

Pemodelan Operasi Waduk Kaskade Batujai dan Pengga Menggunakan Perangkat Lunak HEC-ResSim

Irsyad Muhammad Izza Al Hamid^{1*}, Istiarto¹, Rachmad Jayadi¹

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

*Corresponding author: irsyadmuhammadizza@gmail.com

INTISARI

Penelitian ini mengkaji pemodelan operasi Waduk Batujai dan Pengga menggunakan perangkat lunak HEC-ResSim untuk mengoptimalkan alokasi air dan meningkatkan efisiensi operasional waduk. Kedua waduk yang terletak di Lombok Tengah ini memiliki fungsi penting dalam penyediaan air untuk irigasi dan air baku. Tujuan utama penelitian adalah merancang pola operasi waduk yang dapat menyeimbangkan kebutuhan air di berbagai kondisi hidrologi, yakni tahun basah (Q35%), normal (Q50%), dan kering (Q65%). Hasil simulasi menunjukkan bahwa Waduk Batujai memiliki reliabilitas irigasi sebesar 100% pada tahun basah, 85% pada tahun normal, dan 72% pada tahun kering. Di sisi lain, Waduk Pengga mempertahankan reliabilitas irigasi sebesar 100% pada semua kondisi hidrologi. Selain itu, reliabilitas Waduk Batujai dalam memenuhi kebutuhan air baku sebesar 0,13 m³/s mencapai 100% pada tahun basah, 82% pada tahun normal, dan 70% pada tahun kering. Sementara itu, Waduk Pengga dengan kebutuhan air baku sebesar 0,2 m³/s dapat memenuhi 100% kebutuhan pada semua kondisi hidrologi. Pemodelan ini memberikan dasar yang kuat untuk menetapkan pola operasi yang optimal, sehingga waduk mampu mengelola air secara efisien dan memenuhi kebutuhan irigasi serta air baku secara berkelanjutan di berbagai kondisi cuaca.

Kata kunci: Pemodelan Operasi Waduk, Alokasi Air, Reliabilitas, HEC-ResSim.

1 PENDAHULUAN

Waduk Batujai dan Waduk Pengga merupakan waduk yang terhubung dalam sistem kaskade/seri dan berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan air baku. Kedua waduk ini terletak di Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Waduk Batujai dibangun mulai tahun 1977 dan selesai pada tahun 1982, dengan tampungan efektif sebesar 14,26 MCM. Waduk ini digunakan untuk mengairi lahan irigasi seluas 3.390 hektar dan memenuhi kebutuhan air baku sebesar 0,13 m³/s. Sementara itu, Waduk Pengga dibangun mulai tahun 1991 dan selesai pada tahun 1994, dengan tampungan efektif sebesar 17,26 MCM. Waduk ini berfungsi untuk mengairi lahan irigasi seluas 3.189 hektar dan memenuhi kebutuhan air baku sebesar 0,2 m³/s.

Dalam pengoperasiannya, operasi Waduk Batujai memengaruhi operasi Waduk Pengga karena kedua waduk ini terhubung melalui sistem interkoneksi, dimana *inflow* Waduk Pengga disuplai dari Waduk Batujai (Agastya, 2022). Untuk memaksimalkan fungsi dan kinerja kedua waduk tersebut, diperlukan pola operasi yang direncanakan dengan baik. Perencanaan alokasi air merupakan kegiatan penting dalam pengelolaan sumber daya air, di mana potensi sumber daya air harus dialokasikan secara merata dengan memberikan prioritas kepada kebutuhan air baku dan irigasi pertanian (Farriansyah dkk., 2018).

