

Metode Optimasi Pola Operasi Kebutuhan Air Irigasi Menggunakan Program Solver (Studi Kasus: Bendungan Sempor, Kebumen, Jawa Tengah)

Nina Pebriana^[1], Hani Hastika Rahmatiana^[2], Briant Sabathino Harya
Wibawa^[3], Sukoco^[4]

^{[1][3]} ^[4] Dosen Universitas Surakarta

^[2] Alumni Program Studi Teknik Sipil Universitas Surakarta

Email: ninapebriana@gmail.com, Hqniastika@gmail.com

ABSTRAK

Bendungan Sempor merupakan salah satu infrastruktur sumber daya air yang berfungsi sebagai penyedia air irigasi di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Permasalahan utama yang dihadapi adalah fluktuasi ketersediaan air waduk yang dipengaruhi oleh curah hujan, sedimentasi, serta meningkatnya kebutuhan air irigasi, khususnya pada musim kemarau. Kondisi tersebut menyebabkan distribusi air belum optimal dan berdampak pada penurunan hasil pertanian.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketersediaan air Waduk Sempor, menghitung kebutuhan air irigasi, serta menentukan pola operasi waduk yang optimal menggunakan program Solver. Data yang digunakan meliputi data inflow, outflow, volume tampungan, dan data teknis waduk selama periode 2017–2021 yang diperoleh dari BBWS Serayu Opak dan PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah. Metode analisis meliputi analisis neraca air dan optimasi pola operasi waduk berbasis pemrograman linier dengan bantuan Solver pada Microsoft Excel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan volume air Waduk Sempor berfluktuasi setiap tahun dengan nilai masing-masing sebesar 312,265 juta m³ (2017), 258,506 juta m³ (2018), 199,787 juta m³ (2019), 309,628 juta m³ (2020), dan 273,688 juta m³ (2021). Kebutuhan air irigasi tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 496,77 m³/detik. Hasil optimasi pola operasi waduk menunjukkan karakteristik pelepasan air yang relatif sama dengan kondisi aktual, sehingga dapat dijadikan acuan pengelolaan waduk pada tahun-tahun berikutnya.

Kata kunci: optimasi, pola operasi waduk, air irigasi, program solver.

ABSTRACT

Sempor Dam is one of the water resources infrastructures that functions as an irrigation water supply system in Kebumen Regency, Central Java. The main problem faced is the fluctuation of reservoir water availability caused by rainfall variability, sedimentation, and increasing irrigation water demand, particularly during the dry season. These conditions lead to suboptimal water distribution and contribute to a decline in agricultural productivity.

This study aims to analyze the availability of water in Sempor Reservoir, calculate irrigation water demand, and determine the optimal reservoir operation pattern using the Solver program. The data used in this study include inflow, outflow, storage volume, and technical reservoir data for the period 2017–2021, obtained from the Serayu Opak River Basin Authority (BBWS Serayu Opak) and the Central Java Water Resources Data Center (PUSDATARU). The analysis methods consist of water balance analysis and reservoir operation optimization based on linear programming using the Solver tool in Microsoft Excel.

The results indicate that the reservoir water availability fluctuated annually, with storage volumes of 312.265 million m³ in 2017, 258.506 million m³ in 2018, 199.787 million m³ in 2019, 309.628 million m³ in 2020, and 273.688 million m³ in 2021. The highest irrigation water demand occurred in 2021, reaching 496.77 m³/s. The optimized reservoir operation pattern produced release characteristics that are relatively similar to the actual operational pattern, indicating that the existing operation has approached optimal conditions. Therefore, the optimized operation pattern can be used as a reference for future reservoir management to ensure sustainable irrigation water supply.

Keywords: optimization, reservoir operation patterns, irrigation water, solver program.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya vital yang berperan penting dalam mendukung keberlanjutan sektor pertanian. Bendungan sebagai bangunan konservasi air memiliki fungsi strategis dalam menjamin ketersediaan air irigasi sepanjang tahun. Namun, keterbatasan kapasitas tampungan akibat sedimentasi dan ketidakpastian inflow menyebabkan pengoperasian waduk sering kali tidak optimal.

