

PEMBAHARUAN POLA PENGOPERASIAN WADUK SIANJO-ANJO AKIBAT PENINGKATAN LAJU SEDIMEN DAN VARIABILITAS ALIRAN

Nurrul Zahrah, Azmeri, Maimun Rizalihadi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia.

*Email: nurrulzahrah@gmail.com, azmeri@usk.ac.id

Pemasukan: 3 November 2023 Perbaikan: 22 November 2023 Diterima: 24 November 2023

Intisari

Waduk berperan penting dalam memastikan keberadaan air untuk memenuhi kebutuhan air di hilirnya. Keberadaan waduk dapat mengurangi variabilitas temporal terhadap aliran melalui pengaturan *outflow* air waduk. Pada penelitian ini sistem pengoperasian Waduk Sianjo-anjo untuk menyuplai kebutuhan air baku. Sistem pengoperasian waduk harus optimal agar penggunaan air sesuai dengan kebutuhan daerah pelayanan. Metode pengoperasian waduk dianalisis menggunakan teknik optimasi dengan program *non linier*. Optimasi pengoperasian waduk ditujukan untuk meminimalkan deviasi (*outflow*-kebutuhan air) dalam pengoperasiannya. Berdasarkan hasil optimasi pengoperasian Waduk Sianjo-Anjo dengan menggunakan Tool Solver pada Microsoft Excel didapatkan rata-rata *outflow* saat tahun kering sebesar 552.534,16 m³, saat tahun normal didapatkan rata-rata *outflow* sebesar 998.071,34 m³, dan saat tahun basah didapatkan rata-rata *outflow* sebesar 1.632.488,80 m³. Dengan demikian pengoperasian Waduk Sianjo-Anjo menghasilkan lebih besar atau sama dengan 100% keandalan untuk dapat memenuhi kebutuhan air baku yang dapat menyeimbangkan dengan kebutuhan air baku dan tampungan waduk.

Kata Kunci: Pengoperasian waduk, Optimasi, Air baku, Keandalan, Waduk Sianjo-Anjo

Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan air merupakan hasil dari berkembangnya wilayah pada suatu daerah akibat pertumbuhan penduduk. Pemenuhan kebutuhan pangan dan aktivitas penduduk selalu berkaitan erat dengan kebutuhan air. Kebutuhan ini harus direncanakan semaksimal mungkin untuk dimanfaatkan, sehingga tidak menimbulkan konflik kepentingan dalam pengelolaan sumber daya air karena perbedaan kepentingan pengguna air.

Pengambil keputusan sering menemukan kesulitan untuk memilih alternatif yang tepat dari serangkaian tindakan alternatif yang terkait dengan pengelolaan DAS. Keputusan yang diambil dapat menjadi hal yang kontroversial, karena para pemangku kepentingan dengan pandangan dan kepentingan yang berbeda, yang dipengaruhi oleh implementasi alternatif yang diberikan. Dari sudut pandang praktis, isu pengambilan keputusan umumnya berpusat menemukan *a non-*

dominated/Pareto-optimal solution. Misalnya, pendekatan multi-tujuan klasik yang sering diterapkan untuk menyelesaikan *multiple conflicting objectives* (Lee, 2012).

Air adalah sumber daya yang diperlukan bagi manusia dan terkadang merupakan sumber daya alam yang langka yang membutuhkan perjuangan untuk mendapatkannya, terutama di daerah gersang. Sebagian besar tulisan dalam *the neo-Malthusian tradition* menganggap bahwa keseimbangan antara *supply* dan *demand* untuk sumber daya yang langka dapat menjadi konflik sosial. Peningkatan kelangkaan air merupakan elemen kunci yang memprovokasi pemangku kepentingan untuk meramalkan masa depan "*water wars*". Terjadinya perubahan iklim berdampak pada pasokan air makin meningkatkan kekhawatiran terjadinya *the neo-Malthusian tradition* tersebut (Bohmelt dkk., 2014).

