

Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Sistem Semi Kaskade Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan Menggunakan Program Linear

Nia Agustina^{1*}, Rizki Robbi Rahman² dan Dwi Indriyani³

^{1,2,3} Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

E-mail: ¹niagustina0801@gmail.com, ²rizki_robbi@its.ac.id, ³d.indriyani@ce.its.ac.id

Abstract

Pacal Reservoir and Gongseng Reservoir are reservoirs located in Temayang District, Bojonegoro Regency, East Java. These two reservoirs irrigate the Pacal Irrigation Area with an area of 7.049 Ha with other functions of the Gongseng Reservoir as a raw water provider, potentially as a power plant, and able to reduce flooding. This study aims to determine the optimization of water utilization of Pacal Reservoir and Gongseng Reservoir to meet the needs of irrigation water and raw water in the next 10 years. Optimization is carried out using a linear program with Microsoft Excel Solver Add-ins to get the optimal reservoir water utilization to meet the needs by maximizing the profit of agricultural products in irrigation. From the results of the analysis of reservoir water utilization that has been carried out for the next 10 years, it is found that the amount of irrigation water needed for the existing cropping pattern is 2,89 m³/det, for alternative cropping pattern 2 is 3,94 m³/det, and for alternative 3 is 2,51 m³/det. The raw water demand for Temayang, Sukosewu, Sugihwaras, and Kedungadem sub-districts is 0,48 m³/det. The amount of discharge to rotate the turbine is 1,22 m³/det with the amount of energy generated is 59,91 MWh. With the availability of discharge in both reservoirs, both reservoirs are able to meet the needs of irrigation, raw water, and MHP for the next 10 years with the most optimum cropping pattern based on maximum profit is in alternative 2 (Paddy-Paddy-Palawija) with a total profit of Rp 601.683.497.035. In addition, the Gongseng Reservoir is able to reduce flooding by 60,87% at Q₂₅; 60,58% at Q₅₀; 60,41% at Q₁₀₀; 58,64% at Q₁₀₀₀ and 45,94% at Q_{PMF}.

Keywords: Optimization, Utilization of, Linear Programs, Semi-Cascade System, Reservoirs

Abstrak

Waduk Pacal dan Waduk Gongseng merupakan waduk yang terletak di Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro Jawa Timur. Kedua waduk ini mengairi Daerah Irigasi Pacal dengan luas 7.049 Ha dengan fungsi lain Waduk Gongseng sebagai penyedia air baku, berpotensi sebagai pembangkit listrik, dan mampu mereduksi banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimasi pemanfaatan air Waduk Pacal dan Waduk Gongseng untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan air baku dalam jangka waktu 10 tahun kedepan. Optimasi dilakukan menggunakan program linear dengan alat bantu Add-ins Solver Microsoft Excel untuk mendapatkan pemanfaatan air waduk optimal untuk memenuhi kebutuhan dengan memaksimalkan keuntungan hasil pertanian pada irigasi. Dari hasil analisis pemanfaatan air waduk yang telah dilakukan untuk 10 tahun kedepan, didapatkan besar kebutuhan air irigasi untuk pola tanam eksisting sebesar 2,89 m³/det, untuk pola tanam alternatif 2 sebesar 3,94 m³/det, dan untuk alternatif 3 sebesar 2,51 m³/det. Kebutuhan air baku untuk Kecamatan Temayang, Sukosewu, Sugihwaras, dan Kedungadem sebesar 0,48 m³/det. Besar debit untuk memutar turbin adalah sebesar 1,22 m³/det dengan besar energi yang dihasilkan adalah 59,91 MWh. Dengan adanya ketersediaan debit pada kedua waduk, kedua waduk mampu memenuhi kebutuhan irigasi, air baku, dan PLTMH untuk 10 tahun kedepan dengan pola tanam yang paling optimum berdasarkan keuntungan maksimum adalah pada alternatif 2 (Padi-Padi-Palawija) dengan total hasil keuntungan Rp

*Corresponding Author's email: niagustina0801@gmail.com

601.683.497.035. Selain itu, Waduk Gongseng mampu mereduksi banjir sebesar 60,87% pada Q25; 60,58% pada Q50; 60,41% pada Q100; 58,64% pada Q1000 dan 45,94% pada QPMF.