Bendungan Sempor yang terletak di Kabupaten Kebumen dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain, irigasi, air baku, perikanan, dan pengendalian banjir. Dalam beberapa tahun terakhir, waduk ini mengalami kondisi kritis terutama pada musim kemarau sehingga berdampak pada pemenuhan kebutuhan air irigasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan waduk yang mampu mengoptimalkan pemanfaatan air yang tersedia.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah optimasi pola operasi waduk dengan pendekatan pemrograman linier. Program solver yang tersedia pada Microsoft Excel dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam proses optimasi. Tujuan dari penelitian ini diantaranya untuk :

1. Menganalisis ketersediaan air Waduk Sempor,
2. Menghitung kebutuhan air irigasi,
3. Menentukan pola operasi waduk yang optimal untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran pola operasi waduk yang optimal dan menjadi bahan pertimbangan dalam pengelolaan Bendungan Sempor di masa mendatang.

2. Landasan Teori

A. Waduk dan Pola Operasi Waduk

Waduk merupakan bangunan air yang berfungsi untuk menampung, mengatur dan mendistribusikan air guna berbagai kepentingan seperti irigasi, air baku, pengendalian banjir dan pembangkit listrik. Pola operasi waduk adalah strategi pengaturan pelepasan air berdasarkan kondisi ketersediaan tampungan, inflow, dan kebutuhan air pada periode

tertentu. Menurut konsep pengelolaan sumber daya air, operasi waduk bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara konservasi dan pemanfaatan air secara optimal. Secara umum, operasi waduk didasarkan pada prinsip neraca air, yaitu hubungan antara inflow, outflow, perubahan tampungan, dan kehilangan air.

B. Ketersediaan Air Waduk

Ketersediaan air waduk dipengaruhi oleh kondisi hidrologi daerah tangkapan air, terutama curah hujan dan debit masuk (inflow). Variabilitas iklim menyebabkan fluktuasi inflow tahunan yang berdampak langsung terhadap volume tampungan. Analisis ketersediaan air umumnya dilakukan menggunakan data historis inflow dan volume tampungan untuk mengetahui kecenderungan surplus atau defisit air pada periode tertentu.

Dalam perencanaan operasi waduk, analisis ketersediaan air menjadi dasar dalam menentukan batas minimum dan maksimum tampungan agar fungsi waduk tetap terjaga secara teknis dan operasional.

C. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan jumlah air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tanaman pada suatu luas areal tertentu. Perhitungan kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh faktor evapotranspirasi, curah hujan efektif, jenis tanaman, pola tanam, serta efisiensi jaringan irigasi. Dalam sistem waduk, kebutuhan air irigasi menjadi komponen utama dalam penentuan besarnya pelepasan air (release). Apabila ketersediaan air lebih kecil dari kebutuhan, maka diperlukan strategi optimasi agar distribusi air tetap efisien.

D. Optimasi Pola Operasi Waduk

Optimasi adalah proses pencarian solusi terbaik dari sejumlah alternatif yang memenuhi kendala tertentu. Dalam konteks sumber daya air, optimasi operasi waduk sering menggunakan pendekatan pemrograman linier (*linear programming*). Metode ini memungkinkan penentuan besarnya pelepasan air yang optimal dengan mempertimbangkan batasan kapasitas tampungan dan ketersediaan air.

Model umum pemrograman linier dalam operasi waduk terdiri dari:

Fungsi tujuan: memaksimalkan pemenuhan kebutuhan air irigasi.

Dengan kendala:

1. Batas kapasitas minimum dan maksimum tampungan.
2. Keseimbangan neraca air.
3. Batas pelepasan maksimum yang diizinkan.

Program Solver pada Microsoft Excel merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menyelesaikan model pemrograman linier secara numerik. Solver bekerja dengan menentukan nilai variabel keputusan yang menghasilkan nilai optimal dari fungsi tujuan dengan tetap memenuhi seluruh kendala yang ditetapkan.