Salah satu alternatif secara fisik untuk meminimalkan konflik kepentingan adalah melalui pembangunan waduk sebagai alternatif dari sistem penyediaan air. Wadah buatan yang terbentuk akibat pembangunan bendungan disebut waduk. Bendungan adalah struktur berupa timbunan tanah, timbunan batu dan beton. Tujuan dibangunnya bendungan tidak hanya untuk menampung dan menyimpan air, tetapi juga dapat dibangun untuk menampung dan menyimpan limbah tambang atau untuk menahan lumpur, sehingga terciptalah waduk (Peraturan Menteri PUPR, 2015 dalam Anggraheni dkk, 2017). Waduk berfungsi untuk menampung kelebihan air pada musim hujan dan nantinya dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan pada musim kemarau. Diantaranya adalah untuk kebutuhan air baku, air irigasi, pembangkit energi dan beberapa kebutuhan air lainnya (Azmeri dkk., 2017). Oleh karena itu, ketersediaan air dapat berlebihan atau tidak mencukupi, sehingga diperlukan pedoman peraturan pelepasan air waduk untuk memenuhi kebutuhan air (Harjanti dan Darsona, 2020). Pola operasi waduk adalah suatu pedoman pengaturan air untuk pengoperasian waduk-waduk di mana debit air yang dikeluarkan oleh waduk harus mengikuti ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai dengan rancangan awal (Samosir dkk., 2015).

Waduk berperan penting dalam memastikan keberadaan air dalam beberapa kebutuhan air (misalnya: air baku, irigasi, pembangkit listrik tenaga air). Keberadaan waduk dapat mengurangi variabilitas temporal terhadap aliran melalui pengaturan *outflow* waduk. Walaupun harus diakui bahwa *outflow* air yang dikendalikan dari waduk juga memiliki efek merugikan pada hilir, bila tidak memperhitungkan *ecological river flows* sebagai *maintenance flow* (Wang dkk., 2015). Sistem pengoperasian waduk yang optimal berperan penting dalam memenuhi kebutuhan air di hilir (Azmeri dkk., 2017).

Waduk Sianjo-Anjo terletak di antara dua kecamatan yaitu, Kecamatan Simpang Kanan dan Gunung Meriah serta berbatasan dengan tiga desa, yaitu Desa Sianjo-Anjo, Lian Golong, dan Sido Mukti. Luas kawasan perairan waduk sekitar 600 ha dengan kedalaman air bervariasi dari 1 m hingga kedalaman 15 m. Tujuan utama dari pembangunan Waduk Sianjo-Anjo adalah untuk dapat memenuhi kebutuhan irigasi teknik untuk mengairi areal sawah dan juga dapat difungsikan sebagai pengendali banjir yang terjadi setiap tahun yaitu pada saat musim hujan (BWS Sumatera 1, 2013).

Balai Wilayah Sungai Sumatera 1 (BWS 1) juga sudah mengeluarkan pola operasi untuk Waduk Sianjo-Anjo setelah masa pembangunannya pada tahun 2010. Namun akibat dari perubahan penggunaan lahan di hulu Waduk Sianjo-Anjo ke areal perkebunan maka dikhawatirkan terjadi potensi penambahan laju sedimentasi ke waduk. Akumulasi sedimen yang bertambah tersebut dikhawatirkan menyebabkan potensi pengurangan kapasitas waduk. Oleh karena itu, diperlukan pembaharuan pola operasi Waduk Sianjo-Anjo yang dapat mengatur kebutuhan air waduk agar lebih optimal.



(Sumber: Balai Wilayah Sungai Sumatera I, 2010)

Gambar 1. Peta DAS dan Daerah Genangan Waduk Sianjo-Anjo

Berdasarkan permasalahan di atas maka penelitian ini bertujuan:

1. Melakukan analisis optimasi sistem pengoperasian waduk.
2. Menganalisis keandalan pola operasi Waduk Sianjo-Anjo.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu manajemen waduk dalam menentukan rencana pengoperasiannya. Memberikan masukan dalam pengaturan air dan pemanfaatan air dari Waduk Sianjo-Anjo.

Metodologi Studi

Lokasi Waduk Sianjo-Anjo terletak di desa Kain Galong dalam wilayah Kecamatan Simpang kanan, Kabupaten Aceh Singkil. Secara geografis waduk Sianjo-Anjo terletak pada koordinat $02^{\circ} 30' 65''$ - $02^{\circ} 30' 69''$ Lintang Utara dan $97^{\circ} 55' 84''$ - $97^{\circ} 55' 87''$ Bujur Timur.

1. Formula matematika pengoperasian waduk

Sebagai langkah awal dalam membangun model pengoperasian waduk, perlu diidentifikasi *inflow* dan *outflow* waduk dalam data *time series* untuk model optimasi. *Inflow* ke waduk terdiri dari limpasan dari DAS Waduk Sianjo-anjo. *Outflow* dari waduk berupa penguapan waduk dan berupa aliran terdiri dari kebutuhan air baku, *ecological river flows*. (Tinoco dkk., 2016).

