

Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Jlantah untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Irigasi dan Air Baku

Ivan Muhammad¹, Rachmad Jayadi^{1*}, Istiarto¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: rjayadi@ugm.ac.id

INTISARI

Alokasi air dari Waduk Jlantah perlu dirancang berbasis kajian ilmiah mengingat kompleksitas fungsi layanan yang bersifat multi sektor yaitu irigasi dan air baku. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan alokasi air optimal menggunakan prosedur optimasi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Jlantah dengan total lahan potensial 1587,471 ha dan air baku dengan target sebesar 150 liter/detik. Potensi ketersediaan air dari DAS Jlantah sebagai sumber air waduk dianalisis menggunakan model alihragam hujan-aliran metode F.J. Mock untuk mendapatkan perkiraan debit andalan tengah bulanan. Optimasi pemanfaatan air dilakukan menggunakan algoritma Program Linier yang mempertimbangkan tiga skenario yaitu debit *inflow* tahun basah, tahun normal, dan tahun kering. Hasil optimasi menunjukkan bahwa sektor irigasi mampu mencapai intensitas tanam antara 227% sampai dengan 265% dengan rasio pemenuhan kebutuhan air irigasi minimal 0,7 yang menunjukkan peningkatan signifikan, dimana kondisi eksisting intensitas tanam hanya mencapai 172%. Selain itu, sektor air baku dapat mempertahankan keandalan dengan rata-rata rasio pemenuhan kebutuhan air baku 0,9. Reliabilitas suplai air irigasi dan air baku mencapai 100% untuk ketiga skenario, yang mengindikasikan efektivitas pendekatan optimasi dalam memaksimalkan pemanfaatan air di Waduk Jlantah. Penelitian ini juga menghasilkan *Rule Curve* untuk panduan pelaksanaan operasi Waduk Jlantah dengan kinerja yang maksimal.

Kata kunci: Neraca Air Waduk, Program Linier, *Rule Curve*, Intensitas Tanam.

1 PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) Jlantah merupakan bagian dari DAS Bengawan Solo di wilayah Jawa Tengah, memiliki potensi risiko kekeringan yang cukup tinggi (Utomo, 2014) dan telah mengalami degradasi lahan (Wijayanto dkk., 2021). Kondisi tersebut semakin diperparah oleh perubahan tata guna lahan di DAS Jlantah, dimana peningkatan area pemukiman sangat cepat, sehingga DAS ini tergolong kritis (Setyawan Alfandhani dkk., 2021). Pemanfaatan air untuk sektor irigasi di DAS Jlantah dengan mengandalkan debit aliran DAS tersebut tanpa ada sistem tampungan berupa waduk, hanya mampu memenuhi intensitas tanam 172% dari tiga kali masa tanam (KSO PT. Bina Buana Raya dan PT. Tricons Karya Mandiri, 2022), sehingga membutuhkan infrastruktur berupa waduk. Bendungan Jlantah di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah, dengan tampungannya berupa waduk yang selanjutnya disebut Waduk Jlantah, dirancang untuk pendayagunaan sumber daya air multi sektor, yaitu untuk pemberian air irigasi, air baku, dan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH).