Kata kunci: Optimasi, Pemanfaatan, Program Linear, Waduk Sistem Semi Kaskade

1. PENDAHULUAN

Waduk Pacal dan Gongseng di Kecamatan Temayang, Bojonegoro, Jawa Timur, merupakan bagian dari sistem pengelolaan air yang saling melengkapi. Waduk Pacal, yang awalnya dibangun untuk mengairi lahan pertanian seluas 7.049 hektar, kini menghadapi masalah pendangkalan yang signifikan. Akibatnya, kapasitas tampung airnya menyusut drastis. Untuk mengatasi masalah ini, Waduk Gongseng dibangun dengan tujuan utama sebagai sumber air baku dan tambahan untuk irigasi. Selain itu, waduk ini juga memiliki potensi untuk menghasilkan listrik dan mengurangi risiko banjir. Kedua waduk ini bekerja secara beriringan, terutama saat musim hujan, di mana air dari Waduk Pacal dialirkan ke Waduk Gongseng melalui spillway. Jumlah air yang dialirkan akan disesuaikan dengan kondisi curah hujan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dengan judul “Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Sistem Semi Kaskade Waduk Pacal dan Waduk Gongseng Dengan Menggunakan Program Linear”. Untuk memastikan kedua waduk dapat berfungsi secara optimal dan berkelanjutan, perlu dilakukan pengelolaan yang efektif. Penelitian ini akan menganalisis bagaimana cara memaksimalkan pemanfaatan air dari sistem waduk semi-kaskade Pacal dan Gongseng. Dengan menggunakan metode program linear, penelitian ini bertujuan untuk menentukan pola tanam yang paling menguntungkan secara finansial, sambil tetap memenuhi kebutuhan air baku dan potensi pengembangan PLTMH.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan kunci terkait pengelolaan Waduk Pacal dan Waduk Gongseng. Pertama, penelitian ini akan mengkaji berapa besar debit yang mungkin tersedia di kedua waduk tersebut untuk sepuluh tahun mendatang. Kedua, akan dianalisis berapa besar kebutuhan air untuk irigasi, air baku, serta potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLMTH). Selanjutnya, penelitian ini juga akan melakukan simulasi pola pengoperasian Waduk Pacal dan Waduk Gongseng berdasarkan keuntungan maksimal dalam rupiah dari berbagai alternatif pola tanam yang disediakan. Terakhir, simulasi akan dilakukan untuk menilai peran Waduk Gongseng sebagai pengendali banjir.

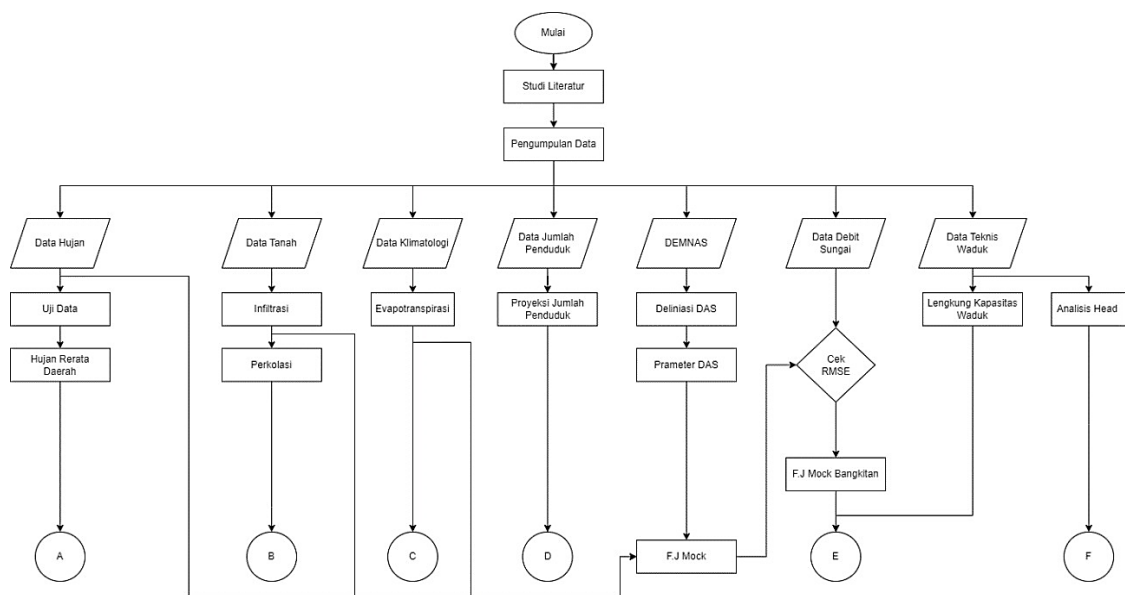
Penelitian ini disusun dengan tujuan untuk memberikan wawasan yang mendalam dan komprehensif terkait pengelolaan sumber daya air di Waduk Pacal dan Waduk Gongseng. Pertama, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar debit yang mungkin tersedia di Waduk Pacal selama sepuluh tahun mendatang. Dengan melakukan proyeksi dan analisis mendalam terhadap debit air, termasuk

perhitungan hidrologis dan evaluasi variabilitas iklim, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang akurat mengenai ketersediaan air di waduk tersebut. Kedua, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui besar kebutuhan air di berbagai sektor, seperti irigasi pertanian, penyediaan air baku untuk keperluan domestik dan industri, serta potensi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLMTH). Analisis ini mencakup identifikasi dan pengukuran kebutuhan air saat ini serta peneltiansi kebutuhan di masa depan. Selain itu, kajian teknis dan ekonomis akan dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan pengembangan PLMTH di daerah tersebut.

