183
16	2024	88231	55719

2. Analisis Kebutuhan Air Baku

Setelah didapatkan jumlah penduduk, maka langkah selanjutnya adalah analisis kebutuhan air baku domestik yang didapatkan dari jumlah penduduk dikalikan jumlah kebutuhan air per orang. Berdasarkan Organisasi Kesehatan Dunia/*World Health Organization* (WHO), penggunaan kebutuhan air baku domestik per orang sekitar 50-100 L/hari. Setelah didapatkan hasil kebutuhan air baku domistik, selanjutnya dicari kebutuhan air nondomestik yang diasumsikan 30% dari kebutuhan air. Dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Kebutuhan Air Baku Domestik, Non domestik, dan Industri

Tahun	Kebutuhan Air Domestik	Kebutuhan Air Non Domestik	Kebutuhan Air Industri	Kebutuhan Air Total
2031 JANI				
2031 FEBRI				
2031 MARE				
2031 APRIL				
2031 MEI				
2031 JUNI				
2031 JULI				
2031 AGUSTUS				
2031 SEPTEMBER				
2031 OKTOBER				
2031 NOVEMBER				
2031 DESEMBER				

	L/detik	L/detik	m ³ /detik	m ³ /detik
2009	201.05	60.32	0.536	0.797
2010	200.48	60.14	0.546	0.807
2011	200.64	60.19	0.557	0.818
2012	204.61	61.38	0.569	0.835
2013	213.30	63.99	0.580	0.857
2014	206.69	62.01	0.592	0.860
2015	211.45	63.44	0.603	0.878
2016	211.80	63.54	0.615	0.891
2017	207.66	62.30	0.628	0.898
2018	206.66	62.00	0.640	0.909
2019	206.29	61.89	0.653	0.921
2020	227.05	68.12	0.666	0.961
2021	229.38	68.81	0.679	0.978
2022	232.67	69.80	0.691	0.993
2023	235.05	70.51	0.707	1.013
2024	238.25	71.48	0.724	1.034
2025	241.34	72.40	0.739	1.053
2026	244.47	73.34	0.754	1.072
2027	247.64	74.29	0.769	1.091
2028	250.85	75.25	0.785	1.111
2029	254.10	76.23	0.801	1.131
2030	257.39	77.22	0.817	1.152
2031	260.73	78.22	0.834	1.173
2032	264.11	79.23	0.851	1.194
2033	267.53	80.26	0.868	1.216
2034	271.00	81.30	0.886	1.238
2035	274.51	82.35	0.904	1.261
2036	278.07	83.42	0.922	1.284
2037	281.67	84.50	0.941	1.307
2038	285.32	85.60	0.960	1.331
2039	289.02	86.71	0.980	1.356
2040	292.77	87.83	0.9997	1.380

E. Analisis Kebutuhan Air Irigasi

1. Curah hujan efektif

Perhitungan curah hujan efektif tanaman padi dan palawija pada bulan Januari yang dapat di lihat pada **Tabel 5** (Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013). Terkait perhitungan hujan efektif ini sampai bulan Desember.

Tabel 5 Curah Hujan Efektif

Bulan	Jan	
Periode	I	II
R ₈₀	mm	175.70
Hari	hari	15

Bulan		Jan	
Periode		I	II
R _{eff}	mm/hari	11.71	11.24
R _{eff,padi}	mm/hari	8.20	7.87
R _{eff,palawija}	mm/hari	5.86	5.62

2. Penyiapan lahan

Untuk perhitungan penyiapan lahan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Penyiapan Lahan

No	Uraian	Satuan	Jan	
			I	II
1	Evapotranspirasi (ET ₀)		5.43	6.23
2	Evaporasi (E ₀)	mm/15 hari	5.97	6.85
3	Perkolasi (P)	mm/15 hari	3	3
4	Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air (M)	mm/15 hari	8.973	9.848
5	Jangka waktu penyiapan lahan (T)	15 hari	30	30
6	Air yang dibutuhkan untuk penjenuhan (S)	15 hari	250	250
7	K		1.08	1.18
8	e ^k		2.94	3.26
9	Kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan (IR)	mm/15 hari	13.61	14.21

3. Kebutuhan air untuk irigasi

Dari hasil analisis, didapatkan bahwa kebutuhan air irigasi dengan pola tanam irigasi eksisting dengan tanam Padi – Padi – Palawija dengan kebutuhan debit rata – rata 0.80 m³/detik. Dan kebutuhan air irigasi dengan pola tanam irigasi dengan tanam Padi – Padi – Padi kebutuhan debit rata – rata 1.35 m³/detik.