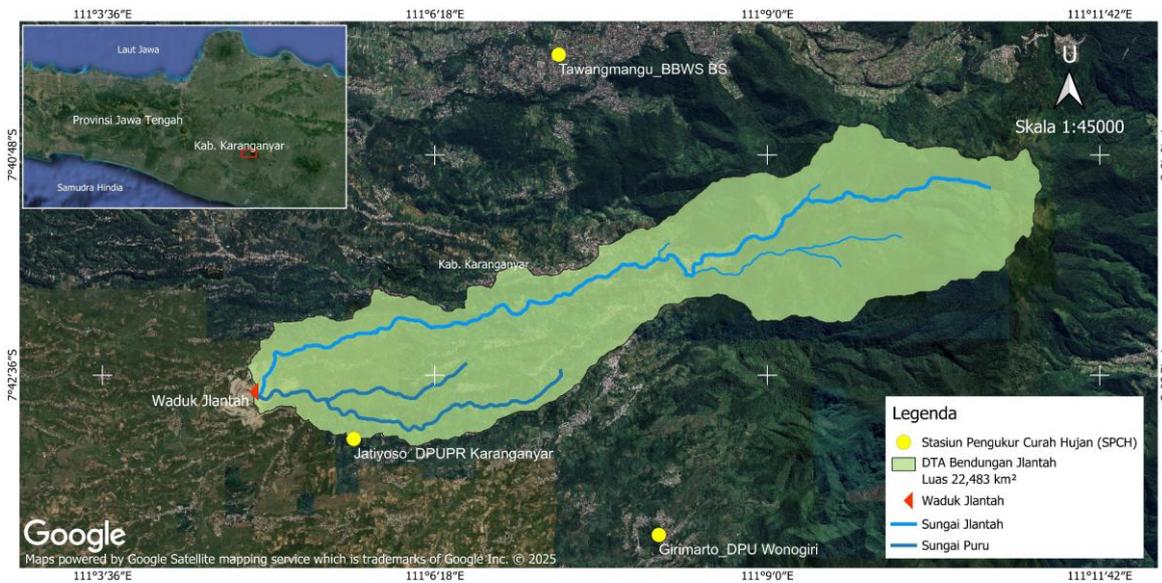
Penyusunan pedoman operasi Waduk Jlantah dengan pengaturan pengeluaran (*release*) air agar pemenuhan kebutuhan air semua sektor dapat mencapai target memerlukan kajian ilmiah dengan memperhitungkan sifat probabilistik aliran masuk (*inflow*) waduk, fluktuasi kebutuhan air, dan karakteristik tampungan waduk. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan *rule curve* sebagai pedoman pelaksanaan operasi waduk agar kinerja pemanfaatan air waduk dapat maksimal. Pendekatan analisis yang dilakukan adalah dengan menerapkan model optimasi alokasi air berbasis prinsip neraca air di tampungan waduk, serta dengan mempertimbangkan beberapa batasan operasional yang ditetapkan sebagai kendala rumusan model optimasi. Rumusan model optimasi menggunakan algoritma Program Linier yang diselesaikan dengan bantuan *add-in Solver* di *Microsoft Office Excel*.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian dan Karakteristik Tampungan Waduk Jlantah

Waduk Jlantah terletak di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah pada koordinat 7°42'44,05" LS dan 111°04'47,57" BT. Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Jlantah memiliki luas 22,483 km² yang merupakan sumber

aliran di Sungai Jlantah dan Sungai Puru menuju tampungan Waduk Jlantah. Gambar 2.1 menunjukkan Lokasi DTA Waduk Jlantah dan stasiun pengukur curah hujan.



Gambar 2.1 DTA Waduk Jlantah dan Stasiun Pengukur Curah Hujan

Berdasarkan Gambar 2.1., peta dasar (*basemap*) diperoleh melalui akses *layer* Google Satellite secara dalam jaringan dan waktu nyata, yang diolah menggunakan perangkat lunak bebas dan sumber terbuka, yaitu QGIS. Waduk Jlantah merupakan waduk serbaguna yang difungsikan untuk pemenuhan kebutuhan air multi sektor yaitu kebutuhan irigasi di lahan potensial 1.587,471 ha, kebutuhan air baku dengan target 150 liter/detik, dan PLTMH dengan proyeksi daya 625 kWh. Karakteristik Tampungan Waduk Jlantah ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Tampungan Waduk Jlantah

Karakteristik	Volume	Elevasi
Kapasitas Tampungan Waduk Minimum	2,677 MCM	+662 m MSL
Kapasitas Tampungan Waduk Maksimum (Ambang Pelimpah)	10,976 MCM	+685 m MSL
Kapasitas Tampungan Waduk pada <i>Crest Dam</i> (Puncak Bendungan)	13,702 MCM	+690 m MSL

Keterangan: MCM = *million cubic meters* (juta meter kubik); MSL = *mean sea level*