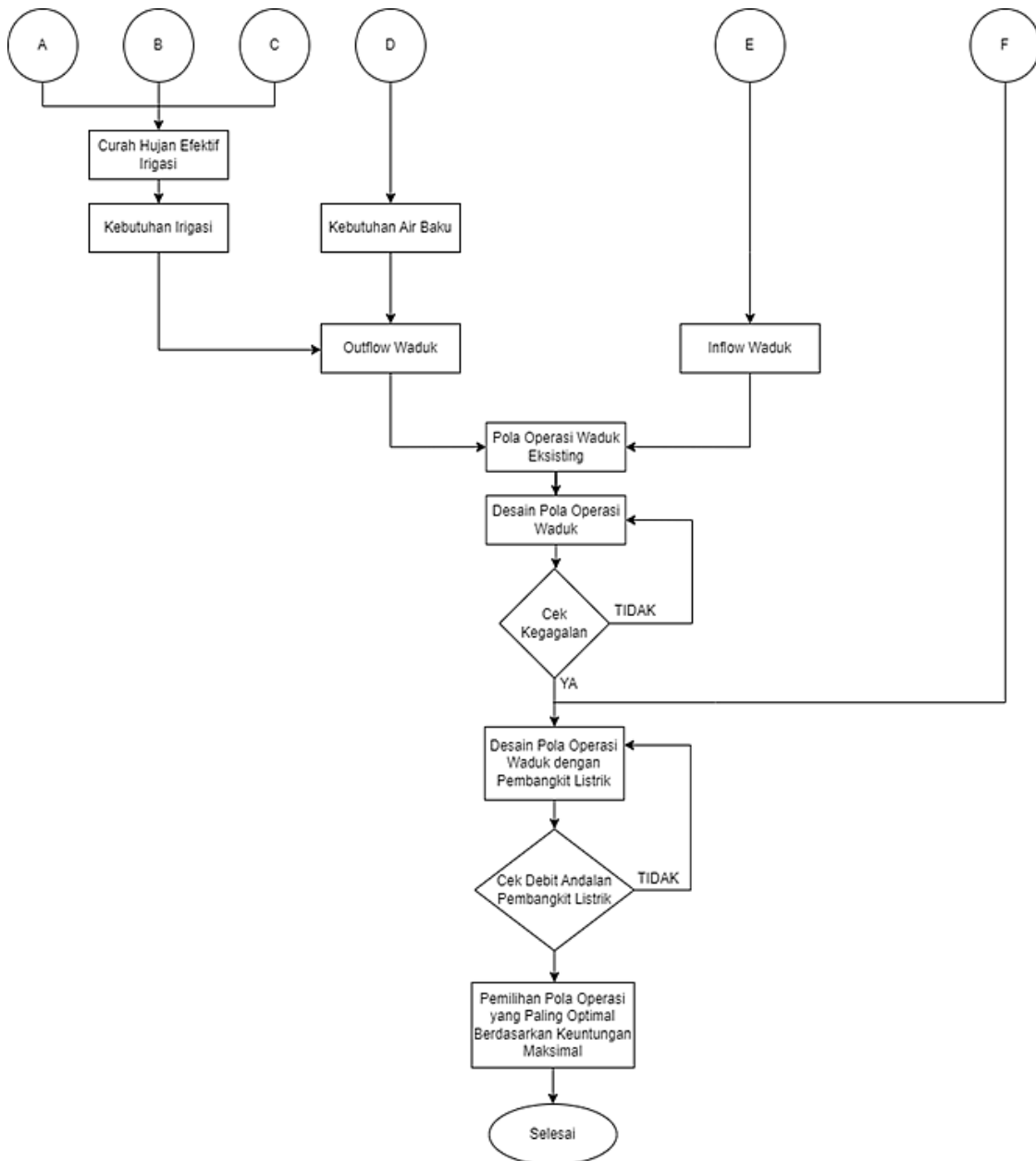
Ketiga, penelitian ini akan melakukan simulasi pola pengoperasian Waduk Pacal dan Waduk Gongseng berdasarkan keuntungan maksimal dari berbagai alternatif pola tanam yang tersedia. Dengan membuat model simulasi operasi waduk yang mempertimbangkan berbagai skenario pola tanam, diharapkan dapat dihasilkan strategi pengelolaan air yang optimal. Simulasi ini akan mempertimbangkan faktor- faktor seperti variasi musim tanam, jenis tanaman, dan strategi pengelolaan air yang dapat memaksimalkan keuntungan ekonomi. Terakhir, peneltian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas dan efektivitas Waduk Gongseng dalam fungsi pengendalian banjir. Simulasi akan dilakukan untuk memprediksi respons waduk terhadap berbagai skenario curah hujan ekstrem dan aliran masuk yang tinggi. Hasil simulasi ini akan digunakan untuk merancang strategi pengelolaan air yang optimal guna meminimalkan risiko banjir di daerah hilir.

2. METODE PENELITIAN

Bagan alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rancangan Penelitian



Gambar 2.1 Rancangan Penelitian (Lanjutan)

2.1 Subjek Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada Waduk Pacal dan Waduk Gongseng Wilayah Sungai Bengawan Solo. Waduk Pacal terletak di Sungai Pacal, Desa Kedungsumber, Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur sedangkan Waduk Gongseng terletak pada Sungai Soko, Desa Kedungsari Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur.

2.2 Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dimaksudkan untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk diolah sehingga dapat mengerjakan studi ini. Data yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah data sekunder yang berisi informasi yang telah ada sebelumnya dan telah dikumpulkan oleh peneliti lainnya.