Pemodelan dari pengoperasian waduk untuk tujuan konservasi didasarkan pada keseimbangan air untuk interval waktu yang dapat digambarkan sebagai berikut:

$$V_t = V_{t-1} + (\text{seluruh masukan})_t - (\text{seluruh pengeluaran})_t \quad (1)$$

$$V_t = V_{t-1} + I_t - O_t - E_t - L_t$$

$$V_t - V_{t-1} = \Delta V = I_t - O_t - E_t - L_t$$

Sebagai alternatif konservasi volume dapat digambarkan sebagai berikut (Fang dkk., 2014):

$$I - E - O - L = \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

Selanjutnya seluruh *inflow* dan *outflow* berupa volume rata-rata selama interval waktu t . Persamaan 2 dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\frac{(I_{t-1} + I_t)}{2} - \frac{(E_{t-1} + E_t)}{2} - \frac{(O_{t-1} + O_t)}{2} - \frac{(L_{t-1} + L_t)}{2} = \frac{(V_t - V_{t-1})}{\Delta t} \quad (3)$$

dengan keterangan:

V_{t-1} : volume air ditampungan pada periode waktu ke $t-1$ (m^3)

V_t : volume air ditampungan pada periode waktu t (m^3)

I_t : debit *inflow* pada periode waktu t (m^3/s)

O_t : debit *outflow* waduk pada periode waktu t (m^3/s)

E_t : evaporasi selama periode waktu t (m^3)

L_t : kehilangan air lainnya pada periode waktu t (m^3)

$\frac{dV}{dt}$: perubahan volume tampungan terhadap fungsi waktu.

2. Optimasi pengoperasian sebuah waduk

Optimalisasi pengelolaan sumber daya air memerlukan evaluasi model kerja tampungan air dengan berbagai perubahannya. Sistem operasi waduk yang optimal merupakan kunci utama dalam pemenuhan kebutuhan air (Azmeri dkk., 2017). Penentuan jadwal pelepasan air sebagai bentuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang optimal. Ketepatan dalam penentuan penyimpanan dan pelepasan air waduk sangat bergantung pada karakteristik *inflow* dan dinamika permintaan yang selalu dapat meningkat dari waktu ke waktu.

Prinsip dasar optimasi pengoperasian waduk untuk berbagai fungsi tujuan dapat dinyatakan sebagai berikut (Montarcih, 2011):

- a. Fungsi tujuan (*objective function*):
 - Memaksimalkan *outflow* air waduk;
 - Memaksimalkan produksi energi (waduk PLTA);

- Memaksimalkan keuntungan yang diperoleh dari produksi air waduk;
 - Meminimumkan produksi sedimen;
 - Meminimumkan selisih/deviasi antara outflow dan kebutuhan air.
- b. Variabel keputusan (*decision variable*):
- *Outflow* air;
 - *Storage*/tampungan air waduk;
 - Tinggi muka air waduk;
 - Luas genangan air waduk.
- c. Fungsi kendala (*constraint function*):
- Kapasitas sungai dan aliran untuk ekosistem sungai;
 - Tingkat maksimum dan minimum pengoperasian waduk (URC) dan (LRC);
 - Ketinggian muka air waduk di akhir periode pengoperasian;
 - Kebutuhan air di hilir waduk.

Keandalan waduk merupakan penilaian tingkat kinerja waduk yang dapat memenuhi kebutuhan di hilirnya (Wurb, 1996). Besar kecilnya tingkat keandalan (*persentase*) bergantung pada kemungkinan tercakupnya penyediaan air untuk berbagai kebutuhan. Variabel tingkat keandalan waduk dipengaruhi oleh fluktuasi periode, volume, dan risiko kegagalan. Keandalan pengoperasian waduk dianalisis menggunakan formula berikut:

$$Rp = (n/N) \times 100\% \quad (4)$$

$$Rv = (v/V) \times 100\% \quad (5)$$

$$Fp = (f/N) \times 100\% \quad (6)$$

$$Fp = 100\% - Rp \quad (7)$$

Rp : periode keandalan; Rv : volume keandalan; n : jumlah periode waktu; N : jumlah total periode waktu; v : volume air yang disediakan; V : volume air yang diharapkan tersedia; Fp : periode risiko kegagalan, f : jumlah periode waktu yang tidak dapat dipenuhi.