2.2 Analisis Ketersediaan Air

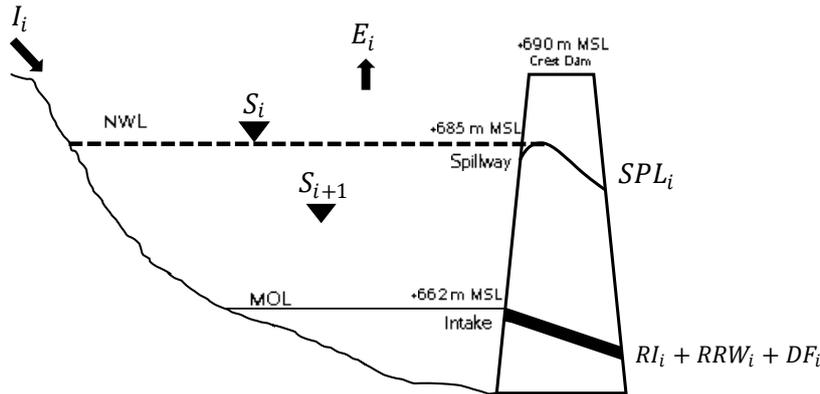
Ketersediaan air untuk mengetahui potensi *inflow* waduk dinyatakan dalam tiga kondisi aliran, yaitu aliran tahun basah, normal, dan kering (Pusdiklat SDA dan Konstruksi Kementerian PUPR, 2017). Penetapan debit aliran sungai untuk interval waktu tertentu didasarkan pada nilai probabilitas disamai atau dilampaui sebesar 35% untuk tahun basah, 50% untuk tahun normal, dan 65% untuk tahun kering. Jika data debit historis terbatas, maka dapat digunakan model alihragam curah hujan menjadi aliran (*rainfall-runoff*) untuk memperkirakan debit rerata pada interval waktu tertentu, antara lain Model F.J. Mock, model NRECA, dan model RAINRUN. Pada penelitian ini digunakan Model F.J. Mock yang mudah diterapkan karena struktur model yang sederhana dan *input* data yang mudah didapatkan (F.J. Mock, 1973). Model F.J. Mock cocok diterapkan di wilayah yang berkarakteristik iklim *monsoon*, termasuk di Indonesia, dengan ketelitian hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya (Jayanti dkk., 2023).

2.3 Analisis Kebutuhan Air

Pemanfaatan air di Waduk Jlantah adalah untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTMH. Pada penelitian ini fokus pemanfaatan air adalah untuk kebutuhan air irigasi dan air baku, karena PLTMH berada di jalur *intake* yang sama dan tidak mengurangi kuantitas aliran keluar (*outflow*), sehingga tidak diperhitungkan. Suplai air irigasi dari Waduk Jlantah didistribusikan ke Daerah Irigasi (D.I.) Jlantah dengan luas total lahan potensial 1.587,471 ha yang dibagi menjadi 2 golongan, yaitu Golongan A seluas 908,611 ha dan Golongan B seluas 678,86 ha. Pemenuhan kebutuhan air baku dari Waduk Jlantah direncanakan dengan target sebesar 150 liter/detik. Analisis kebutuhan air irigasi mengadopsi analisis yang telah dilakukan oleh konsultan (KSO PT. Bina Buana Raya dan PT. Tricons Karya Mandiri, 2022), dengan rencana pola tata tanam berupa padi-padi-palawija.