Pendekatan optimasi ini banyak digunakan dalam studi operasi waduk karena relatif sederhana, fleksibel, dan mampu memberikan solusi praktis untuk pengambilan keputusan operasional.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan lokasi penelitian di Bendungan Sempor, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait, melalui data inflow, outflow, volume tampungan serta data teknis waduk selama periode 2017-2021. Adapun tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi :

1. Analisis ketersediaan air waduk berdasarkan data inflow dan volume tampungan.
2. Perhitungan kebutuhan air irigasi berdasarkan luas daerah irigasi dan pola tanam.
3. Penyusunan neraca air waduk
4. Optimasi pola operasi waduk menggunakan program Solver dengan pendekatan pemrograman linier.

3.1 Fungsi Tujuan Optimasi

optimasi adalah memaksimalkan pemenuhan kebutuhan air irigasi dengan Batasan berupa kapasitas tampungan minimum dan maksimum serta ketersediaan air waduk dengan rumus:

$$\text{Maksimalkan } Z = \sum_{t=1}^n R_t$$

Dimana :

Z = total debit pelepasan optimal (m^3/det)

R_t = debit pelepasan (release) bulan ke- t

N = jumlah periode (12bulan)

3.2 Kendala Optimasi

a. Kendala Neraca Air Waduk

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t$$

Dimana :

S_t = tampungan awal bulan ke- t (juta m_3)

- I_t = Inflow bulan ke t-(juta m^3)
 R_t = pelepasan bulan ke-t(juta m^3)
 E_t = Evaporasi (dianggap konstan atau kecil)

b. Kendala Tampungang

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max}$$

Dengan :

- $S_{\min}$ = tampungan minimum operasi
 $S_{\max}$ = tampungan efektif waduk

c. Kendala Kebutuhan Air Irigasi

$$0 \leq R_t \leq D_t$$

Dimana :

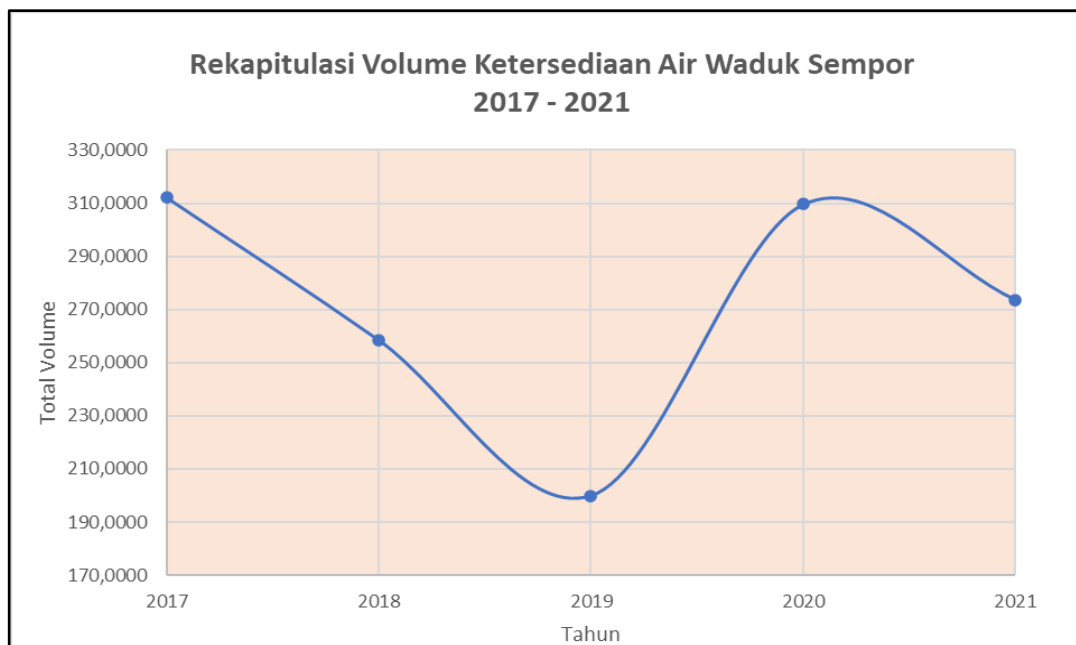
- D_t = kebutuhan air irigasi bulan ke-t

Solver tidak diperbolehkan melepaskan air melebihi kebutuhan irigasi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Ketersediaan Air Waduk Sempor

Penelitian dilakukan pada Waduk Sempor dengan periode data tahun 2017–2021. Berdasarkan hasil rekapitulasi data volume tampungan, terjadi fluktuasi ketersediaan air setiap tahunnya.