Periode keandalan ini menggambarkan pemakaian air yang dapat terpenuhi dari probabilitas persyaratan dipenuhi dalam setiap periode. Sedangkan risiko kegagalan menggambarkan probabilitas bahwa persyaratan penggunaan air akan tidak sepenuhnya terpenuhi.

3. Pemodelan optimasi pengoperasian Waduk Sianjo-anjo dan syarat batas

Tahapan analisis dan syarat batas pemodelan pengoperasian Waduk Sianjo-anjo dilakukan sebagai berikut:

1. Debit Aliran

Data ketersediaan air Sungai Sianjo-anjo periode tahun 2006-2016, untuk menentukan besarnya debit andalan di sungai. Data ini didapat dari BSW 1. Selanjutnya debit andalan bulanan dilakukan menurut variasi musim berdasarkan probabilitas *inflow* yang masuk ke waduk, yaitu tiga kondisi musim mulai pada kondisi tahun basah (20%), tahun normal (50%) dan tahun kering (80%).

2. Kebutuhan Air Baku dan *Ecological River flows*
 - a. Daerah layanan yang masuk ke dalam zona layanan air baku dari Waduk Sianjo-anjo untuk wilayah layanan Singkil, Singkil Utara, dan Gunung Meriah. Data Proyeksi Kebutuhan Air Bersih Wilayah Daerah Layanan Rencana (Singkil, Singkil Utara & Gunung Meriah) Tahun 2018-2035 didapat dari BSW 1.
 - b. Untuk tetap menjaga terpeliharanya kehidupan biota di alur-alur sungai diperlukan debit minimum sungai yang harus tersedia setiap saat sebagai *ecological river flows*. Besarnya debit minimum yang akan digunakan dalam perhitungan pengoperasian Waduk Sianjo-anjo sebesar 5% dari debit andalan yang tersedia dari Sungai Sianjo-anjo.
3. Parameter Optimasi Pengoperasian Waduk Sianjo-anjo
 Analisis optimasi pengoperasian Waduk Sianjo-anjo melalui konservasi volume rencana waduk (*storage*). Konservasi volume waduk menggunakan prinsip keseimbangan air antara komponen *inflow*, *outflow*, serta kehilangan air akibat evaporasi. Volume yang akan dikeluarkan harus sesuai dengan kapasitas tampungan yang tersedia dari data perencanaan waduk dan berada diantara nilai batas volume maksimum dan volume minimum Waduk Sianjo-anjo.

Metode optimasi yang digunakan pada studi ini adalah program *non linear* dengan menggunakan hukum keseimbangan air (*water balance*). Sebuah model optimasi pengoperasian dikembangkan untuk memperkirakan *outflow* air untuk pemenuhan kebutuhan air di hilir waduk (Wang dkk., 2015). Prinsip dasar fungsi tujuan dan fungsi kendala pada sistem pengoperasian Waduk Sianjo-anjo difokuskan untuk meminimalkan deviasi (*outflow* waduk – kebutuhan air baku) dengan mengevaluasi fungsi kendala volume tampungan waduk, *outflow* waduk, dan tinggi muka air. Penentuan tahapan untuk program optimasi pengoperasian Waduk Sianjo-anjo dirumuskan sebagai berikut:

- a. Fungsi Tujuan (*objective function*)
 Sasaran optimasi adalah minimalkan deviasi (*outflow* – kebutuhan) dari Waduk Sianjo-anjo untuk meningkatkan keandalan air baku.
- b. Variabel Kendala (*constraint*)
 Set kendala yang diperlukan untuk mendefinisikan fungsi tujuan dijelaskan di bawah ini. Fungsi kendala (*constraint*) berlaku untuk tampungan waduk (*storage*). Pada setiap tahapan pengoperasian, volume tampungan waduk dibatasi oleh volume maksimum dan volume minimum operasi.