2.4 Optimasi Pemanfaatan Air Waduk

Optimasi pemanfaatan air waduk merupakan upaya pembagian air yang optimal melalui *release* air dalam rangka memaksimalkan manfaat waduk berdasarkan sektor-sektor penggunaan air (Lai dkk., 2022). Salah satu pendekatan dalam optimasi alokasi air dari suatu waduk adalah menggunakan metode Program Linier yang telah banyak digunakan seperti di Waduk Bener (Pratiwi dkk., 2022), Waduk Tukul (Hadhya dkk., 2020), dan Waduk Meninting (Rediasti dkk., 2023). Optimasi alokasi air pada penelitian ini diwujudkan dalam pengaturan pengeluaran air waduk (Kangrang dkk., 2023) berdasarkan prinsip neraca air, target pemenuhan kebutuhan air dan karakteristik tampungan waduk. Jika *inflow* waduk cukup besar dan ketersediaan air melebihi kebutuhan air di hilir waduk, maka muka air waduk akan naik dan dapat terjadi limpasan air ke hilir melalui ambang *spillway* (Muhammad dkk., 2024). Ilustrasi skema operasi waduk dalam rangka pengaturan *release* air Waduk Jlantah ditunjukkan pada pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Neraca Air Waduk Jlantah

Berdasarkan Gambar 2.2, secara matematis prinsip neraca air dalam pengaturan pengeluaran (*release*) air waduk ditunjukkan pada Persamaan (2.1) dalam satuan MCM.

$$S_{i+1} = S_i + I_i - E_i - O_i - SPL_i \tag{2.1}$$

$$O_i = DF_i + RI_i + RRW_i \tag{2.2}$$

dengan S_{i+1} dan S_1 adalah volume tampungan waduk periode akhir/selanjutnya atau ke $i+1$ dan periode ke i ; I_i adalah volume *inflow* periode ke i ; E_i adalah volume evaporasi periode ke i ; O_i adalah volume *outflow* periode ke i ; SPL_i adalah volume limpasan melalui *spillway* periode ke i ; DF_i adalah volume *duty flow* periode ke i ; RI_i adalah volume *release* untuk irigasi periode ke i ; dan RRW_i adalah volume *release* air baku periode ke i . Batasan-batasan dalam optimasi ditunjukkan pada Persamaan (2.3) sampai dengan Persamaan (2.7) dalam satuan MCM.

$$A_i \leq A \tag{2.3}$$

$$0,7 \times TRI_i \leq RI_i \leq TRI_i \tag{2.4}$$

$$0,9 \times TRRW_i \leq RRW_i \leq TRRW_i \tag{2.5}$$

$$S_{min} < S_i < S_{max} \tag{2.6}$$

$$S_1 = S_n \tag{2.7}$$

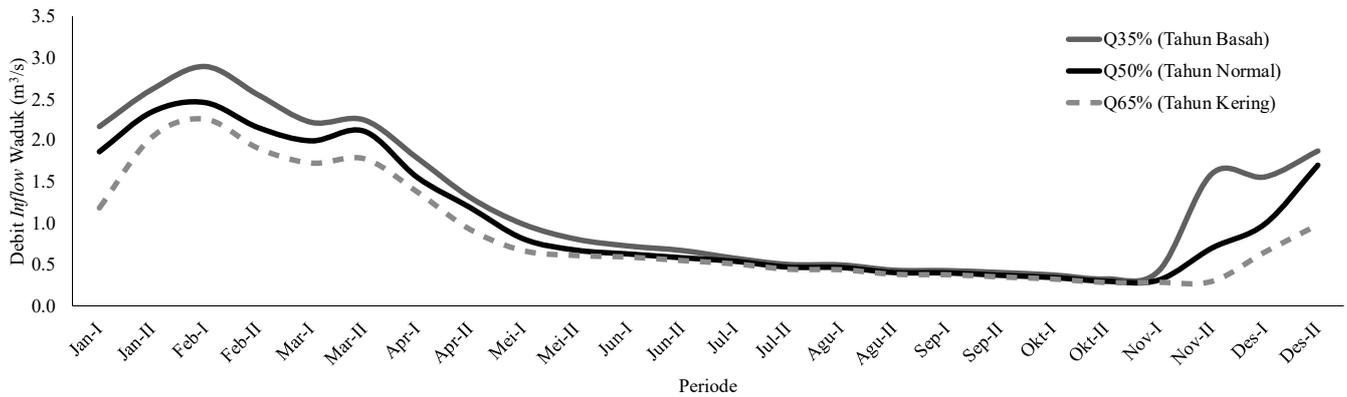
dengan A_i adalah luas lahan aktual periode ke i (ha); A adalah luas lahan potensial (ha); TRI_i dan $TRRW_i$ adalah *target release* air irigasi dan air baku; S_{min} adalah volume waduk minimum; S_{max} adalah volume waduk maksimum; S_1 adalah volume waduk awal periode analisis; S_n adalah volume waduk akhir periode analisis. Pola operasi Waduk Jlantah adalah siklus tahunan periode 15 harian yang dimulai pada November-I sampai dengan Oktober-II.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ketersediaan Air