Gambar 1. Grafik Rekapitulasi Volume Ketersediaan Air Waduk Sempor (2017-2021)
(Sumber : Pusdatar Jawa Tengah dan Perhitungan penulis)

Hasil analisis menunjukkan bahwa ketersediaan air Waduk Sempor selama periode 2017-2021 mengalami fluktuasi yang cukup signifikan. Tahun 2019 merupakan tahun dengan volume tampungan terendah akibat rendahnya inflow atau kemungkinan pengaruh musim kemarau panjang, sedangkan tahun 2020 mengalami peningkatan signifikan dimana menunjukkan kondisi curah hujan yang lebih baik dan ditahun 2021 volume tampungan menurun kembali. Secara umum terjadi fluktuasi antar tahun, hal itu menunjukkan bahwa sistem waduk sangat dipengaruhi faktor hidrologi tahunan. Grafik tren volume terlihat pola fluktuatif dengan kecendrungan tidak stabil, sehingga diperlukan optimasi pola operasi.

4.2 Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan data BBWS Serayu Opak selama periode 2017 – 2021.

Tabel 1. Rekapitulasi Total Kebutuhan Air Irigasi

Tahun	Total Kebutuhan (m ³ /dt)
2017	127,8
2018	259,4
2019	241,07
2020	391,11
2021	496,77

(Sumber: Hasil pengolahan data penulis)

Terjadi kenaikan signifikan kebutuhan air irigasi pada tahun 2017 ke 2021. Tahun 2021 merupakan kebutuhan tertinggi untuk irigasi yaitu 496,77 m³/dt, peningkatan ini dapat disebabkan oleh intensitas tanam meningkat, perubahan pola tanam, perluasan areal irigasi dan kondisi iklim yang lebih kering. Tren kebutuhan menunjukkan kecendrungan meningkat, sementara volume waduk cenderung fluktuatif dan tidak meningkat secara konsisten.

4.3 Analisis Neraca Air

Berdasarkan rumus perhitungan neraca air yaitu :

Neraca Air = Ketersediaan Volume – Kebutuhan, sehingga didapatkan analisis neraca air Waduk Sempor seperti terlihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Analisis Neraca Air Waduk Sempor (2017-2021)

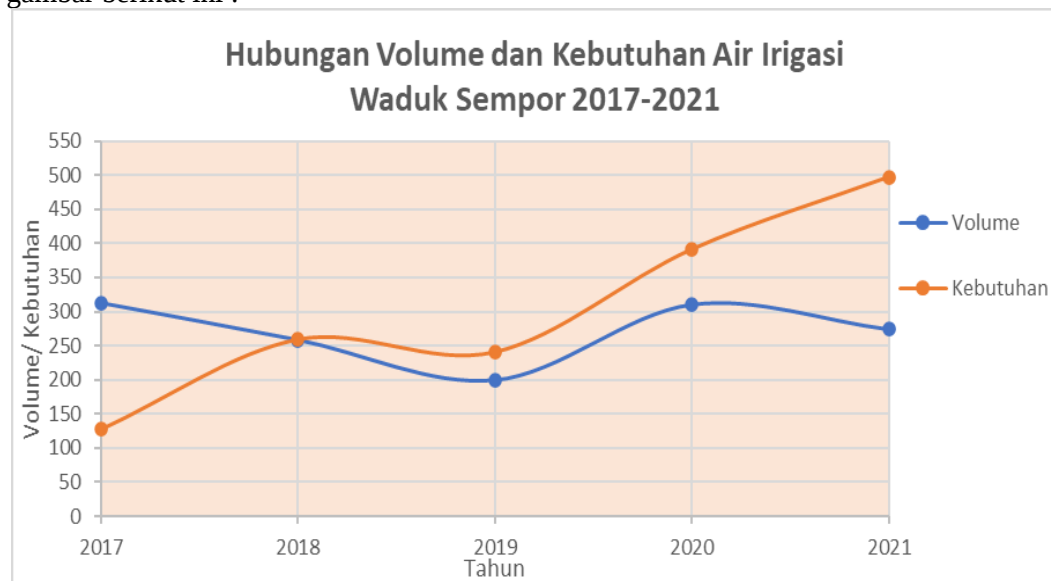
Tahun	Volume (Juta m ³)	Kebutuhan (m ³ /det)	Kondisi
2017	312,2652	127,8	Surplus
2018	258,506	259,4	Defisit Ringan
2019	199,7871	241,07	Defisit
2020	309,6288	391,11	Defisit
2021	273,6881	496,77	Defisit Signikan