F. Analisis Pembangkit Listrik

Debit andalan untuk PLTA adalah sekitar 85% - 90% (Limantara, 2010). Pada proyek akhir ini, digunakan debit andalan 85% dengan tingkat kegagalan 15%. Dengan besar debit rata – rata 1.091 m³/detik.

1. Pemilihan jenis turbin

Berdasarkan grafik Turbin Selection pada Jenis Turbin dengan besar debit rata – rata 1.091 m³/detik dan tinggi jatuh efektif 52.20 m adalah turbin Francis.

2. Perhitungan daya dan energi listrik PLTA

SIMULASI PEMANFAATAN AIR BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN BOGOR.

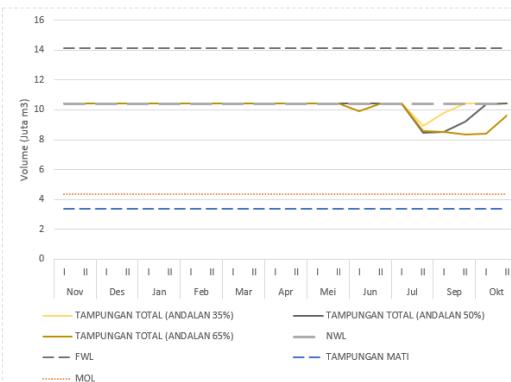
(Nuril Sabrina, Hendra Wahyudi, Bagas Yoga Pratama)

$$\begin{aligned} \text{Daya Listrik (P)} &= \eta \times g \times \text{Heff} \times Q & (14) \\ &= 80\% \times 9.81 \times 52.20 \times 1.091 \\ &= 1425.38 \text{ kW} \\ &= 1.43 \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi Listrik (E)} &= P \times 365 \text{ Hari} \times 24 \text{ jam} & (15) \\ &= 1425.38 \text{ kW} \times 365 \text{ Hari} \times 24 \\ &\quad \text{jam} \\ &= 12486329 \text{ kWh} \\ &= 12486.329 \text{ mWh} \end{aligned}$$

G. Analisis Pola Operasi Waduk

Pola operasi waduk ini dilakukan dengan memperhitungkan jumlah air yang masuk dan jumlah air yang keluar dan mengetahui volume tumpungan waduk yang tersisa. Untuk kebutuhan PLTA diambil dari besaran kebutuhan debit irigasi dan debit air baku industri. Dari besaran debit irigasi dan debit air industri dan dengan persamaan (14) maka didapatkan besaran daya listrik sebesar 1,43 mW dilanjut dengan persamaan (15) maka didapatkan besar energi listrik yang dihasilkan yaitu 12486.329 mWh. Perhitungan pola operasi waduk dengan mempertimbangkan perankingan data debit inflow yaitu kondisi basah atau normal atas waduk dengan tingkat keandalan inflow 35%, kondisi normal dengan tingkat keandalan inflow sebesar 50%, dan kondisi kering atau normal bawah dengan tingkat keandalan 65%. (Kementerian PUPR, 2017)



Gambar 2 Rule Curve Pola Tanam Padi – Padi – Palawija

Dari hasil analisis pola operasi waduk, didapatkan bahwa waduk mampu memenuhi seluruh kebutuhan air baku dan irigasi dengan pola tanam padi – padi – palawija. Dan dapat dilihat dari Gambar 2 bahwa terdapat sejumlah air yang melimpah cukup besar, maka perlu dilakukan optimasi dengan mengevaluasi pola tata tanam. Simulasi tumpungan waduk untuk 3 musim dapat dilihat pada **Gambar 2**

H. Optimasi Pola Operasi Waduk

Pola operasi Bendungan Cijurey ditentukan berdasarkan pendekatan simulasi neraca air, di mana volume tumpungan dan kebutuhan air. Dalam tahapan operasional, pengendalian bukaan pintu pelimpah (radial gate) memegang peranan penting untuk menjaga pengoperasian waduk agar dapat selalu memenuhi kebutuhan air dan mengendalikan apabila saat muka air waduk melebihi elevasi muka air normal. Pada analisis optimasi pola operasi, pola tanam dengan tanaman padi pada setiap masa tanamnya. (Kementerian PUPR, 2017).