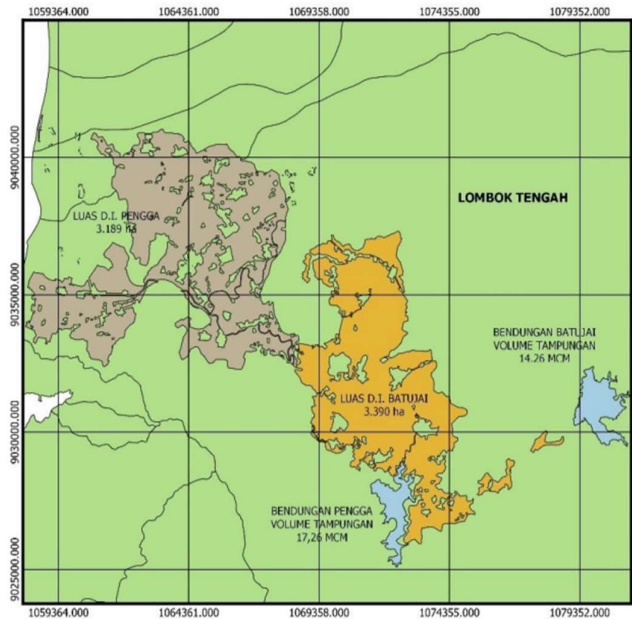
Dalam mengalokasikan air waduk, diperlukan penggunaan model hidrologi yang memudahkan perencanaan pelepasan air secara optimal dan efisien guna memaksimalkan kinerja operasi waduk. Model simulasi dapat digunakan untuk menggambarkan apa yang akan terjadi pada suatu sistem ketika diberikan masukan tertentu. Dengan demikian, pola operasi dapat ditetapkan dengan mempelajari berbagai skenario tanpa perlu menguji sistem tersebut secara nyata. Model ini dibuat dengan meniru dan memasukkan komponen analog, digital, matematis, maupun fisik ke dalam suatu program, kemudian diuji dengan skenario yang diinginkan sehingga sistem dapat dianalisis.

Model hidrologi ini menggunakan perangkat lunak HEC-ResSim v3.3, yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-ResSim dikenal sebagai perangkat lunak simulasi sistem bendungan yang unggul karena mampu memprediksi proses pengambilan keputusan oleh operator waduk dalam operasionalnya (Klipsch & Evans, 2012).

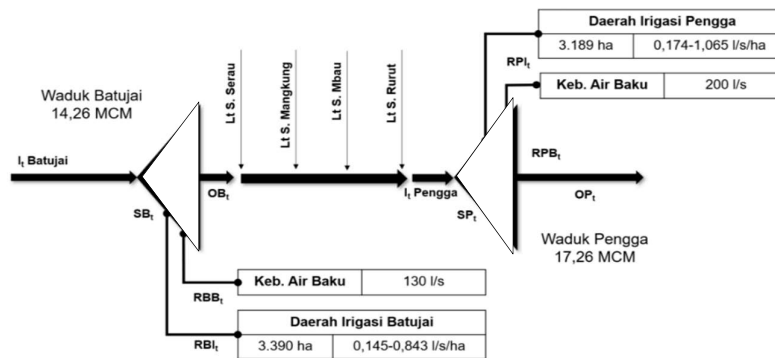
2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Waduk Batujai dan Pengga terletak di Sungai Penujak, yang membentang sepanjang 54 km dan termasuk dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Dodokan dengan luas 550 km². Secara administratif, Waduk Batujai berada di Desa Batujai, Kecamatan Praya Barat, Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat, pada koordinat 8°43'19.71" LS dan 116°18'47.29" BT. Waduk ini dibangun pada tahun 1977 dan selesai pada tahun 1982. Sementara itu, Waduk Pengga terletak di Desa Plambik, Kecamatan Praya Barat Daya, Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat, pada koordinat 8°46'23.00" LS dan 116°11'47.00" BT. Waduk Pengga dibangun pada tahun 1991 dan selesai pada tahun 1994. Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Peta genangan waduk dan DI Waduk Batujai dan Waduk Pengga (Agastya, 2022).



Gambar 2. Skema Waduk Batujai dan Waduk Pengga.

2.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari penelitian terdahulu (Agastya, 2022) antara lain sebagai berikut.