(Sumber: Hasil pengolahan data penulis)

Berdasarkan tabel 2 terlihat kondisi Waduk Sempor pada tahun 2017 antara volume dan kebutuhan berada pada kondisi aman (surplus). Periode tahun 2018 hingga 2021 sudah mulai terjadi defisit bertahap dan tahun 2021 menunjukkan kejadian pengurangan terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa optimasi waduk tidak akan mampu memenuhi kebutuhan irigasi secara maksimal dalam beberapa tahun terakhir.

4.4 Hubungan Volume dan Kebutuhan Air Irigasi

Garfik hubungan volume dan kebutuhan berdasarkan olahan data dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. Grafik Hubungan Volume dan Kebutuhan Air Waduk Sempor (2017-2021)
(Sumber: Hasil pengolahan data penulis)

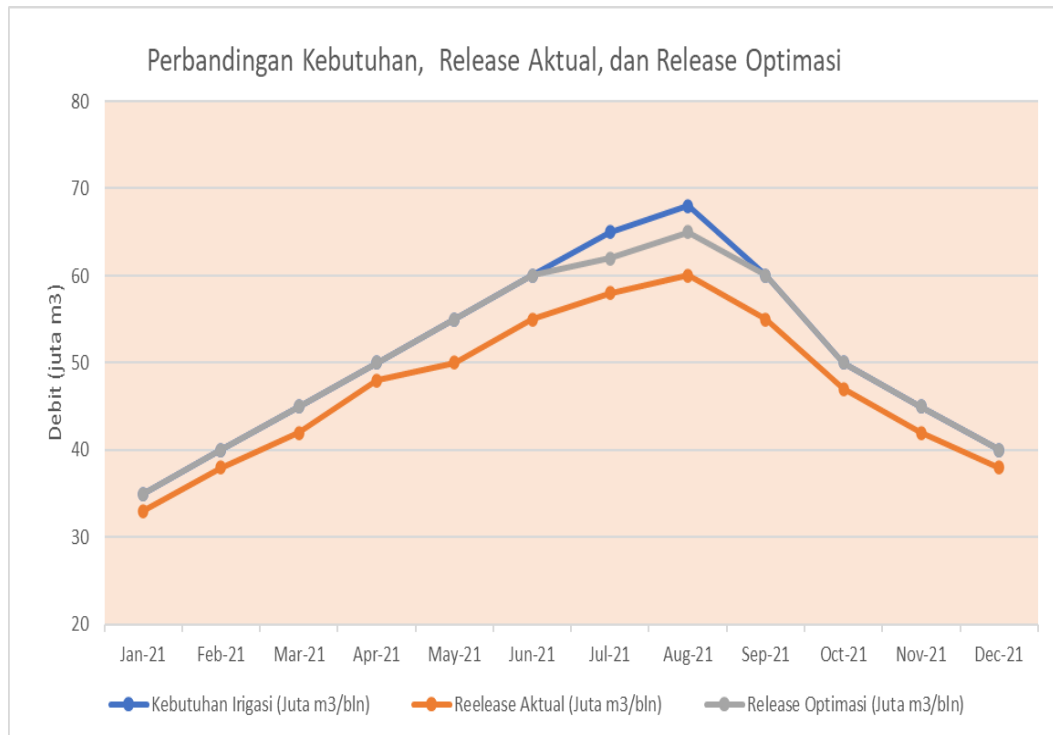
Berdasarkan grafik hubungan volume dan kebutuhan diketahui: pada beberapa bulan (khususnya 2020-2021), hampir mendekati bahkan menyentuh garis volume. Risiko deficit paling besar terjadi biasanya pada awal musim tanam atau periode akhir kemarau. Tahun 2021 menunjukkan tekanan paling besar terhadap sistem waduk. Secara hidrologis, kondisi ini mengindikasikan bahwa;