Dilakukan juga simulasi pengoperasian waduk dengan pola tanam Padi – Padi – Padi. **Gambar 3** dapat dilihat apabila tidak dilakukan pola operasi bukaan pintu, dengan pola tanam irigasi Padi – Padi – Padi, waduk tidak mampu mencukupi kebutuhan air irigasi intensitas 300% dan kebutuhan air baku. Pengoperasian waduk mengalami kegagalan dalam kurun waktu 3 bulan. Pada Juli periode 1, didapatkan bahwa ketersediaan air tidak mencukupi untuk kebutuhan air, sehingga dari Juli periode 1 – Oktober periode 2, muka air tumpungan terus menurun dan mengalami defisit. Maka perlu dilakukan pola operasi bukaan pintu, untuk mempertahankan volume air yang melimpah yang dapat digunakan untuk periode selanjutnya, dan mempertahankan muka air waduk efektif pada akhir periode.



Gambar 3 Rule Curve Pola Tanam Padi – Padi – Padi.

Selanjutnya mensimulasi pola operasi waduk dengan pola tanam yang telah direncanakan dengan pertimbangan pola operasi bukaan pintu pelimpah. Untuk itu perlu dilakukan analisis pola operasi bukaan pintu pelimpah. Pola operasi pintu digunakan dengan 2 skenario. Skenario 1 disimulasikan kedua pintu terbuka, dan skenario 2 disimulasikan 1 pintu terbuka dan 1 pintu tertutup.

1. Analisis Debit Pelimpah Pintu Radial

Dalam analisis debit pelimpah pengaruh pintu radial, diperlukan analisis koefisien debit. Koefisien debit adalah efisiensi aliran air yang melewati struktur pelimpah, yang dipengaruhi lebar bukaan pintu (D), nilai muka air dihulu pintu (H) dan sudut bukaan pintu (ϕ). Dari hasil visualisasi bukaan pintu radial (a) per 1 meter, didapatkan hasil rekapitulasi nilai sudut bukaan pintu yang dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Rekapitulasi Koefisien Debit Bukaan Pintu Radial

a	θ	Cd
0	0	0
1	49.513	0.665
2	53.700	0.6735
3	57.308	0.674
4	59.744	0.675
5	62.616	0.68
6	65.286	0.685

Setelah dilakukan analisis koefisien debit aliran pintu radial dan koefisien debit aliran diatas pintu radial, selanjutnya dilakukan analisis debit aliran melalui pelimpah dengan pengaruh pintu radial, yang dapat dilihat pada **Tabel 8**

Dimensi pintu :

Jumlah Pintu = 2

Lebar Pintu (b) = 8 m

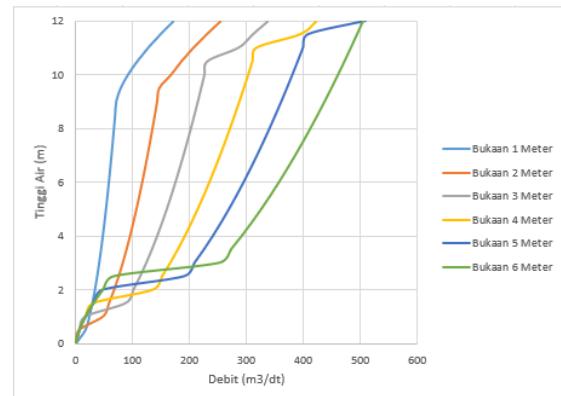
Tinggi Pintu (h) = 6 m

Tabel 8 Debit Aliran Pelimpah Pengaruh Pintu Radial

No	Elevasi Air Hulu Pintu	Tinggi Air (H)	a		
			1	2	3
			Q		
1	280	0	0	0	0
2	280.5	0.5	16.7	5.9	5.9
3	281	1	23.6	47.7	16.8
4	281.5	1.5	28.8	58.4	87.7
5	282	2	33.3	67.5	101.3
6	282.5	2.5	37.2	75.4	113.2
7	283	3	40.8	82.6	124.0
8	283.5	3.5	44.1	89.3	134.0
9	284	4	47.1	95.4	143.2
10	284.5	4.5	50.0	101.2	151.9
11	285	5	52.7	106.7	160.1
12	285.5	5.5	55.2	111.9	168.0
13	286	6	57.7	116.9	175.4
14	286.5	6.5	60.0	121.6	182.6