Data debit aliran sungai yang menuju tampungan Waduk Jlantah tidak tersedia. Oleh karena itu digunakan model Mock untuk mendapatkan perkiraan debit *inflow* rerata tengah bulanan Waduk Jlantah dengan *input* data hujan Stasiun Tawangmangu, Stasiun Jatiyoso, dan Stasiun Girimarto, serta data klimatologi Stasiun Puslitbang FP UNS. Simulasi alihragam hujan-aliran dilakukan sepanjang 34 tahun, yaitu tahun 1990 - 2023. Parameter DAS diperoleh berdasarkan hasil kalibrasi yang dilakukan pada DAS terdekat, yaitu DAS Samin dengan asumsi sifat-sifat hidrologi

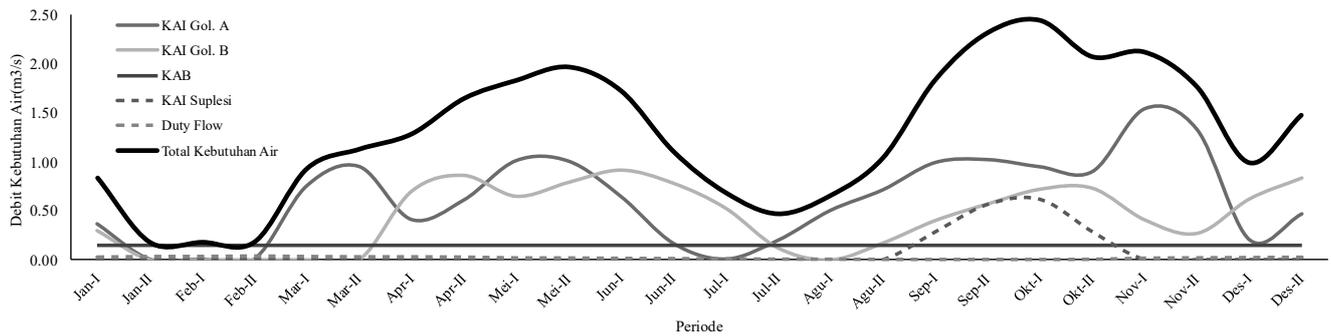
kedua DAS mirip. Selanjutnya dilakukan hitungan debit *inflow* waduk rerata tengah bulanan untuk kondisi aliran tahun basah, normal, dan kering seperti dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Debit *inflow* Waduk Jlantah tahun basah, normal, dan kering

3.2 Kebutuhan Air

Analisis kebutuhan air telah dilakukan oleh konsultan yang terdiri dari kebutuhan air irigasi Golongan A, Golongan B, air baku, dan pemeliharaan aliran sungai. Suplai sektor irigasi juga dibutuhkan dalam rangka suplesi D.I. Lemahbang, di hilir D.I. Jlantah. Kebutuhan air baku yang ditargetkan dinyatakan dalam satuan kebutuhan air konstan sebesar 150 liter/detik. Hasil analisis kebutuhan air masing-masing sektor ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kebutuhan air irigasi dan non-irigasi

Pola tanam di D.I. Jlantah adalah Padi – Padi – Palawija, dengan Masa Tanam (MT) I Golongan A dimulai pada November-I dan MT I Golongan B dimulai pada Desember-I. Kebutuhan Air Irigasi (KAI) D.I. Lemahbang hanya membutuhkan suplesi aliran air pada periode September-I sampai dengan Oktober-II. Kebutuhan air untuk pemeliharaan aliran Sungai (*duty flow*) merupakan debit 5%—10% dari debit andalan 80%. Total kebutuhan air merupakan akumulasi dari debit KAI Golongan A, KAI Golongan B, Kebutuhan Air Baku (KAB), KAI Suplesi, dan kebutuhan air untuk pemeliharaan aliran sungai (*duty flow*).