- Operasi waduk aktual masih mengikuti pola konvensional.
- Belum sepenuhnya menerapkan optimasi berbasis solver.
- Potensi kehilangan air (evaporasi dan pelepasan tidak optimal) masih terjadi.

4.5 Hasil Optimasi Pola Operasi Waduk dengan Program Solver

Tahun 2021 merupakan periode kritis dalam pengelolaan operasi waduk akibat tingginya kebutuhan air irigasi yang tidak selalu diimbangi oleh ketersediaan tampungan. Kondisi ini menuntut penerapan strategi pengoperasian yang lebih efisien dan adaptif untuk menjaga keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Oleh karena itu, optimasi operasi waduk dilakukan menggunakan program Solver dengan tujuan memaksimalkan pemenuhan kebutuhan air irigasi tanpa melanggar batas tampungan minimum dan maksimum waduk.

Hasil optimasi pada tahun 2021 disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai perbandingan antara pola pelepasan air aktual, kebutuhan air irigasi, dan pola pelepasan hasil optimasi. Penyajian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi efektivitas model optimasi dalam mengurangi defisit air, meningkatkan stabilitas pelepasan, serta mendukung pengambilan keputusan operasional waduk secara berkelanjutan.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kebutuhan, Release Aktual dan Release Optimasi pada Tahun 2021

(Sumber: Hasil pengolahan data penulis)

Grafik 3 menjelaskan Kurva release optimasi mengikuti pola kebutuhan irigasi dengan lebih baik dibandingkan kurva release aktual. Pada periode kering (Juni–September), jarak antara kebutuhan dan release aktual cukup besar, sedangkan release optimasi mampu memperkecil selisih tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa Solver bekerja efektif dalam redistribusi pelepasan air secara temporal, bukan meningkatkan total air secara fisik.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai optimasi pola operasi Waduk Sempor untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi menggunakan program Solver, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketersediaan air Waduk Sempor selama periode 2017–2021 menunjukkan fluktuasi tahunan yang signifikan, dengan volume tampungan terendah terjadi pada tahun 2019 dan peningkatan kembali pada tahun 2020. Kondisi ini menegaskan bahwa ketersediaan air waduk sangat dipengaruhi oleh variabilitas hidrologi tahunan, khususnya curah hujan dan inflow.
2. Kebutuhan air irigasi mengalami tren peningkatan yang cukup tajam, dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 496,77 m³/detik. Peningkatan ini tidak diimbangi oleh peningkatan ketersediaan volume waduk, sehingga pada beberapa tahun terakhir terjadi kondisi defisit air.
3. Hasil analisis neraca air menunjukkan bahwa Waduk Sempor mulai mengalami defisit sejak tahun 2018, dengan tingkat defisit paling besar terjadi pada tahun 2021. Hal ini mengindikasikan bahwa pola operasi aktual belum sepenuhnya mampu mengantisipasi ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air irigasi. Optimasi pola operasi waduk menggunakan pendekatan pemrograman linier dengan bantuan program Solver terbukti efektif dalam mendistribusikan pelepasan air secara lebih efisien, terutama pada periode kritis musim kemarau. Pola pelepasan hasil optimasi mampu mengikuti kebutuhan irigasi dengan lebih baik dibandingkan pola operasi aktual. Karakteristik hasil optimasi yang relatif mendekati pola operasi aktual menunjukkan bahwa pengelolaan Waduk Sempor telah berada pada arah yang cukup baik, namun masih memiliki potensi peningkatan efisiensi melalui penerapan optimasi yang lebih sistematis dan terencana.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pola operasi waduk hasil optimasi menggunakan program Solver dapat dijadikan sebagai alternatif acuan operasional, khususnya pada tahun-tahun dengan kondisi hidrologi kritis, guna meminimalkan risiko defisit air irigasi.