No	Elevasi Air Hulu Pintu	Tinggi Air (H)	a		
			1	2	3
			Q		
15	287	7	62.3	126.2	189.5
16	287.5	7.5	64.5	130.7	196.1
17	288	8	66.6	134.9	202.6
18	288.5	8.5	68.7	139.1	208.8
19	289	9	70.7	143.1	214.8
20	289.5	9.5	78.6	147.0	220.7
21	290	10	91.5	168.0	226.5
22	290.5	10.5	107.8	186.2	232.1
23	291	11	126.9	207.2	286.8
24	291.5	11.5	148.4	230.6	312.1
25	292	12	172.1	256.2	339.5

Dari hasil analisis debit yang melewati satu buah pintu radial, dapat disajikan grafik antara tinggi muka air hulu pintu dengan debit untuk mempermudah dalam pembacaan, yang dapat dilihat pada **Gambar 4**



Gambar 4 Lengkung Debit Satu Pintu Radial pada Pelimpah

2. Pola Operasi Pelimpah

Pola operasi pintu radial bertujuan mensimulasikan perubahan debit keluaran waduk akibat variasi debit masuk dan perubahan elevasi muka air. Dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**

SIMULASI PEMANFAATAN AIR BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN BOGOR.

(Nuril Sabrina, Hendra Wahyudi, Bagas Yoga Pratama)

Tabel 9 Hubungan h, Cd dan $Q_{outflow}$ untuk Pintu Radial Bukaan 1 Meter

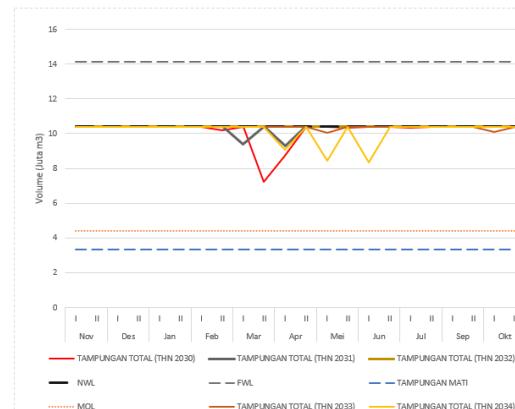
Elevasi I m	h m	Bukaa n pintu (a)	koefisie n debit (Cd)	Outflo w (m ³ /s)
280.0	0.00	1	0.665	0.00
280.5	0.50	1	0.665	16.65
281.0	1.00	1	0.665	23.55
281.5	1.50	1	0.665	28.85
282.0	2.00	1	0.665	33.31
282.5	2.50	1	0.665	37.24
283.0	3.00	1	0.665	40.79
283.5	3.50	1	0.665	44.06
284.0	4.00	1	0.665	47.11
284.5	4.50	1	0.665	49.96
285.0	5.00	1	0.665	52.67
285.5	5.50	1	0.665	55.24
286.0	6.00	1	0.665	57.69
286.5	6.50	1	0.665	60.05
287.0	7.00	1	0.665	62.31
287.5	7.50	1	0.665	64.50
288.0	8.00	1	0.665	66.62
288.5	8.50	1	0.665	68.67
289.0	9.00	1	0.665	70.66
289.5	9.50	1	0.665	78.59
290.0	10.0	1	0.665	91.53
290.5	10.5	1	0.665	107.83
291.0	11.0	1	0.665	126.89
291.5	11.5	1	0.665	148.39
292.0	12.0	1	0.665	172.12

3. Pola Operasi Waduk Dengan Pengaruh Pintu Radial

Perhitungan pola operasi waduk dengan pengaruh pintu radial disimulasikan tiap tahunnya dari 2030 – 2034. Dapat dilihat dari **Gambar 5**, didapatkan bahwa waduk mampu memenuhi kebutuhan air baku dan air irigasi dengan pola tanam Padi – Padi – Padi intensitas 300%.

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada **Gambar 5** memperlihatkan bahwa dengan pengaturan pintu radial yang tepat, waduk dapat beroperasi secara

efisien terhadap debit inflow. Waduk mampu memenuhi seluruh kebutuhan air baku dan irigasi tanpa mengganggu keseimbangan volume tampungan. Hal ini dibuktikan dengan kondisi volume akhir waduk pada akhir tahun yang sama dengan volume awal pada awal tahun. Keseimbangan ini menunjukkan bahwa operasi waduk tidak menyebabkan defisit maupun kelebihan air secara akumulatif dari tahun ke tahun, serta mendukung kontinuitas suplai air yang berkelanjutan.