- Data teknis dan karakteristik waduk
- Debit *inflow* tahun historis
- Data evaporasi
- Data kebutuhan air irigasi dan air baku

2.3 Pemodelan HEC-ResSim

Metode yang digunakan dalam studi ini melibatkan pemodelan operasi waduk menggunakan HEC-ResSim v3.3. HEC-ResSim terdiri dari beberapa modul yang mendukung berbagai aspek dalam pemodelan dan analisis sistem waduk serta hidrologi. Dalam HEC-ResSim, modul-modul ini mengacu pada berbagai pengaturan dan konfigurasi yang dapat dilakukan pengguna untuk memodelkan dan menganalisis sistem waduk dan hidrologi. Dengan modul-modul tersebut, HEC-ResSim memberikan fleksibilitas dan fungsionalitas yang luas dalam memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisis sistem hidrologi dan manajemen air, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti dalam rekayasa hidrologi dan manajemen sumber daya air. Beberapa modul yang terdapat dalam HEC-ResSim antara lain *Watershed Setup*, *Reservoir Network*, dan *Simulation*.

a) *Watershed Setup*

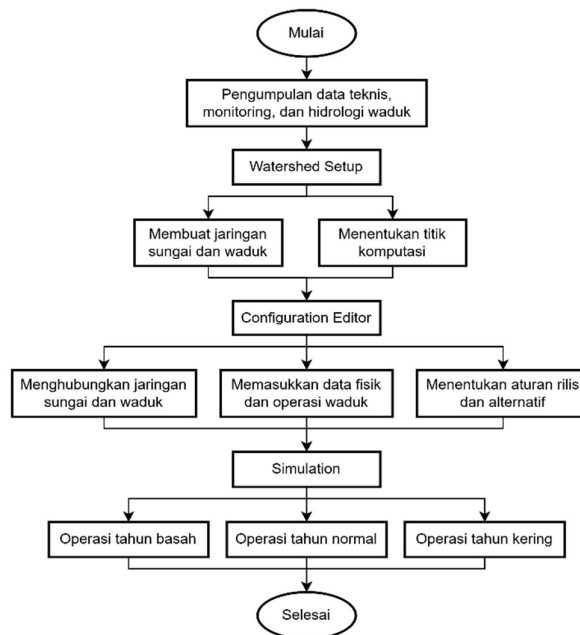
Watershed Setup Module menyediakan alat untuk mengatur pengaturan fisik DAS pengguna, termasuk peta, sistem koordinat, penyaluran aliran sungai, elemen skema, luas geografis, dan data referensi geografis lainnya. Pada modul ini digunakan untuk memasukkan peta layer dalam bentuk data *Digital Elevation Models (DEM)*, membuat jaringan sungai dan waduk, menetapkan titik komputasi, serta membuat konfigurasi waduk atau pengalihan pada wilayah studi yang akan digunakan.

b) *Reservoir Network*

Dalam HEC-ResSim, *reservoir network* mengacu pada kemampuan memodelkan dan mengintegrasikan beberapa waduk dalam sistem yang lebih besar. Modul jaringan waduk ini berfungsi untuk mengedit jaringan waduk, dengan berbagai fitur yang terlibat dalam pembuatan, pengeditan, dan pengelolaan komponen jaringan. Bagian ini menjelaskan komponen dan alat antarmuka pengguna yang tersedia. Konfigurasi jaringan mencakup penentuan aliran sungai, penambahan data *inflow*, data fisik waduk, batas operasi, strategi rilis air, dan aturan alternatif operasi waduk.

c) *Simulation*

Setelah memasukkan semua data yang diperlukan dan telah membuat alternatif, model siap untuk dilakukan simulasi. *Simulation Module* adalah tempat untuk menentukan parameter jendela waktu dan interval waktu untuk satu alternatif atau sekelompok alternatif. Tahap simulasi dimulai dengan menentukan jendela waktu simulasi dan memilih alternatif yang akan dianalisis. HEC-ResSim kemudian membuat folder dengan nama simulasi di folder rss DAS, folder ini mewakili simulasi yang dilakukan. Di dalam folder simulasi ini akan terdapat sebagian salinan DAS, termasuk hanya file-file yang diperlukan oleh alternatif yang dipilih. Di dalam folder ini juga terdapat folder simulasi file DSS bernama *simulation.dss* yang akan berisi semua catatan DSS yang mewakili *input* dan *output* untuk alternatif yang dipilih.