2. Perlu dilakukan evaluasi dan pembaruan data inflow, kebutuhan air irigasi, serta kondisi tampungan secara berkala, agar model optimasi yang diterapkan tetap sesuai dengan kondisi aktual waduk dan perkembangan kebutuhan di lapangan.
3. Pengembangan penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan faktor kehilangan air yang lebih detail, seperti evaporasi, rembesan, dan sedimentasi, sehingga hasil optimasi dapat mencerminkan kondisi sistem waduk secara lebih realistis.
4. Kajian lanjutan dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan fungsi waduk lainnya, seperti pengendalian banjir dan penyediaan air baku, sehingga optimasi operasi waduk bersifat multipurpose dan berkelanjutan.
5. Penerapan teknologi optimasi yang lebih lanjut atau integrasi dengan sistem pendukung keputusan (decision support system) diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan Waduk Sempor dalam jangka panjang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- A. Priyonugroho, "Analisis Kebutuhan Air Irigasi (Studi Kasus Pada Daerah Irigasi Sungai Air Keban Daerah Kabupaten Empat Lawang)," *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 2, no. 3, pp. 457–470, 2014.
- Tanubrata, M., & Setiawati, M. (2010). Proses Evaluasi Penawaran Kontraktor. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 79–100.
- Bochari, Bochari, Et Al. "Aplikasi Program Linier Untuk Kebutuhan Optimasi Alokasi Air Daerah Irigasi Okak Samo Kaiti Kabupaten Rokan Hulu." *Andalas Civil Engineering (Ace) Conference 2019*. 2020.
- B. Frahmata, "Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian Dengan Program Linier Studi Kasus : Jaringan Irigasi Saluran Sekunder Majalaya Bendung Walahar Di Kabupaten Karawang Optimization Of Agricultural Land Use With Linier Programs Case Study : Majalaya Bendung Walahar Secon," *J. Ilm. Desain Konstr.*, Vol. 17, No. 2, Pp. 142–150, 2018.
- D. Krisnayanti and I. M. Udana, "Studi Pola Lengkung Kebutuhan Air Untuk Irigasi Pada Daerah Irigasi Tilong," *J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 117–126, 2016.
- Hardiyanti, Siti, and Sulistijo Edhy Purnomo. "Analisis Sistem Kinerja Bendung Cihau." *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur* 7.4 (2020).
- Hermanto, Koko, Silvia Firda Utami, and Ryan Suarantalla. "Optimasi Alokasi Air Irigasi Menggunakan Program Linier (Studi Kasus Bendungan Batu Bulan Kec. Moyo Hulu)." *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan* 14.3 (2020): 447-460.

- Hatmoko, Waluyo, et al. "Neraca ketersediaan dan kebutuhan air pada wilayah sungai di Indonesia." *Laporan Akhir. Bandung (ID): Puslitbang Sumber Daya Air* (2012).
- I. N. S. Triadi, I. N. A. P. Winaya, and I. W. Sudiasa, "Optimalisasi Kebutuhan Air Irigasi di Daerah Sengempel, Kabupaten Badung," *J. Log.*, vol. 17, no. 2, pp. 80–85, 2017.
- N. N. A. Bestari, Azis Septian and Marrushartati, "Optimasi Pemanfaatan Air Sungai Keser Untuk Daerah Irigasi Ngasinan Menggunakan Program Linier," Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- SITI RAPIDAH AZIZ, SITI RAPIDAH AZIZ. *Optimasi Pemanfaatan Sumber Daya Air di Sungai Desa Menggunakan Program Linier*. Diss. Universitas Mataram, 2018.