Gambar 5 Rule Curve Tahun 2030 – 2034

Dilihat dari Gambar 5, terdapat penurunan muka air tampungan seperti contoh pada Maret periode 2 tahun 2030, dikarenakan debit inflow tidak mencukupi kebutuhan air baku dan air irigasi sehingga volume muka air tampungan turun. Namun pada April periode 2 muka air waduk kembali pada muka air efektif, dikarenakan dari volume tertahan akibat pengaturan bukaan pintu radial.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian analisis yang telah dilakukan pada proyek akhir ini, dapat disimpulkan bahwa evaluasi ketersediaan dan pemanfaatan air waduk telah disusun secara menyeluruh melalui penetapan debit andalan, proyeksi kebutuhan air, simulasi pemenuhan kebutuhan, hingga evaluasi strategi operasi waduk. Kajian ini menetapkan tiga kondisi hidrologi utama, yaitu musim basah, musim normal, dan musim kering, yang direpresentasikan melalui debit andalan hasil analisis probabilistik. Pada musim basah digunakan probabilitas 35% dengan debit rata-rata sebesar 4,57 m³/detik. Kondisi normal diwakili oleh probabilitas 50% dengan debit rata-rata 4,04 m³/detik, sedangkan musim kering menggunakan probabilitas 65% dengan debit

rata-rata $3,32 \text{ m}^3/\text{detik}$. Pembagian skenario tersebut memberikan gambaran yang lebih realistik mengenai variasi ketersediaan air, sehingga kemampuan waduk dapat dievaluasi baik pada kondisi surplus maupun defisit. Berdasarkan hasil proyeksi jumlah penduduk, kebutuhan air baku domestik dan non-domestik maksimum mencapai $0,38 \text{ m}^3/\text{detik}$. Selain itu, kebutuhan air baku sektor industri menunjukkan nilai maksimum sebesar $0,99 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hasil ini menegaskan bahwa beban kebutuhan air tidak hanya berasal dari konsumsi masyarakat, tetapi juga dipengaruhi secara signifikan oleh kebutuhan industri, sehingga pengelolaan waduk perlu mempertimbangkan kedua komponen tersebut secara proporsional. Dari simulasi pemenuhan kebutuhan air, diketahui bahwa waduk mampu melayani kebutuhan air baku sekaligus kebutuhan air irigasi. Pada kondisi eksisting, pola tanam Padi–Padi–Palawija dapat dipenuhi dengan kebutuhan debit rata-rata sebesar $0,80 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sementara itu, untuk rencana pengembangan pola tanam menjadi Padi–Padi–Padi, kebutuhan debit rata-rata meningkat menjadi $1,35 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dengan demikian, waduk tidak hanya memadai untuk mendukung pola tanam yang berlaku saat ini, tetapi juga memiliki potensi untuk mendukung peningkatan intensitas tanam, sepanjang diikuti strategi operasi yang tepat. Pada aspek pembangkitan energi, pemilihan jenis turbin ditentukan menggunakan debit andalan 85% sebesar $1,091 \text{ m}^3/\text{s}$ sebagai debit rencana, karena debit ini dianggap lebih representatif untuk operasi pembangkit yang andal. Berdasarkan karakteristik debit dan kondisi hidraulik yang dianalisis, jenis turbin yang paling sesuai adalah turbin Francis, dengan potensi energi listrik maksimal sebesar $12.486,329 \text{ MWh}$. Selain kapasitas tumpungan, strategi operasi waduk terbukti menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan layanan. Dengan memanfaatkan pengaruh operasi pintu radial pada pelimpah, waduk mampu mempertahankan muka air efektif pada akhir periode simulasi serta tetap memenuhi kebutuhan air baku dan kebutuhan irigasi untuk pola tanam Padi–Padi–Padi dengan intensitas 300%. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan operasi pintu pelimpah dapat meningkatkan efektivitas pemanfaatan tumpungan, terutama ketika kebutuhan air meningkat dan kondisi debit inflow berfluktuasi.

Saran

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada proyek akhir ini, terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan agar hasil optimasi dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan.