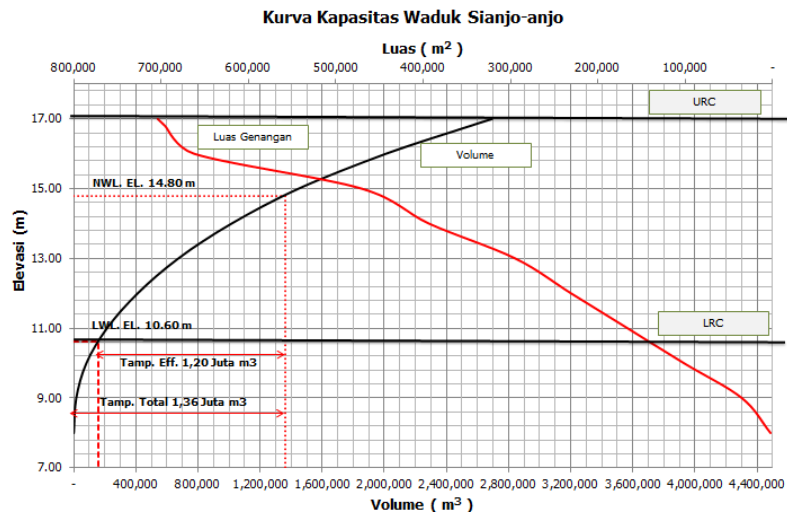
$$V_{\min} \leq V_t \leq V_{\max} \rightarrow V_t = V_1 s/d V_{12} \quad (8)$$

Berdasarkan analisis hidrologi, Waduk Sianjo-anjo memiliki data teknik yang digunakan untuk mengetahui volume tampungan dan elevasi muka air waduk sebagai berikut (Balai Wilayah Sungai Sumatera I, 2010):

- Kapasitas tampungan mati	: 3.805 m ³
- Kapasitas tampungan efektif	: 1.290.000 m ³
- Kapasitas tampungan normal	: 1.360.292 m ³
- Kapasitas tampungan banjir	: 1.758.534 m ³
- Tinggi muka air minimum	: 10,60 m

- Tinggi muka air normal : 14,50 m
- Tinggi muka air banjir : 17 m
- Luas genangan normal : 1,02 km²
- Tinggi bendungan dari dasar sungai : 9,80 m

Lengkung Kapasitas Waduk Sianjo-anjo diberikan pada Gambar 2 berikut.



(Sumber: BWS Sumatera I, 2019)

Gambar 2. Lengkung Kapasitas Waduk Sianjo-anjo

Selain itu terdapat kendala pada *outflow* yang dilepas dari waduk. *Outflow* waduk (O) harus mencukupi untuk kebutuhan *maintenance flow* dan kebutuhan air baku.

$$O_1 \text{ s/d } O_{12} \geq \text{maintenance flow} \quad (9)$$

$$O_1 \text{ s/d } O_{12} \geq \text{Kebutuhan air bulan 1 s/d 12} \quad (10)$$

Ketinggian muka air waduk pada bulan ke-13 atau pada awal bulan untuk pengoperasian tahun berikutnya, harus lebih besar atau sama dengan ketinggian muka air pada awal tahun pengoperasian.

$$TMA_{\text{bulan ke 13}} \geq TMA_{t=1} \quad (11)$$

c. Variabel Keputusan (*decision variable*)

Besarnya *outflow* air waduk yang dibatasi kondisi kendala adalah sebagai variabel keputusan dalam pengoperasian waduk untuk kebutuhan bulanan pada periode pengoperasian untuk ketiga variasi musim.

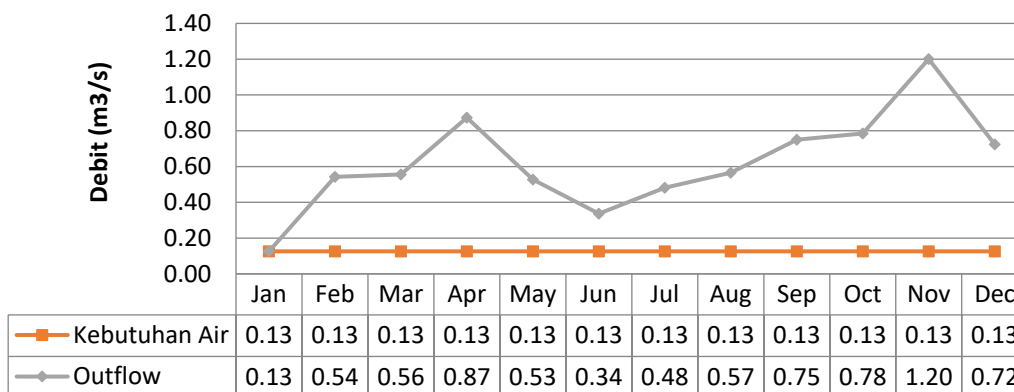
Hasil dan Pembahasan

1. Pengoperasian waduk tahun basah

Berdasarkan pengoperasian waduk pada tahun basah dari tahun 2015 sampai tahun 2035 dapat dilihat bahwa volume *outflow* bulanan dan volume kebutuhan air di hilir

waduk mengalami fluktuasi. Ini merupakan konsekuensi dari penyesuaian *outflow* waduk dengan volume kebutuhan air daerah layanan di hilir waduk. Rekap pengoperasian waduk tahunan pada tahun basah diberikan pada Gambar 3.