3.3 Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Jlantah

Optimasi pemanfaatan air Waduk Jlantah dimaksudkan untuk menentukan *release* aktual masing-masing sektor penggunaan air sedemikian sehingga diperoleh capaian kinerja yang maksimal. Hasil analisis jumlah ketersediaan air, yaitu volume *inflow* tahunan kondisi tahun basah 39 MCM ternyata tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air total tahunan sebesar 40 MCM, sesuai pola tanam yang ditetapkan. Oleh karena itu *release* setiap periode operasi harus ditentukan agar tidak lebih kecil dari batas nilai tertentu baik untuk layanan air irigasi maupun air baku. Pada hitungan optimasi ini diberlakukan faktor k, yaitu rasio minimum antara *release* aktual dan target *release* yang nilainya 0,7 untuk irigasi dan 0,9 untuk air baku. Prosedur coba ulang nilai RI_i dan RRW_i serta luas tanam aktual (A_i) dilakukan untuk 24 periode operasi sedemikian sehingga tujuan optimasi tercapai, yaitu diperoleh intensitas tanam maksimal dan muka air waduk awal dan akhir siklus operasi pada elevasi yang sama. Evaluasi kinerja hasil optimasi operasi waduk didasarkan pada intensitas tanam serta reliabilitas layanan air irigasi dan air baku. Hitungan

optimasi diberlakukan mengikuti kebijakan operasi waduk dimana prioritas pemenuhan kebutuhan air adalah untuk irigasi. Hasil optimasi pemanfaatan air waduk dengan ketiga kondisi debit *inflow* ditunjukkan pada Tabel 3.2.

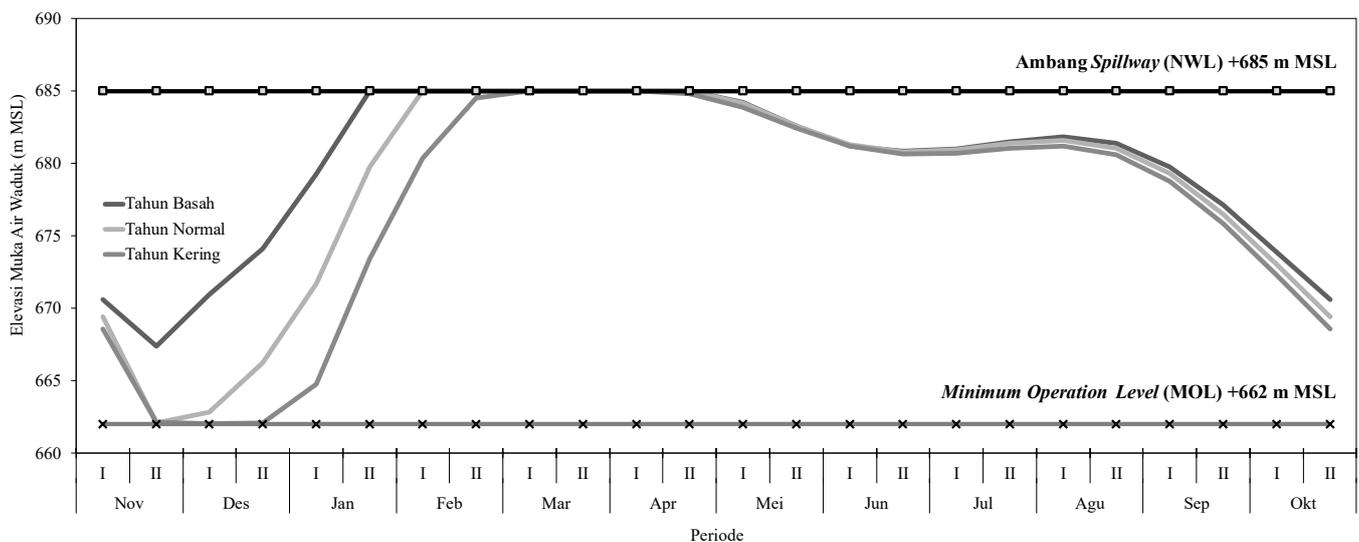
Tabel 3.1 Resume Hasil Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Jlantah