Pertama, penerapan hasil optimasi sebaiknya diawali dengan pendekatan kepada petani di Daerah Irigasi Cihoe–Cikumpeni. Pendekatan ini diperlukan untuk membangun pemahaman bersama terkait tujuan optimasi, perubahan pengaturan distribusi air, serta penyesuaian pola tanam yang mungkin terjadi. Dengan komunikasi yang baik dan adanya kesepakatan sejak awal, implementasi di lapangan akan lebih mudah dilaksanakan karena didukung oleh penerima manfaat utama. Kedua, hasil optimasi menunjukkan adanya potensi kelebihan ketersediaan air pada periode tertentu. Kondisi ini dapat dipertimbangkan sebagai peluang untuk pengembangan daerah layanan irigasi, namun tetap harus memperhatikan pola operasi pintu radial pada pelimpah agar keandalan muka air waduk dan distribusi debit tetap terjaga. Selain itu, diperlukan kajian lanjutan yang mempertimbangkan kebutuhan air secara real-time, termasuk variasi kebutuhan pada jam-jam puncak, sehingga strategi operasi dan distribusi air dapat lebih adaptif terhadap dinamika permintaan di lapangan.

10. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS yang telah membina dan mendidik penulis. Serta seluruh pihak yang ikut membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penggeraan dan penyelesaian

11. DAFTAR PUSTAKA

- Asmorowati, E. T., Rahmawati, A., Sarasanty, D., Kurniawan, A. A., Rudiyanto, M. A., Nadya, E., Nugroho, M. W., & Findia. (2021). Drainase Perkotaan. *Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia*, 161.
- Curah, R., Harian, H., & Maksimum, H. H. (2017). *Laporan hidrologi*. 03, 1–32.
- Hilmi, M., Masrevaniah, A., & Soetopo, W. (2012). Optimasi Pola Operasi Waduk Pelaparado Di Kabupaten Bima. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3, 132–142.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). Standar Perencanaan Irigasi. *Kementerian Pekerjaan Umum*, 1–253. <https://simantu.pu.go.id/content/?id=83>
- Kementerian PUPR. (2017). Modul Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air. *Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Konstruksi*, 67.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013).
- Standar Perencanaan Irigasi. *Kementerian*

SIMULASI PEMANFAATAN AIR BENDUNGAN CIJUREY KABUPATEN**BOGOR.**

(Nuril Sabrina, Hendra Wahyudi, Bagas Yoga Pratama)

- Pekerjaan Umum, 1–253.*
- Kementerian PUPR. (2017). Modul Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air. *Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Konstruksi*, 67.
- Pekerjaan Umum (Public Works). (2007). *Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum.*
- Masrevaniah, A. (2012). *Konstruksi Bendungan Urugan V*Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). Standar Perencanaan Irigasi. *Kementerian Pekerjaan Umum, 1–253.*
- Kementerian PUPR. (2017). Modul Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air. *Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Konstruksi*, 67.
- Pekerjaan Umum (Public Works). (2007). *Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum.*
- olume 2 Pelimpah. CV. Asrori Malang.
- Pekerjaan umum. (2017). Perhitungan Hidrologi. *Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Urugan Tingkat Dasar*, 1–9.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan. (2017). *Modul perhitungan hidrologi pelatihan perencanaan bendungan tingkat dasar 2017*. 148.
- Pusdiklat Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2017). Modul 05 - Modul Hidrologi, Kebutuhan dan Ketersediaan air. *Modul Pelatihan Alokasi Air*, 5, 42.
- Pushpa Chitrakar. (2005). *Micro-Hydropower Design Aids Manual*. October, 89–97. [https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_\(MHP\)_Manuals_-_Micro-Hydro_Design_Aids_Manual](https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_(MHP)_Manuals_-_Micro-Hydro_Design_Aids_Manual)
- Romadhona, A. N. (2023). *Optimasi Operasional Pemanfaatan Air Waduk Bagong Sebagai Pengendali Banjir, Irigasi, Air Baku, Dan Pembangkit Listrik Menggunakan Program Linear.*
- Rosandi, R. A., Soepriyono, S., & Rini, T. S. (2023). Optimasi Pola Operasi Waduk Maduran Kabupaten Lamongan Provinsi Jawa Timur. *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 11(1), 037. <https://doi.org/10.30742/axial.v11i1.2855>
- Soewarno, 1995. (n.d.). *Rilid 2.*
- Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. *Beta Offset Yogyakarta*, 0–358.