Optimasi Pengoperasian Waduk

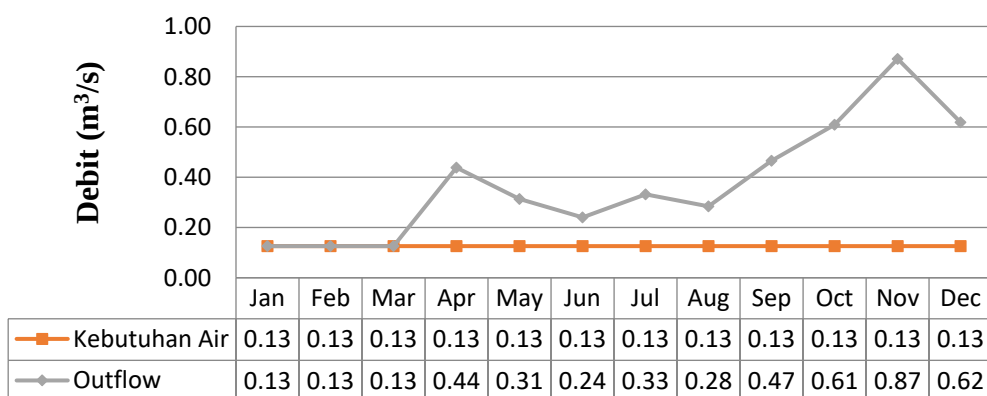


Gambar 3. Rekap pengoperasian waduk tahunan pada tahun basah

2. Pengoperasian waduk tahun normal

Pada tahun normal debit *inflow* menurun dibandingkan saat tahun basah. Sementara dalam pelayanannya terhadap kebutuhan air baku adalah tetap seperti pada tahun basah. Hal ini akan berpengaruh terhadap besarnya *outflow* air yang dikeluarkan oleh waduk untuk memenuhi kebutuhan air baku di hilir Waduk Sianjo-anjo. Rekap pengoperasian waduk tahunan pada tahun normal diberikan pada Gambar 4.