Kinerja operasi waduk		Inflow tahun basah			Inflow tahun normal			Inflow tahun kering		
		MT I	MT II	MT III	MT I	MT II	MT III	MT I	MT II	MT III
Luas tanam aktual (ha)	Gol. A	908,611	860	553	850	700	550	565	555	540
	Gol. B	678,86	635	553	675	600	570	670	600	570
	Total	1.587,471	1.495	1.106	1.525	1.300	1.120	1.235	1.155	1.110
Intensitas tanam (%)	Gol. A	100%	95%	61%	94%	77%	61%	62%	61%	59%
	Gol. B	100%	94%	81%	99%	88%	84%	99%	88%	84%
	Tahunan		265,3%		251,5%		226,9%			
Faktor k irigasi rerata	Gol. A	0,700	0,702	0,703	0,704	0,700	0,706	0,700	0,700	0,700
	Gol. B	0,700	0,702	0,703	0,700	0,700	0,706	0,700	0,700	0,700
Reliabilitas air irigasi	Gol. A		100%			100%		100%		100%
	Gol. B		100%			100%		100%		100%
Faktor k air baku rerata			0,9			0,9		0,9		
Reliabilitas air baku			100%			100%		100%		

Berdasarkan Tabel 3.2, keseluruhan indikator telah memenuhi kriteria yang ditetapkan sedemikian diperoleh luas tanam aktual dengan intensitas tanam hasil optimasi pemanfaatan air Waduk Jlantah. Adanya Waduk Jlantah memberikan manfaat signifikan terhadap penyediaan air bagi sektor irigasi. Sebelum adanya waduk, dengan kondisi *inflow* tahun basah tanpa adanya penampungan dalam sistem waduk, D.I. Jlantah tersebut hanya mampu menghasilkan intensitas tanam ±172% dari tiga kali total luas lahan potensial yang ada dan penyediaan air baku hanya mampu memenuhi rasio 0,8 dari target pemenuhannya. Dengan adanya Waduk Jlantah, peningkatan signifikan pada sektor irigasi dapat terjadi hampir 100% pada ketiga kondisi *inflow* DTA dan pada sektor air baku fakto k mampu ditingkatkan hingga 0,9. Hasil akhir optimasi divisualisasikan melalui kurva fluktuasi zonasi muka air (*rule curve*) waduk untuk skenario tahun basah, tahun normal, dan tahun kering.

3.4 Rule Curve

Rule curve merupakan salah satu acuan untuk melaksanakan operasi waduk berupa kurva zonasi fluktuasi elevasi muka air waduk yang disusun untuk mengatur *release* air yang optimal. *Rule Curve* hasil optimasi pemanfaatan air Waduk Jlantah ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pembuatan *Rule Curve* Waduk Jlantah

Muka air waduk pada awal dan akhir siklus operasi waduk dapat mencapai elevasi yang sama, yaitu + 670,6 m MSL untuk *inflow* tahun basah, + 669,4 m MSL untuk *inflow* tahun normal, dan + 668,6 m MSL untuk *inflow* tahun kering.