Gambar 3. Diagram Alir Simulasi Operasi Waduk Batujai dan Waduk Pengga.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

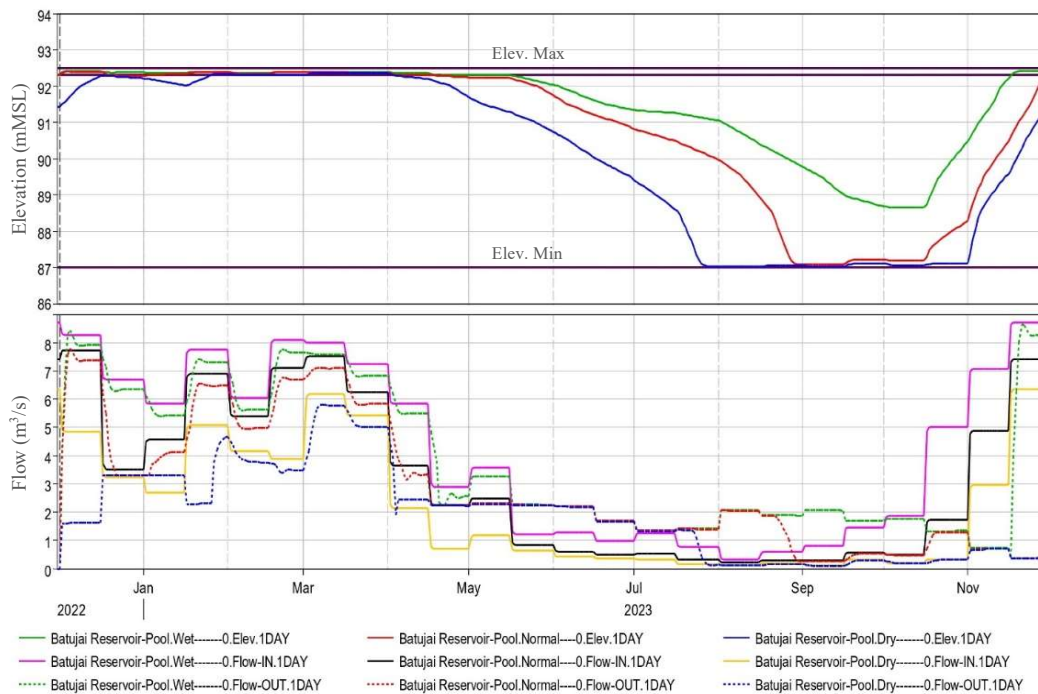
3.1 Operasi Waduk Batujai

Hasil simulasi operasi Waduk Batujai berdasarkan data historis menunjukkan perubahan elevasi tinggi muka air Waduk Batujai selama satu tahun. Simulasi ini dilakukan selama satu tahun, dimulai pada tanggal 1 Desember 2022 hingga 30 November 2023, dengan syarat bahwa elevasi awal dan akhir tinggi muka air waduk harus sama. Kondisi tampungan awal waduk saat simulasi diasumsikan berada pada kondisi tampungan penuh. Gambar 2 menunjukkan hasil simulasi operasi Waduk Batujai pada kondisi tahun basah, tahun normal, dan tahun kering.