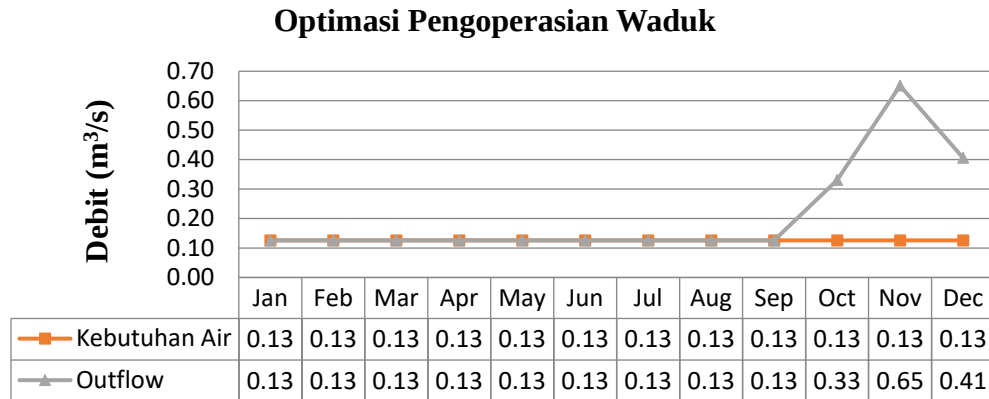
Optimasi Pengoperasian Waduk



Gambar 4. Rekap Pengoperasian Waduk Tahunan pada Tahun Normal

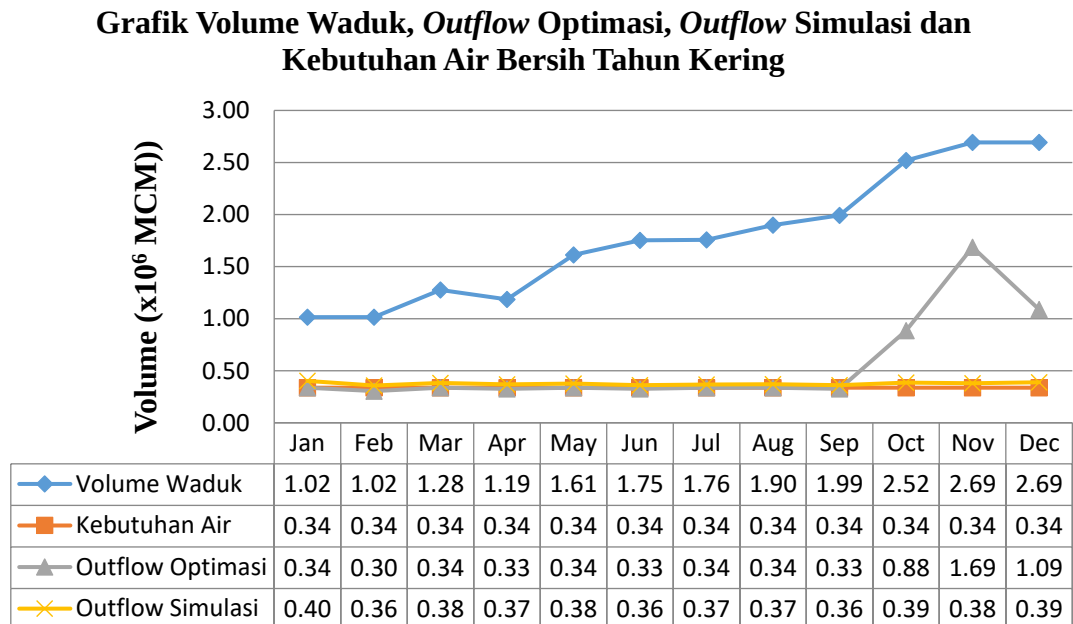
3. Pengoperasian waduk tahun kering

Pengoperasian waduk pada tahun kering adalah kondisi *inflow* yang paling minimum, sementara dalam pelayanannya terhadap kebutuhan air baku adalah tetap seperti pada tahun normal dan tahun basah. Rekap pengoperasian waduk tahunan pada tahun normal diberikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rekap Pengoperasian Waduk Tahunan pada Tahun Kering

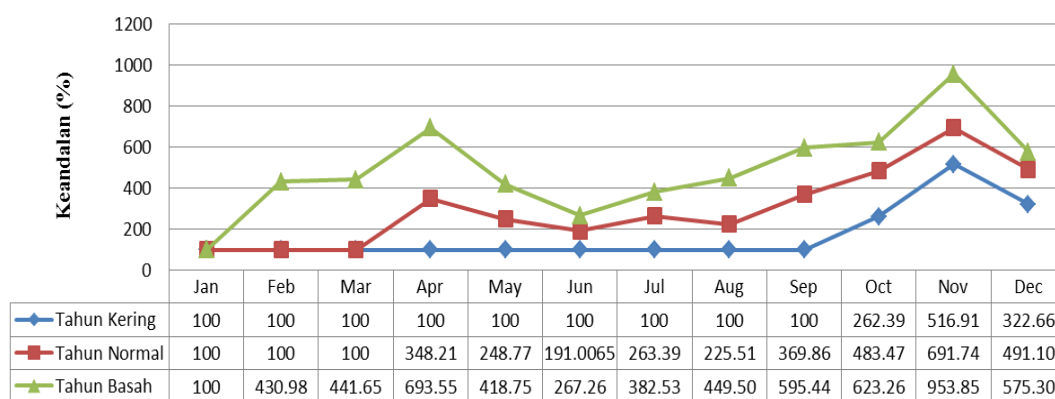
Perbandingan grafik volume waduk, *outflow* hasil optimasi, *outflow* hasil simulasi, dan kebutuhan air Waduk Sianjo-anjo pada kondisi tahun kering diberikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik volume waduk, *outflow* optimasi, *outflow* simulasi, dan kebutuhan air bersih tahun kering

Keandalan Waduk

Waduk yang mampu menjamin kebutuhan air yang diperlukan adalah waduk yang dapat dikatakan andal. Pada penelitian ini dalam perhitungan keandalan waduk didapatkan dari pengoperasiannya mampu melayani kebutuhan air yang diperlukan baik saat tahun kering, normal dan basah. Besarnya keandalan waduk yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 8,