2.3 Teknik Analisis Data

Dari data-data yang telah dikumpulkan dilakukan analisis terhadap analisis perhitungan hidrologi, perhitungan debit inflow sungai menggunakan metode F.J. Mock, Analisis klimatologi meliputi perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Penman, Analisis kebutuhan air, analisis simulasi penggunaan air waduk setelah diketahui debit ketersediaan (inflow) dan debit kebutuhan air (outflow).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Hidrologi

Dalam melakukan analisis hidrologi, pembuatan peta Daerah Aliran Sungai merupakan hal yang terpenting. Dari peta Daerah Aliran Sungai, didapatkan parameter-parameter untuk menghitung analisis hidrologi. Pembuatan peta Daerah Aliran Sungai Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dilakukan dengan menggunakan software Arc-GIS. Berikut hasil pembuatan peta DAS Pacal dan DAS Gongseng

Dari hasil pembuatan peta catchment area Waduk Pacal dan Waduk Gongseng, didapatkan beberapa informasi sebagai berikut:

- Luas *catchment area* Waduk Pacal : 90,69 km²
- Panjang sungai utama Waduk Pacal : 21,34 km²
- Luas *catchment area* Waduk Gongseng : 51,20 km²
- Panjang sungai utama Waduk Gongseng : 19,18 km²

Koefisien *Polygon Thiessen* dicari dengan menentukan stasiun hujan yang akan dipakai terlebih dahulu. Stasiun hujan yang dipakai adalah stasiun hujan yang berada dalam kawasan catchment area atau yang berada di dekat daerah tersebut. Berikut merupakan hasil plot stasiun hujan pada *catchment area* Waduk Pacal dan Waduk Gongseng.

Dari hasil plot beberapa stasiun hujan di dekat Waduk Pacal dan Waduk Gongseng, didapatkan empat stasiun hujan yang dianggap berpengaruh pada Waduk Pacal dan tiga stasiun hujan yang dianggap berpengaruh pada Waduk Gongseng. Setelah didapatkan stasiun mana saja yang berpengaruh, maka menentukan bobot luas pengaruh wilayah dari stasiun tersebut menggunakan *software Arc-GIS*.

Dalam melakukan pengolahan data hujan, jumlah data atau panjang data hujan yang baik adalah lebih dari 10 tahun (Direktorat Jendral Pengairan, 1999). Dalam analisis hidrologi ini, data hujan yang digunakan adalah data hujan harian

dari stasiun hujan yang berpengaruh selama 20 tahun mulai dari tahun 2004 – 2023

Perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan metode *Polygon Thiessen*. Data hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah data hujan harian masing-masing stasiun hujan yang sudah dikoreksi lengkung massa ganda sebelumnya. DTA Waduk Pacal dipengaruhi oleh 4 stasiun hujan, oleh karena itu dalam perhitungan hujan daerah dibagi luasan DTA yang dipengaruhi oleh masing-masing stasiun hujan yang kemudian dibagi dengan total luasan DTA agar didapatkan bobot daerah tiap stasiun hujan.

Uji *outlier* dilakukan untuk mengetahui apakah data hujan menyimpang cukup jauh dari trend kelompoknya. Pada uji *outlier* digunakan untuk menghting nilai batas atas dan batas bawah curah hujan.

3.2 Analisis Klimatologi

Data yang digunakan dalam analisis klimatologi adalah data klimatologi harian yang kemudian dicari rata-rata bulanannya. Dalam analisis ini, data klimatologi yang digunakan penulis merupakan pencatatan pada Stasiun Geofisika Nganjuk mulai tahun 2014 hingga 2023. Stasiun Geofisika Nganjuk adalah stasiun klimatologi terdekat dari Waduk Pacal dan Waduk Gongseng yang mana pada Stasiun Klimatologi Bojonegoro sendiri tidak terdapat pencatatan beberapa parameter klimatologi tahun 2014 – 2023 secara lengkap. Hasil dari analisis ini adalah nilai evapotranspirasi potensial setiap bulannya, dimana dalam analisis evapotranspirasi menggunakan metode Penman modifikasi. Perhitungan evaporasi dilakukan untuk mengetahui besarnya penguapan yang terjadi pada waduk sehingga dapat diketahui besar air yang tersedia untuk dimanfaatkan.

3.3 Pengujian Data Kebangkitan

Uji T dilakukan untuk membandingkan data asli dengan data hasil bangkitan. Dua data tersebut dibandingkan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara data bangkitan dengan data asli.

Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan korelasi data asli dengan data hasil bangkitan. Perhitungan Uji Korelasi menggunakan fungsi pada *Microsoft Excel (CORREL())*, pada perhitungan bangkitan data curah hujan didapatkan nilai korelasi = 0,72 yang artinya kedua data tersebut memiliki korelasi yang kuat.

3.4 Analisis Ketersediaan Debit

Metode F.J Mock merupakan perhitungan debit aliran rendah atau debit minimum yang selalu ada. Perhitungan debit aliran rendah dilakukan sebanyak 10 tahun yaitu dari tahun 2014 hingga tahun 2023.

Pada perhitungan debit F.J Mock didapatkan nilai RMSE 0,69 dimana hasil tersebut menyatakan interpretasi baik yang menandakan bahwa nilai debit *inflow* pada perhitungan F.J Mock mendekati nilai debit sebenarnya (hasil pencatatan) sehingga rumus pada perhitungan F.J Mock bisa digunakan untuk prediksi debit *inflow* 10 tahun kedepan.