4 KESIMPULAN

Optimasi pemanfaatan air Waduk Jlantah telah dilakukan dengan menggunakan metode Program Linier yang mengatur *release* air untuk kebutuhan air irigasi dan air baku. Kinerja layanan air irigasi dan air baku masing-masing mencapai reliabilitas 100% dengan rasio pemenuhan kebutuhan air (faktor *k*) irigasi minimum diperoleh 0,7 dan air baku minimum 0,9. Peningkatan yang cukup signifikan terjadi pada sektor irigasi dimana intensitas tanam meningkat hampir 100% pada ketiga kondisi *inflow*. Intensitas tanam D.I. Jlantah pada kondisi *inflow* tahun basah dapat ditingkatkan dari 172% menjadi 263%. Intensitas tanam tersebut tidak berhasil mencapai kondisi sempurna (300%) dikarenakan volume *inflow* tahunan pada kondisi tahun basah, normal, dan kering tidak mencukupi volume total kebutuhan air tahunannya, serta sensitivitas operasi pada MT I dan MT III (periode awal dan akhir dari siklus operasi waduk) dimana volume *inflow* lebih rendah dibandingkan volume total kebutuhan air, sehingga perlu penyesuaian luas tanam aktual dan intensitas tanam tidak bisa mencapai 300%. Hasil penting dari optimasi operasi waduk adalah *Rule Curve* yang memberikan reliabilitas layanan air irigasi dan air baku mencapai 100% untuk ketiga kondisi debit *inflow* waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadthya, R., Jayadi, R., & Pratiwi, E. P. A. (2020). Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Tukul Menggunakan Model Simulasi Operasi Waduk Multi Kriteria. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS ke-X* (hal. 193–200).
- Jayanti, M., Sabar, A., Ariesyady, H. D., Marselina, M., & Qadafi, M. (2023). A comparison of three water discharge forecasting models for monsoon climate region: A case study in cimanuk-jatigede watershed Indonesia. *Water Cycle*, 4, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.002>
- Kangrang, A., Prasanchum, H., Sriworamas, K., Ashrafi, S. M., Hormwichian, R., Techarungruengsakul, R., & Ngamsert, R. (2023). Application of Optimization Techniques for Searching Optimal Reservoir Rule Curves: A Review. *Water (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/w15091669>
- KSO PT. Bina Buana Raya dan PT. Tricons Karya Mandiri. (2022). *Laporan Akhir SID/DD Pembangunan D.I. Jlantah Kab. Karanganyar*. Sukoharjo.
- Lai, V., Huang, Y. F., Koo, C. H., Ahmed, A. N., & El-Shafie, A. (2022). A Review of Reservoir Operation Optimisations: from Traditional Models to Metaheuristic Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(5), 3435–3457. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09701-8>
- Muhammad, I., Darajat, A. R., & Amin, M. (2024). Efektivitas Potensi Embung Tambakboyo terhadap Penyediaan Air Irigasi. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 134–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.24815/jts.v13i2.40346>
- Pratiwi, M. A., Jayadi, R., & Kironoto, B. A. (2022). Kajian Potensi Pemanfaatan Waduk Bener Untuk Pemenuhan Air Baku dan Air Irigasi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 13(1), 12–22.
- Pusdiklat SDA dan Konstruksi Kementerian PUPR. (2017). Modul Operasi Waduk. *Pelatihan Alokasi Air*. Jakarta: BPSDM Kementerian PUPR.
- Rediasti, F. N. K., Jayadi, R., & Triatmodjo, B. (2023). Optimizing the Use of Meninting Multipurpose Reservoir Water in West Lombok District. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 9(May), 217–226.
- Setyawan Alfandhani, R., Rahmawati Hizbaron, D., & Widyastuti, M. (2021). Study of The Influence of Water Cachment Area Conditions on Space Utilization Patterns in Jlantah-Walikun Subwatershed in The Bengawan Solo Watershed Area Upstream. *Jurnal Wana Lestari*, 3(2), 225–232.
- Utomo, M. T. D. (2014). *Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi untuk Pemetaan Daerah Rawan Kekeringan di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada.
- Wijayanto, H. W., Anantayu, S., & Wibowo, A. (2021). Perilaku dalam Pengelolaan Lahan Pertanian di Kawasan Konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) Hulu Kabupaten Karanganyar. *AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*, 2(1), 25–34. <https://doi.org/10.46575/agrihumanis.v2i1.96>