Gambar 8. Keandalan Waduk Sianjo-Anjo

Pada tahun kering didapatkan keandalan waduk yang besar melebihi 100% pada tiga bulan terakhir pengoperasian. Hal ini dikarenakan sudah memasuki musim penghujan sehingga ketersediaan air sungai besar. Pada tahun normal didapatkan pada beberapa bulan keandalan waduk lebih besar dari 100%. Pada tahun basah didapatkan keandalan waduk yang jauh melebihi 100% lebih. Pada kondisi ini, pengelola waduk harus mampu menjaga keberadaan air agar tidak menjadi bencana banjir dengan melakukan buka tutup pintu outlet waduk yang sesuai dengan pembaharuan pola operasi waduk yang telah disusun.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil optimasi pengoperasian Waduk Sianjo-anjo dengan menggunakan *Tool Solver* pada *Microsoft Excel* didapatkan rata-rata *outflow* saat tahun kering sebesar 552.534,16 m³, saat tahun normal didapatkan rata-rata *outflow* sebesar 998.071,34 m³, dan saat tahun basah didapatkan rata-rata *outflow* sebesar 1.632.488,80 m³. Dari *outflow* tersebut sistem pengoperasian Waduk Sianjo-anjo dapat memenuhi kebutuhan air pada tahun kering, normal, dan basah. Keandalan pengoperasian Waduk Sianjo-anjo pada saat tahun kering, tahun normal, dan tahun basah terpenuhi sama dan lebih besar dari 100%.

Saran

Berdasarkan penelitian ini, saran yang dapat diberikan adalah kelebihan air pada Waduk Sianjo-anjo masih dapat digunakan dan dimanfaatkan untuk keperluan memenuhi kebutuhan air lainnya di hilir waduk.

Ucapan Terima Kasih

Selama melakukan penyusunan hingga penyelesaian penelitian ini, penulis banyak memperoleh bantuan secara moril, spiritual, dan materil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu studi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

Daftar Referensi

- Anggraheni, D., Jayadi, R., Istiarto, I., 2017. Evaluasi Kinerja Pola Operasi Waduk Wonogiri Tahun 2014. *Jurnal Teknisia*, Volume XXII, No. 1. ISSN 0853-8557.
- Azmeri, 2017. Completion of Potential Conflicts of Interest through Optimization of Rukoh Reservoir Operation in Pidie District, Aceh Province, *Indonesia. Proceeding International AIP Conference International I CONBUILD 3*. <https://doi.org/10.1063/1.5011611>
- Balai Wilayah Sungai Sumatera I, 2010. Laporan *Hidrologi Detail Engineering Design* Waduk Sianjo-anjo. Waduk Sianjo-anjo (Tahap III) Kabupaten Pidie. Banda Aceh.
- Balai Wilayah Sungai Sumatera I, 2019. *Data Teknis Waduk Sianjo-Anjo*, Banda Aceh.
- Bohmelt, T., Bernauer, T., Buhaug, H., Gleditsch, N. P., Tribaldos, T., Wischnath, G. 2014. Demand, supply, and restraint: Determinants of domestic water conflict and cooperation. *Global Environmental Change* 29, 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.018>
- Fang, H., Song HU, T., Zeng, X., Yan WU, F., 2014. Simulation-optimization model of reservoir operation based on target storage curves. *Water Science and Engineering*, 7(4): 433-445.
- Harjanti, W, N., Darsona, S., 2020. Optimasi Lepasn Waduk Logung dengan Algoritma Genetik. *Jurnal Teknik Sipil* Vol 6, No. 12, April 2020, pp 38-48. <https://doi.org/10.31849/siklus.v6i1.3693>
- Lee, C. S., 2012. Multi-objective game-theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. *Chemosphere* 87, 608–613. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.01.014>
- Montarcih, L., 2011, Manajemen Sumber Daya Air, Lubuk Agung, Bandung.

- Samosir, C. S., Soetopo, W., Yuliani, E., 2015. Optimasi Pola Operasi Waduk Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (Studi Kasus Waduk Wonogiri). *Jurnal Teknik Pengairan*, Volume 6, Nomor 1, Mei 2015, hlm.108-115.
- Tinoco, V., Willems, P., Wyseure, G., and Cisneros, F., 2016, Evaluation of reservoir operation strategies for irrigation in the Macul Basin, Ecuador, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 5, 213–225 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.12.063>
- Wang, H., Brill, E. D., Ranjithan, R. S., A. Sankarasubramanian., 2015. *A framework for incorporating ecological releases in single reservoir operation. Advances in Water Resources* 78, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.01.006>
- Wurb, A. R. 1996. *Modelling and Analysis of Reservoir System Operations* Prentice Hall PTR. Upper Saddle River NJ 07458. USA.