3.5 Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Penelitian ini hanya berfokus pada Daerah Irigasi Pacal Kiri sehingga analisis curah hujan dilakukan pada kawasan Daerah Irigasi Pacal Kiri saja yang memiliki luas 1965 Ha. Data hujan yang akan dianalisis adalah data hujan dari stasiun atau pos hujan yang berpengaruh secara *Polygon Thiessen* terhadap hujan di Daerah Irigasi Pacal Kiri. Adapun pos hujan yang berpengaruh terhadap hujan pada kawasan tersebut yaitu Stasiun Hujan Sukorejo, Stasiun Hujan Jatiblimbing, Stasiun Hujan Kapas, dan Stasiun Hujan Klepek.

Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data harian selama 10 tahun terakhir (2014-2023). Data ini kemudian dikelompokkan menjadi data 10 hari sekali. Selanjutnya, data ini dihitung menggunakan metode khusus (*Polygon Thiessen*) untuk mendapatkan rata-rata curah hujan di setiap wilayah. Setiap stasiun hujan memiliki pengaruh yang berbeda dalam perhitungan ini, tergantung pada luas wilayah yang diwakilinya.

3.6 Analisis Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air baku direncanakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di Kecamatan Temayang, Kecamatan Sukosewu, Kecamatan Sugihwaras, dan Kecamatan Kedungadem. Dalam perhitungan kebutuhan air baku diperlukan perhitungan peneltiansi penduduk pada tiap kecamatan untuk mengetahui jumlah penduduk dalam 10 tahun kedepan yaitu tahun 2024 hingga tahun 2033. Dalam perhitungan peneltiansi jumlah penduduk, digunakan data sebanyak 10 tahun pada tahun 2014 hingga tahun 2023 pada masing-masing kecamatan. Selanjutnya dilakukan perhitungan proyeksi penduduk dengan menggunakan tiga (3) metode, yaitu metode aritmatika, metode geometrik, dan metode least square. Metode yang dipilih untuk peneltiansi penduduk adalah metode dengan nilai koefisien korelasi(r) mendekati nilai satu (1) yang berarti nilai data memiliki hubungan korelasi yang kuat.

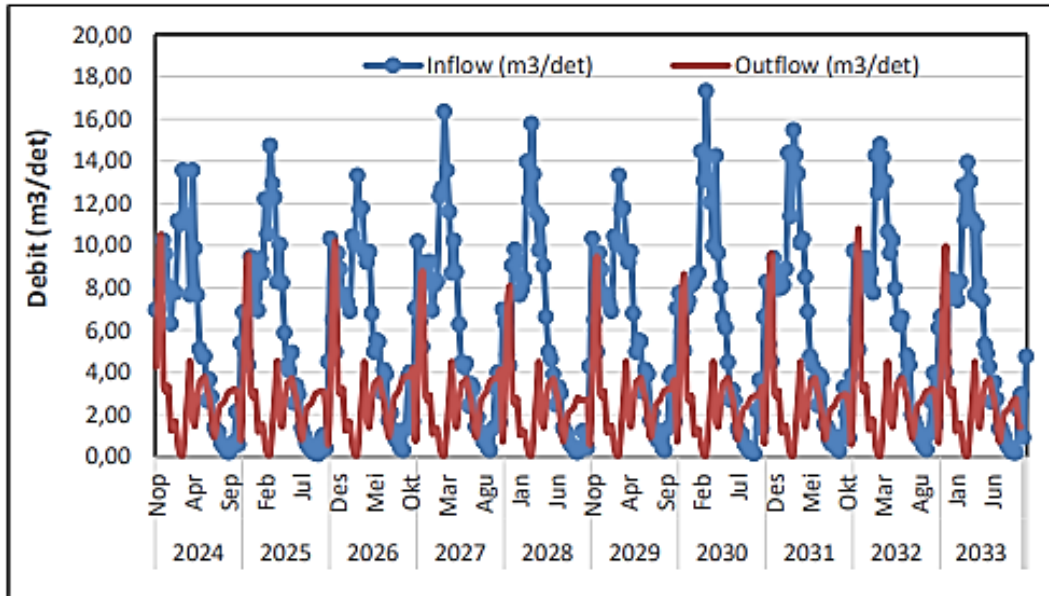
3.7 Analisis Optimasi dengan Program Linear

Optimasi dilakukan untuk mengetahui volume maksimal outflow yang dapat dikeluarkan oleh waduk dengan memaksimalkan keuntungan pertanian yang dihasilkan dan memenuhi kebutuhan air baku dengan tetap menjaga kondisi air pada tampungan waduk yang tersimpan tidak boleh habis. Pada Penelitian ini, optimasi dilakukan dengan metode persamaan linear menggunakan Add-ins