Elevasi tinggi muka air Waduk Batujai pada tahun basah ditunjukkan oleh garis hijau. Pada awal periode simulasi tahun basah, elevasi tinggi muka air Waduk Batujai berada pada kondisi tampungan penuh. Perubahan elevasi tinggi muka air selama tahun basah cenderung stabil di awal periode simulasi dan hampir selalu berada pada batas atas zona konservasi. Pada pertengahan periode simulasi, elevasi tinggi muka air waduk menurun hingga mencapai titik terendahnya di elevasi +88,42 m pada awal Oktober, tetapi tidak mencapai batas atas zona tidak aktif. Menjelang akhir periode simulasi, elevasi tinggi muka air Waduk Batujai kembali mencapai kondisi tampungan penuh.

Elevasi tinggi muka air Waduk Batujai pada tahun normal ditunjukkan oleh garis merah. Simulasi operasi Waduk Batujai pada tahun normal menunjukkan adanya penurunan elevasi tinggi muka air mulai bulan Mei, hingga mencapai batas atas zona tidak aktif di elevasi +87,04 m pada akhir Agustus. Penurunan elevasi ini berlanjut dari awal Mei hingga akhir Oktober. Elevasi tinggi muka air Waduk Batujai kemudian kembali naik pada akhir Oktober dan mencapai kondisi penuh kembali pada akhir periode simulasi.

Pada awal periode simulasi tahun kering, terdapat perbedaan pada elevasi tinggi muka air awal Waduk Batujai. Garis biru menunjukkan elevasi tinggi muka air Waduk Batujai pada tahun kering, dengan elevasi awal berada di +91,41 m. Penurunan elevasi tinggi muka air waduk terjadi dari bulan April hingga Juli, mencapai titik terendah di elevasi +87,00 m. Selama periode Juli hingga Oktober, elevasi tinggi muka air Waduk Batujai mencapai elevasi minimum. Pada bulan November, elevasi tinggi muka air Waduk Batujai kembali naik, dan pada akhir periode simulasi, elevasi tersebut sama dengan elevasi awal.



Gambar 4. Default Plot Batujai Reservoir.