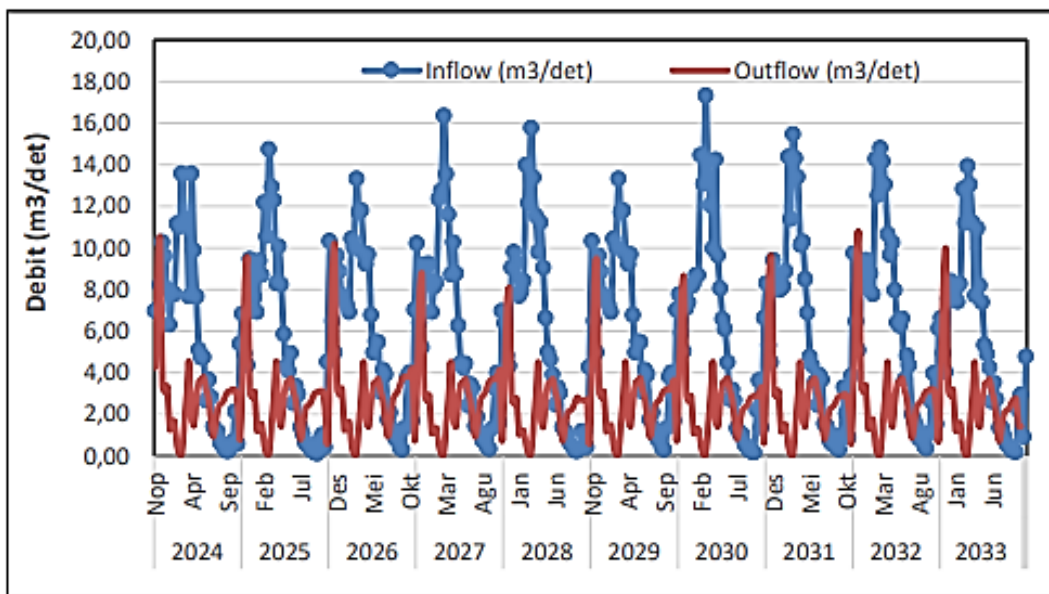
Solver Microsoft Excel. Optimasi waduk dilakukan untuk 10 tahun kedepan dengan menggunakan 3 alternatif yang disediakan. Running optimasi dilakukan dengan menggunakan constrain dan variable yang sama di tiap tahunnya.

3.8 Simulasi Pemanfaatan Air Waduk Pacal

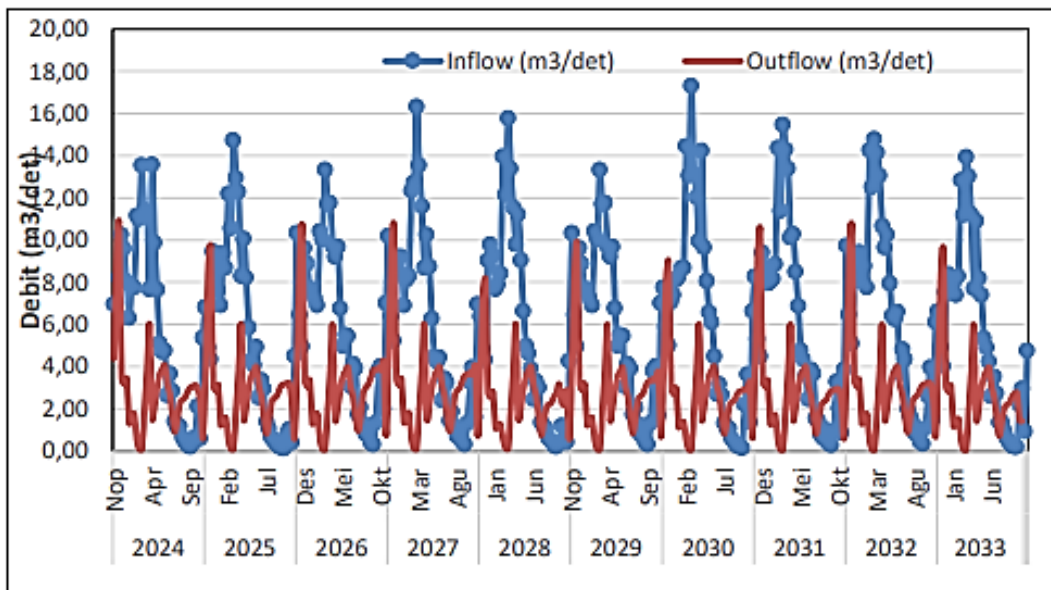
Analisis simulasi pemanfaatan air Waduk Pacal dan Waduk Gongseng ini memperhitungkan jumlah air yang masuk ke suatu sistem tampungan dikurangi dengan jumlah air yang keluar dari suatu sistem tersebut atau disebut inflow dikurangi outflow, dengan syarat kondisi air pada tampungan waduk yang tersimpan tidak boleh habis. Simulasi pemanfaatan waduk ini dilakukan untuk 10 tahun yang akan datang, yaitu dari tahun 2024 hingga tahun 2033. Simulasi pada waduk dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keberhasilan waduk berdasarkan ketersediaan air dan jumlah kebutuhan air yang akan dikeluarkan dari waduk. Pada penelitian ini, kebutuhan air yang dikeluarkan Waduk Pacal adalah untuk irigasi, sedangkan kebutuhan air yang dikeluarkan dari Waduk Gongseng yaitu untuk irigasi, air baku, dan PLTMH. Untuk kebutuhan irigasi dari kedua waduk tersebut menggunakan rasio 2:1 dimana Waduk Pacal nantinya akan mengeluarkan air 2 kali lebih banyak daripada waduk gongseng. Lalu pada penelitian ini kebutuhan air irigasi dipenuhi dengan cara air yang keluar dari intake waduk tidak langsung menuju ke daerah irigasi, melainkan dialirkan melalui sungai sehingga efisiensi air akan berkurang menjadi 80% dikarenakan adanya kehilangan energi sebesar 20% untuk sampai di Bendung Klepek. Jumlah air yang digunakan merupakan volume tampungan total eksisting Waduk Pacal sebesar 20,251 juta m³ dan Waduk Gongseng sebesar 22,346 juta m³. Untuk perhitungan pemanfaatan air waduk pada tahun selanjutnya, volume tampungan tiap tahunnya semakin berkurang karena adanya sedimentasi. Grafik neraca air dan tampungan waduk hasil optimasi kedua waduk pola tanam eksisting dapat dilihat pada Gambar 3.1 hingga Gambar 3.6.



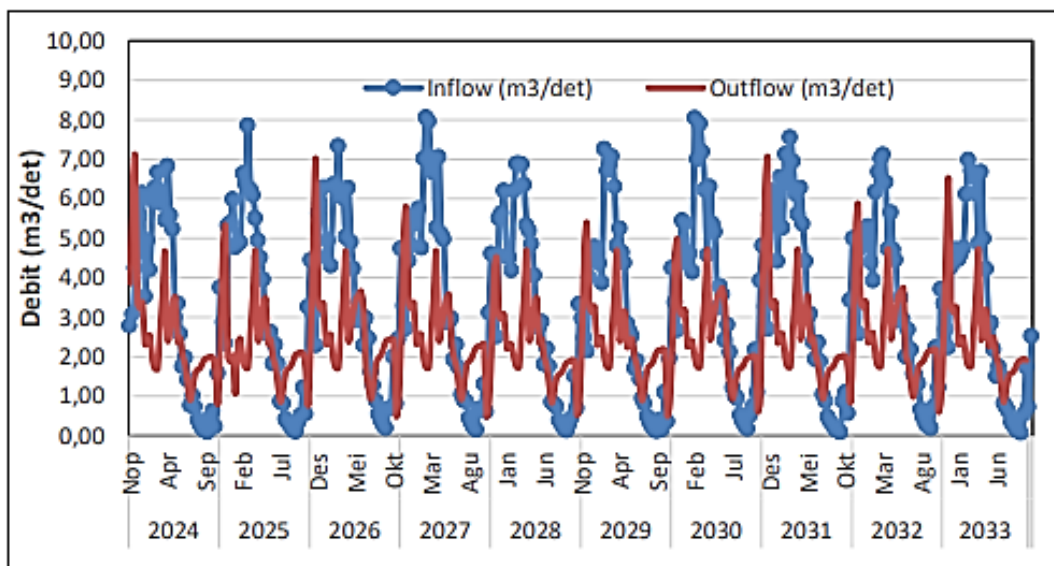
Gambar 3.1 Neraca Air Waduk Pacal dengan Pola Tanam Eksisting



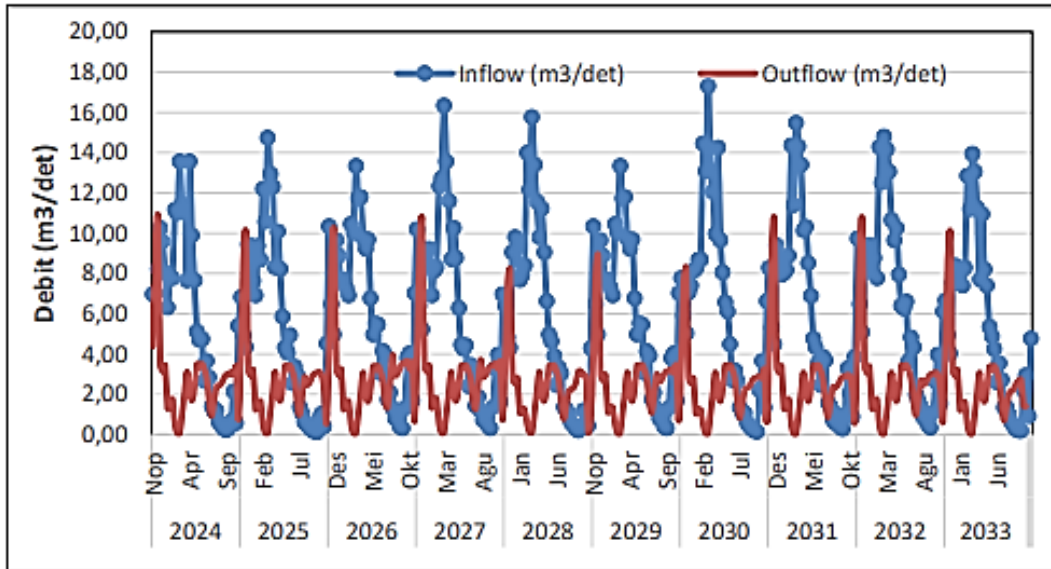
Gambar 3.2 Neraca Air Waduk Gongseng dengan Pola Tanam Eksisting