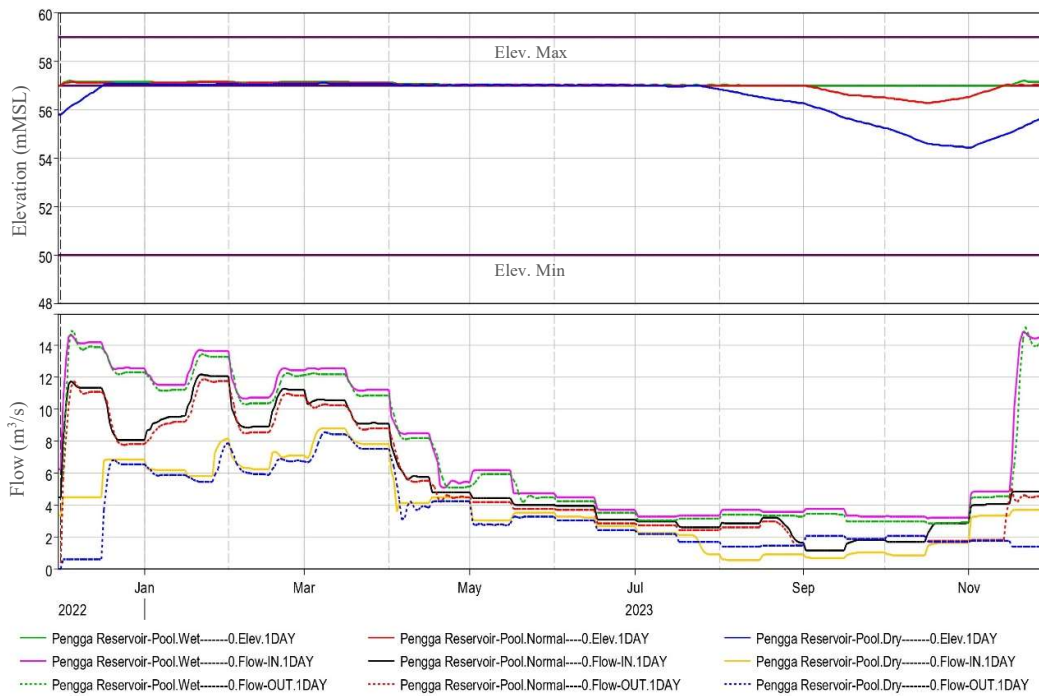
3.2 Operasi Waduk Pengga

Hasil simulasi operasi Waduk Pengga berdasarkan data historis menunjukkan perubahan elevasi tinggi muka air Waduk Pengga selama satu tahun. Simulasi ini dilakukan selama satu tahun, dimulai pada tanggal 1 Desember 2022 hingga 30 November 2023, dengan syarat bahwa elevasi awal dan akhir tinggi muka air waduk harus sama. Kondisi tampungan awal waduk saat simulasi diasumsikan berada pada kondisi tampungan penuh. Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi operasi Waduk Pengga pada kondisi tahun basah, tahun normal, dan tahun kering.

Elevasi tinggi muka air Waduk Pengga pada tahun basah ditunjukkan oleh garis hijau. Pada awal periode simulasi tahun basah, elevasi tinggi muka air Waduk Pengga berada pada kondisi tampungan penuh. Selama awal hingga akhir periode simulasi, kondisi tampungan Waduk Pengga selalu berada dalam kondisi penuh dan tidak terjadi adanya penurunan elevasi tinggi muka air.

Elevasi tinggi muka air Waduk Pengga pada tahun normal ditunjukkan oleh garis merah. Simulasi operasi Waduk Pengga pada tahun normal menunjukkan adanya penurunan elevasi tinggi muka air mulai bulan September, hingga mencapai titik terendahnya di elevasi +56,26 m pada awal Oktober. Elevasi tinggi muka air Waduk Pengga kemudian kembali naik pada akhir Oktober dan mencapai kondisi penuh kembali pada akhir periode simulasi.

Pada awal periode simulasi tahun kering, terdapat perbedaan pada elevasi tinggi muka air awal Waduk Pengga. Garis biru menunjukkan elevasi tinggi muka air Waduk Pengga pada tahun kering, dengan elevasi awal berada di +55,72 m. Penurunan elevasi tinggi muka air waduk terjadi dari bulan Agustus hingga Oktober, mencapai titik terendah di elevasi +54,33 m. Pada bulan November, elevasi tinggi muka air Waduk Pengga kembali naik, dan pada akhir periode simulasi, elevasi tersebut sama dengan elevasi awal.



Gambar 5. Default Plot Pengga Reservoir.

3.3 Rekapitulasi Waduk Batujai dan Pengga

Tabel 1 menampilkan data mengenai parameter-parameter dari Waduk Batujai dan Waduk Pengga berdasarkan skenario alternatif tahun basah, normal, dan kering. Ringkasan per skenario alternatif menunjukkan variasi yang signifikan dalam kapasitas tampungan air waduk, elevasi muka air waduk, debit pelepasan air serta debit limpasan air, tergantung pada kondisi alternatif yang diproyeksikan. Perbedaan reliabilitas untuk setiap skenario dari kedua waduk disebabkan oleh variasi dalam pemenuhan target kebutuhan air.

Tabel 1. Rekapitulasi Waduk Batujai dan Waduk Pengga

Location/Parameter	Wet Year Operation		Normal Year Operation		Dry Year Operation	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Batujai Reservoir						
Storage (m ³)	15025493.19	916485.97	14935838.64	173784.46	14685694.70	160624.33
Elevation (m)	92.42	88.42	92.40	87.04	92.36	87.00
Controlled Release (m ³ /s)	3.68	0.00	3.68	0.00	3.68	0.00
Uncontrolled Spill (m ³ /s)	4.97	0.00	4.10	0.00	2.12	0.00
Reliability Irrigation (%)	100		85		72	
Reliability Raw Water (%)	100		82		70	
Pengga Reservoir						
Storage (m ³)	18072574.37	17234177.56	17887360.37	14124993.78	17658591.73	7835691.44
Elevation (m)	57.17	56.99	57.13	56.26	57.08	54.33
Controlled Release (m ³ /s)	5.05	0.00	5.05	0.00	5.05	0.00
Uncontrolled Spill (m ³ /s)	9.90	0.00	6.87	0.00	3.52	0.00
Reliability Irrigation (%)	100		100		100	
Reliability Raw Water (%)	100		100		100	

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan operasi Waduk Kaskade Batujai dan Waduk Pengga dengan perangkat lunak HEC-ResSim efektif untuk mengoptimalkan alokasi air. Simulasi menggunakan data historis menunjukkan bahwa perubahan elevasi tinggi muka air waduk dapat diprediksi baik dalam kondisi tahun basah, normal, dan kering. Kondisi tampungan awal waduk saat simulasi diasumsikan berada pada kondisi tampungan penuh. Waduk Batujai mencapai reliabilitas 100% untuk irigasi pada tahun basah, 85% pada tahun normal, dan 72% pada tahun kering, sementara Waduk Pengga mempertahankan reliabilitas 100% di semua kondisi. Waduk Batujai memenuhi kebutuhan air baku 100% pada tahun basah, 82% pada tahun normal, dan 70% pada tahun kering, sedangkan Waduk Pengga selalu memenuhi kebutuhan air baku 100% di semua kondisi. Simulasi ini membantu menetapkan pola operasi waduk yang optimal untuk memenuhi kebutuhan irigasi dan air baku dengan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dewandha Mas Agastya atas izin dan dukungan untuk melanjutkan penelitian ini. Kami menghargai kesempatan yang diberikan dan berkomitmen untuk menghasilkan hasil yang berkualitas.

REFERENSI

- Agastya, D. M. (2022). "Optimasi Operasi Waduk Kaskade Batujai dan Pengga di Pulau Lombok." *Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta.
- Barkah, J. S., Annisa, A. N., and Asniar, N. (2021). "Studi Pola Operasi Bendungan Leuwikeris Menggunakan HEC-ResSim." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (JITSi)*, 1(2).
- Haqiqi, M. I. (2019). "Simulasi Pengelolaan Air Waduk Batujai Untuk Irigasi Dan Air Baku Di Kecamatan Praya Barat Kabupaten Lombok Tengah." *Universitas Mataram*, Mataram.
- Klipsch, J. D., and Evans, T. A. (2012). "Reservoir Operation Modeling With HEC-ResSim."
- Klipsch, J. D., and Hurst, M. B. (2021). "HEC-ResSim Reservoir System Simulation Quick Start Guide (3.3)." *Hydrologic Engineering Center (HEC)*.
- Klipsch, J. D., Hurst, M. B., Modini, G. C., Black, D. L., and O'Connell, S. M. (2021). "HEC-ResSim Reservoir System Simulation User's Manual." *Hydrologic Engineering Center (HEC)*.
- Nurul Hijah, S., and Multardi, D. N. (2020). "Evaluasi Kemampuan Layanan Air Irigasi Pada Waduk Batujai Di Kabupaten Lombok Tengah." *Webinar Nasional Teknik Sipil*.
- Qomah, N. I. (2018). "Simulasi Tampungan Waduk Bendungan Pengga Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Irigasi Daerah Irigasi Bendungan Pengga Kabupaten Lombok Tengah." *Universitas Mataram*, Mataram.
- Soetopo, W., Limantara, L. M., Suhardjono, Andawayanti, U., Lufira, R. D., Huda, M. Q., and Anwar, M. S. (2015). "Perbandingan Antara Model Aturan Lepas Berdasarkan Tampungan Dan Model Rule Curve Untuk Waduk Pengga."
- Wahyuni. (2021). "Penerapan Model Hidrologi HEC-ResSim Pada Operasi Bendung Kampili." *Universitas Hasanuddin*, Makassar.