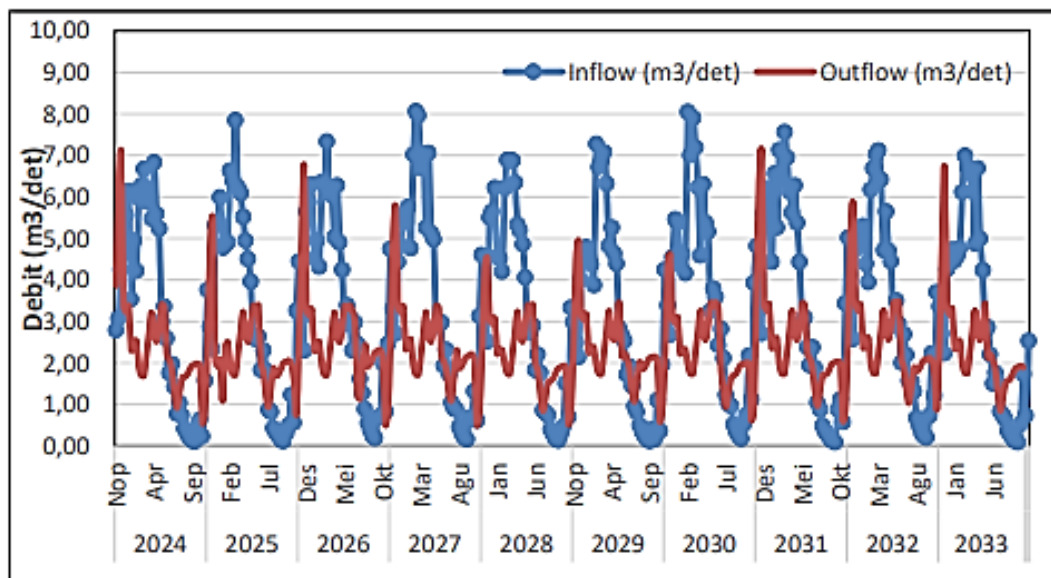
Gambar 3.3 Neraca Air Waduk Pacal dengan Pola Tanam Alternatif 2



Gambar 3.4 Neraca Air Waduk Gongseng dengan Pola Tanam Alternatif 2



Gambar 3.5 Neraca Air Waduk Pacal dengan Pola Tanam Alternatif 3



Gambar 3.6 Neraca Air Waduk Gongseng dengan Pola Tanam Alternatif 3

Dari analisis simulasi pemanfaatan air Waduk Pacal dan Waduk Gongseng, kedua waduk mampu memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTMH untuk 10 tahun kedepan dengan tiga pola tanam. Pola tanam yang paling optimum berdasarkan keuntungan maksimum adalah pada alternatif 2 (Padi-Padi-Palawija) dengan total hasil keuntungan Rp 617.633.732.396.

3.9 Analisis Potensi Pembangkit Listrik

Air yang tersedia di Waduk Gongseng dapat juga dimanfaatkan untuk memutar turbin yang nantinya dapat menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik yang dapat dimanfaatkan oleh penduduk Kecamatan

Temayang. Pada penelitian ini, air yang digunakan untuk memutar turbin adalah debit andalan 90% dengan tingkat kegagalan sebesar 10% yang dicari menggunakan metode Weibull. Dari hasil perhitungan didapatkan debit andalan 90% sebesar 1,22 m³/det. Debit andalan 90% yang digunakan untuk perhitungan potensi pembangkit listrik adalah sebesar 1,22 m³/det dengan turbin Francis. Energi listrik yang dapat dihasilkan adalah sebesar 59,91 MWh dengan klasifikasi pembangkit listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan terkait optimasi pemanfaatan air Waduk Pacal dan Waduk Gongseng. Dari perhitungan debit yang mungkin tersedia selama tahun 2024-2033, debit terbesar di Waduk Pacal adalah 17,32 m³/det dan debit terkecil 0,12 m³/det. Sedangkan di Waduk Gongseng, debit terbesar adalah 8,05 m³/det dan terkecil 0,08 m³/det.

Kebutuhan air irigasi di DI Pacal Kiri bervariasi, dengan rata-rata kebutuhan berdasarkan optimasi pola tanam eksisting sebesar 2,89 m³/det, alternatif 2 sebesar 3,94 m³/det, dan alternatif 3 sebesar 2,51 m³/det. Untuk kebutuhan air baku pada tahun 2033, dibutuhkan 0,48 m³/det untuk melayani jumlah penduduk di beberapa kecamatan, yaitu Temayang, Sukosewu, Sugihwaras, dan Kedungadem. Debit andalan 90% untuk potensi pembangkit listrik adalah sebesar 1,22 m³/det, yang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 59,91 MWh melalui PLTMH.

Analisis simulasi pengoperasian kedua waduk menunjukkan bahwa Waduk Pacal dan Waduk Gongseng mampu memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku, dan listrik untuk 10 tahun ke depan. Pola tanam paling optimum dengan keuntungan maksimum adalah alternatif 2 (Padi-Padi-Palawija) dengan total keuntungan Rp 617.633.732.396. Reduksi banjir pada Waduk Gongseng juga signifikan, dengan persentase reduksi berdasarkan muka air tertinggi waduk mencapai hingga 60,87% pada Q25.

REFERENSI

- Direktorat Jendral Pengairan. (1999). Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume II. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Limantara, L.M. (2010). Hidrologi Praktis. Bandung: CV Lubuk Agung.
- PUPR, K. (2011). Penelitian Akhir Review FS dan Detail Desain Waduk Gongseng Kabupaten Bojonegoro. Malang: PT Ika Adya Perkasa.
- SNI 2415. (2016). Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Soewarno. (1995). Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data Jilid 1. Bandung: Penerbit "NOVA".

- Sosrodarsono, S. (1976). Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). SNI 6728.1:2015 Penyusunan Neraca Spasial Sumber Daya Alam – Bagian 1: Sumber Daya Air. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2017). Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta: Andi Offset.
- Triatmodjo, B. (2010). Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset.