

# Optimasi Pemanfaatan Air Menggunakan Program Solver di Bendungan Jragung Semarang

Made Indrayana Supriyatna<sup>1)</sup>, Dwi Indriyani<sup>2)</sup>, S. Kamilia Aziz<sup>3)</sup> Ikhomaha Bian Immama<sup>4)</sup>,

<sup>1)</sup> Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email: [indrayana@its.ac.id](mailto:indrayana@its.ac.id)

<sup>2)</sup> Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email: [d.indriyani@ce.its.ac.id](mailto:d.indriyani@ce.its.ac.id)

<sup>3)</sup> Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email: [kamiliaharis@gmail.com](mailto:kamiliaharis@gmail.com)

<sup>4)</sup> Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email: [ikhomahabian32@gmail.com](mailto:ikhomahabian32@gmail.com)

Received: 2025-08-22; Accepted: 2025-08-25; Published: 2025-09-30

## Abstract

The construction of the Jragung Dam aims to address the imbalance of water availability in Demak and Grobogan Regencies, where droughts occur during the dry season and flooding during the rainy season. With a planned storage capacity of 90 million m<sup>3</sup>, the dam is expected to fulfill irrigation water demands in the Jragung Irrigation Area (D.I. Jragung), which is still experiencing shortages, as well as providing raw water for the surrounding communities. The existing cropping intensity in D.I. Jragung is 225%. Due to this suboptimal intensity, an optimization analysis of water demand was carried out as a result of the Jragung Dam development, in order to meet raw water needs, increase irrigation cropping intensity, and generate hydropower. The optimization for irrigation was conducted using the linear programming method with the Microsoft Office Solver Add-ins, where the decision variable was the planting time, and the constraints included raw water demand based on population growth projections up to 2030 as well as water availability. The optimization results indicate that the Jragung Dam development can increase cropping intensity to 300%, with the planting season starting in October of the second period. In addition, raw water demand can be met at 0.89 m<sup>3</sup>/s, while hydropower production is estimated at 3,880 MWh in wet years, 3,859 MWh in normal years, and 3,792 MWh in dry years.

**Keywords:** Clean Water; Jragung Dam; Irrigation; Hydropower Plant; Solver.

## Abstrak

Pembangunan Bendungan Jragung dibangun untuk mengatasi ketidak seimbangan ketersediaan air di Kabupaten Demak dan Kabupaten Grobogan, dimana terjadi kekeringan di musim kemarau dan juga banjir saat musim hujan. Dengan kapasitas rencana sebesar 90 juta m<sup>3</sup>, bendungan ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air irigasi di D.I. Jragung yang masih mengalami kekurangan serta menyediakan air baku bagi masyarakat sekitar. Intensitas tanam eksisting di D.I. Jragung sebesar 225%. Karena intensitas yang kurang optimal, dapat dilakukan analisis optimasi kebutuhan air akibat pembangunan Bendungan Jragung dalam upaya memenuhi kebutuhan air baku, meningkatkan intensitas tanam irigasi, serta produksi energi listrik. Optimasi yang dilakukan untuk irigasi adalah metode program linier dengan menggunakan *Add-ins Solver Microsoft Office* dengan variabelnya berupa awal masa tanam dan konstrain yang digunakan berupa pemenuhan kebutuhan air baku berdasarkan prediksi pertumbuhan penduduk hingga 2030 dan juga ketersediaan air. Dari hasil optimasi yang telah dilakukan, pembangunan Bendungan Jragung dapat meningkatkan intensitas tanam menjadi 300% dengan direncanakan awal masa tanam pada bulan Oktober di periode ke II, kebutuhan air baku sebesar 0,89 m<sup>3</sup>/detik, dan energi listrik yang dihasilkan pada tahun basah sebesar 3.880 MWh, tahun normal sebesar 3.859 MWh, dan tahun kering sebesar 3.792 MWh.

**Kata Kunci:** Air Baku; Bendungan Jragung; Irigasi; PLTA; Solver.

## PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan kondisi ketersediaan air lebih sedikit daripada kebutuhan yang diperlukan pada suatu daerah. Salah satu daerah yang terjadi kekeringan adalah di Kabupaten Demak dan Kabupaten Grobogan. Menurut BPBD, pada tahun 2023 terdapat 18 desa di Kabupaten Demak dan 71 Desa di Kabupaten Grobongan (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2023). Namun pada musim hujan terdapat potensi banjir yang terjadi pada kedua kabupaten tersebut. Salah satu Upaya yang dilakukan

oleh pemerintah mengatasi permasalahan banjir dan kekeringan adalah membangun Bendungan Jragung.

Pembangunan Bendungan Jragung berada di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah yang diproyeksikan untuk memenuhi kebutuhan air baku sebesar 1 m<sup>3</sup>/detik, air irigasi seluas 4.528 hektar, pengendali banjir yang dapat mereduksi hingga 45%, potensi PLTA sebesar 1400 kW, dan pariwisata (Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, 2021). Bendungan Jragung dibangun dengan jenis urugan tipe zonal dengan inti tegak yang direncanakan memiliki

kapasitas tampungan sebesar 90 juta m<sup>3</sup> dan memiliki tinggi 59,5 m dengan panjang 1.350 m. Dengan adanya Pembangunan Bendungan Jragung diharapkan dapat mensuplai air untuk kebutuhan air irigasi di D.I. (Daerah Irigasi) Jragung yang masih mengalami kekurangan pada musim kemarau dengan intensitas sebesar 225%, serta untuk memenuhi kebutuhan air baku atau air bersih untuk kebutuhan Masyarakat atau daerah layanan di sekitar Bendungan Jragung yang mengalami krisis air bersih. Dengan menjaga ketersediaan air diharapkan dapat meningkatkan ketahanan pangan dan perekonomian masyarakat. Air dari Bendungan Jragung juga dapat dimanfaatkan untuk mencukupi energi listrik dengan menggunakan energi listrik terbarukan.

Menurut Ahmadi karakteristik rerata dan sebaran data debit pada pola operasi Bendungan Jragung berpengaruh terhadap keberhasilan waduk memenuhi kebutuhan air di hilir (Ahmadi et al., 2024). Dalam konteks permasalahan tersebut, penting untuk melakukan studi optimasi terkait Bendungan Jragung agar air yang keluar dari Bendungan Jragung dapat dimanfaatkan secara optimal. Optimasi merupakan salah satu Solusi untuk pengelolaan sumber daya air (Kharistanto et al., 2023). Metode yang umum digunakan untuk optimasi adalah metode linear programming dengan *solver*. Dengan program solver dapat menyajikan solusi yang efisien dan efektif dalam pendistribusian air di waduk.

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang telah dilaksanakan dalam penggunaan optimasi kebutuhan air di tempat lain. Diantaranya adalah optimasi pemanfaatan air pada D.I. Jatiroto Kabupaten Lumajang dengan software solver oleh Putra dkk (Putra et al., 2024). Optimasi pemberian air di saluran sekunder krebung D.I. Delta Brantas Kabupaten Sidoarjo menggunakan solver oleh Anggraini, dkk (Anggraini et al., 2022). Optimasi pemanfaatan air pada D.I. Bilokka di Kabupaten Sidrap menggunakan program linear dengan *software QM for Windows* oleh Maburr, dkk (Maburr et al., 2021). Optimasi penggunaan air irigasi menggunakan linear programming dengan solver pada D.I. Belita oleh Imron dan Murtiningrum (Imron & Murtiningrum, 2021). Optimasi operasi Waduk Jatigede menggunakan Program Linear dengan Solver oleh Sofyan (Sofyan, 2021). Optimasi operasional reservoir dengan program linear di tampungan Hemavati, India oleh Raju dkk (Raju et al., 2020). Dari hasil studi literatur terdahulu masih belum ada yang melaksanakan penelitian terkait optimasi penggunaan air di bendungan Jragung. Penelitian terdahulu lebih sering menggunakan program linear hanya untuk kepentingan irigasi saja. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan program linear dengan menggunakan Solver dengan beberapa Variabel selain Irigasi.

Variabel-variabel yang digunakan dalam optimasi adalah jenis tanaman dan waktu mulai tanam. Selain itu diperlukan proyeksi jumlah penduduk untuk daerah layanan, yaitu Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan Mranggen, Kecamatan Karangawen, Kecamatan Tanggunharjo, dan Kecamatan Kedungjati. Oleh karena itu, pada penelitian ini membahas mengenai optimasi potensi air pada Bendungan Jragung dengan menggunakan program solver. Diharapkan dengan adanya optimasi ini air dari Bendungan Jragung dapat mengetahui potensi

pengembangan air di Waduk Jragung dalam memenuhi kebutuhan air baku, air irigasi, dan PLTA untuk masyarakat sekitar.

## METODE PENELITIAN

### Gambaran Umum

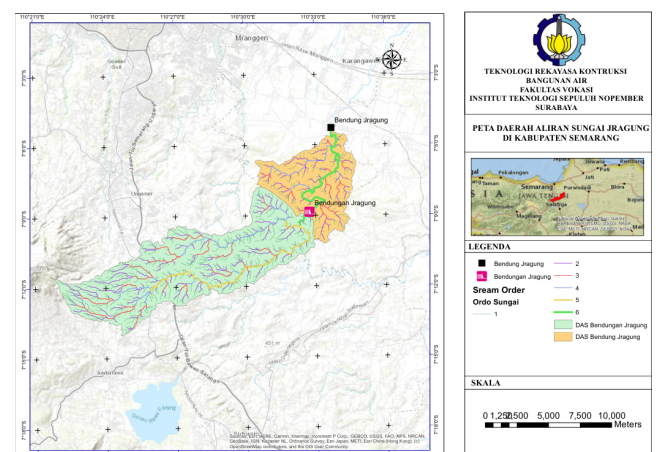
Bendungan Jragung terletak di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang yang secara geografis Bendungan Jragung terletak pada 110° 21' 57" - 110° 39' 58" BT dan 6° 50' 55" - 7° 13' 59" LS. Untuk Peta Lokasi Bendungan Jragung dapat dilihat pada Gambar 1. Pada bagian hilir bendungan jragung terdapat beberapa bangunan sadat, bangunan bendung, serta Daerah Irigasi Jragung yang digambarkan pada gambar skema sungai yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada hilir Bendungan Jragung terdapat anak sungai yang nantinya akan menambahkan suplai air untuk keperluan irigasi yang akan dilayani oleh Waduk Jragung.

### Analisis Debit Andalan

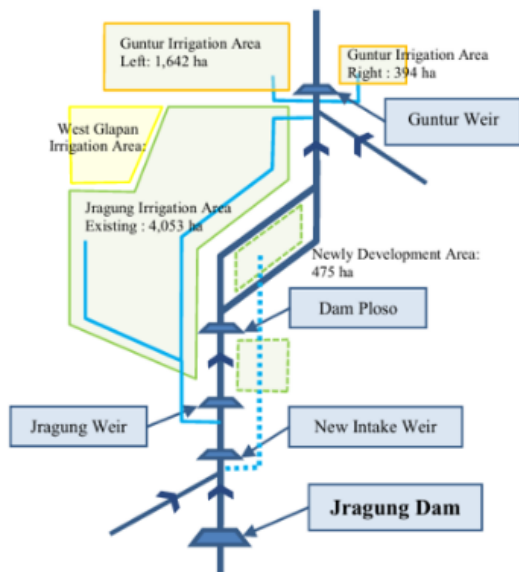
Analisis debit andalan dianalisis menggunakan debit pencatatan di Bendung Jragung yang terletak ± 6,96 km di hilir Bendungan Jragung. Lama data yang digunakan adalah 15 Tahun dengan rentan data dari tahun 2009-2023. Pendekatan yang digunakan untuk memperhitungkan debit yang masuk pada Waduk Jragung dan Bendung Jragung adalah menggunakan perbandingan luas DAS (Daerah Aliran Sungai). Adapun 3 jenis debit andalan yang digunakan adalah kondisi basah dengan probabilitas debit 35%, tahun normal dengan probabilitas debit 50%, dan tahun kering menggunakan probabilitas debit 65% (Kementerian PUPR, 2017).

### Analisis Kebutuhan Air

Beberapa pemanfaatan Pembangunan Waduk Jragung adalah untuk memenuhi kebutuhan air baku, air irigasi, dan PLTA. Daerah Irigasi Jragung yang dilayani oleh Waduk Jragung sebesar 4528 ha sawah. Untuk daerah pelayanan air baku berada di Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan Mranggen, Kecamatan Karangawen, Kecamatan Tanggunharjo, dan Kecamatan Kedungjati. Sebelum air di distribusikan dan diolah menjadi air baku, air akan dialirkan menuju ke PLTA terlebih dahulu. Sehingga besar air yang masuk ke turbin PLTA sebesar debit air baku yang direncanakan.



Gambar 1. Lokasi Bendungan Jragung  
Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)



Gambar 2 Skema Sungai  
 Sumber : BBWS Pemali Juana (2019)

**Optimasi dengan Program Linear Solver**

Optimasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program linier. Dalam pengembangan sumber daya air program *solver* dapat menghasilkan hasil yang cukup andal (Limantara & Soetopo, 2011). Untuk mempermudah proses optimasi, penelitian ini menggunakan program *Add-ins Solver Microsoft Excel*. Untuk fungsi tujuan dan fungsi kendala dapat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Tujuan  
 $Z = XP1 + XP2 + XP3 + XK1 + XK2 + XK3$
2. Fungsi Kendala
  - Luas baku sawah  
 $XP1 + XK1 \leq \text{Luas total sawah}$   
 $XP2 + XK2 \leq \text{Luas total sawah}$   
 $XP3 + XK3 \leq \text{Luas total sawah}$
  - Non-negativity  
 $XP1, XP2, XP3, XK1, XK2, XK3 \geq 0$
  - Volume waduk  
 $XS1 = XSAwal + Xin1 - XO1$   
 $XS2 = XSAwal + Xin2 - XO2$   
 .....  
 $XS24 = XSAwal + Xin24 - XO24$
  - Volume minimal waduk  
 $XS1 \geq \text{Volume muka air rendah}$   
 $XS1 \geq 21,67 \times 10^6$   
 $XS2 \geq \text{Volume muka air rendah}$   
 .....  
 $XS24 \geq \text{Volume muka air rendah}$   
 $XS24 \geq 21,67 \times 10^6$
  - Volume inflow waduk  
 $XQin1 = XQSungai1$   
 $XQin2 = XQSungai2$   
 .....  
 $XQin24 = XQSungai24$

- Volume outflow waduk  
 $XO1 = XQAir baku1 + XQI BDG1$   
 $XO2 = XQAir baku2 + XQI BDG 2$   
 .....  
 $XO24 = XQAir baku24 + XQI BDG24$
  - Volume kebutuhan air irigasi di bendungan  
 $XQI BDG1 = XQIrigasi1 + XQAnak Sungai 1$   
 $XQI BDG2 = XQIrigasi2 + XQAnak Sungai 2$   
 .....  
 $XQI BDG24 = XQIrigasi24 + XQAnak Sungai 24$
  - Volume untuk PLTA  
 $XQplta1 = XQAir baku1$   
 $XQplta2 = XQAir baku2$   
 .....  
 $XQplta24 = XQAir baku24$
  - Volume maksimal waduk  
 $XS1 \geq \text{Volume muka air normal}$   
 $XS1 \geq 67,61 \times 10^6$   
 $XS2 \geq \text{Volume muka air normal}$   
 .....  
 $XS24 \geq \text{Volume muka air normal}$   
 $XS24 \geq 67,61 \times 10^6$
  - Volume kebutuhan air irigasi waduk  
 $XQIrigasi1_{i1-8} = a.XP1 + b.XK1$  (i = periode tanam 1-8)  
 $XQIrigasi2_{j9-16} = a.XP1 + b.XK1$  (j = periode tanam 9-16)  
 $XQIrigasi3_{k17-24} = a.XP1 + b.XK1$  (k = periode tanam 17-24)
- Keterangan :
- XP1 = Luas tanam padi pada musim tanam I
  - XP2 = Luas tanam padi pada musim tanam II
  - XP3 = Luas tanam padi pada musim tanam III
  - XK1 = Luas tanam palawija pada musim tanam I
  - XK2 = Luas tanam palawija pada musim tanam II
  - XK3 = Luas tanam palawija pada musim tanam III
  - a = Kebutuhan air tanaman padi
  - b = Kebutuhan air tanaman palawija
  - XO1 = Volume outflow waduk periode 1
  - XO2 = Volume outflow waduk periode 2
  - .....
  - XO24 = Volume outflow waduk periode 24
  - XOI BDG1 = Volume kebutuhan irigasi di bendungan 1
  - XOI BDG2 = Volume kebutuhan irigasi di bendungan 2
  - .....
  - XOI BDG24 = Volume kebutuhan irigasi di bendungan 24
  - XS1 = Volume storage waduk periode 1
  - XS2 = Volume storage waduk periode 2
  - .....
  - XS24 = Volume storage waduk periode 24

Selanjutnya perlunya penentuan cell-cell mana saja yang digunakan sebagai fungsi tujuan dan fungsi kendala. Sehingga dapat merumuskan fungsi fungsi tersebut secara mudah pada solver. Hasil optimasi pada solver menampilkan keputusan yang maksimal dari intensitas tanam di irigasi tanpa melanggar batasan-batasan yang telah dibentuk. Untuk optimasi ini dilakukan pada setiap periode, dengan masing-masing periode akan berkaitan satu dengan yang lainnya. Hasil optimasi selanjutnya digunakan untuk mensimulasi ketersediaan air di waduk berdasarkan volume air yang masuk dan volume air yang keluar di setiap periodenya, dengan periode yang digunakan adalah 15 harian.

**Simulasi Pola Operasi dan Evaluasi Hasil**

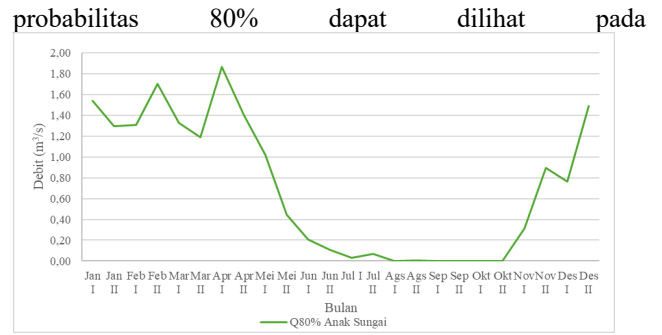
Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari optimasi ini, maka diperlukan simulasi waduk. Simulasi Waduk dilakukan dengan cara menjumlah kebutuhan air yang akan dikeluarkan dari waduk untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTA dan dibandingkan dengan ketersediaan air yang ada (Nuramini, 2017). Simulasi ini dilakukan untuk menerapkan hasil optimasi yang telah dilakukan untuk pengoperasian tahunan waduk sehingga memperoleh pola pelepasan air yang optimal untuk memenuhi kebutuhan layanan pada bendungan berupa kebutuhan air untuk irigasi, air baku, serta pembangkit listrik. Besar air yang digunakan untuk PLTA sama dengan besar debit air yang dialirkan keluar waduk untuk memenuhi kebutuhan air baku sehingga tidak ada analisis yang mendetail terkait besar debit yang dialirkan pada turbin. Energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh tinggi muka air pada waduk yang akan berpengaruh pada tinggi jatuh air pada turbin yang terletak pada elevasi +61.00 m. Hasil dari pelepasan di PLTA dapat digunakan untuk kebutuhan air baku.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

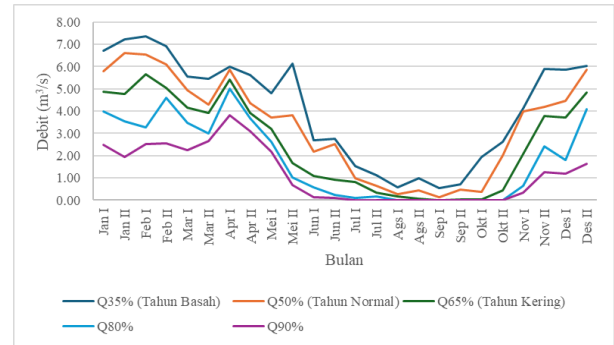
**Analisis Debit Andalan**

Untuk mengetahui perbandingan besar debit yang mengalir dari arah waduk dan dari anak sungai, maka dilakukan pembagian dengan menggunakan perbandingan luasan DAS. Metode ini sudah pernah diteliti oleh Gianfagna dkk pada tahun 2015 di daerah Catskills, New York dan menghasilkan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,79 yang dimana masih tergolong baik (Gianfagna et al., 2015). Analisis luas daerah aliran sungai di Waduk Jragung diperoleh sebesar 92,9 km<sup>2</sup>, dan luas daerah aliran sungai di Bendung Jragung adalah 128,8 km<sup>2</sup>. Dari hasil analisis perbandingan luasan DAS pada waduk Jragung dan Bendung Jragung, diperoleh beberapa debit andalan yang dapat dilihat pada Gambar 3.

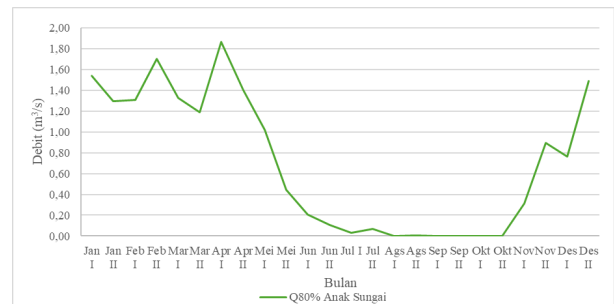
Berdasarkan Gambar 2, terdapat anak sungai pada bagian hilir waduk. Sehingga besar debit untuk kebutuhan irigasi mendapat tambahan debit dari anak sungai. Besar debit di anak sungai tersebut diperoleh dari perbandingan luas daerah aliran sungai sebesar 35,9 km<sup>2</sup>. Hasil perhitungan debit pada anak sungai di hilir dengan



Gambar 4.



Gambar 3. Debit Andalan  
 Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)



Gambar 4. Debit 80% Anak Sungai  
 Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

**Kebutuhan Air**

*Kebutuhan Air Irigasi*

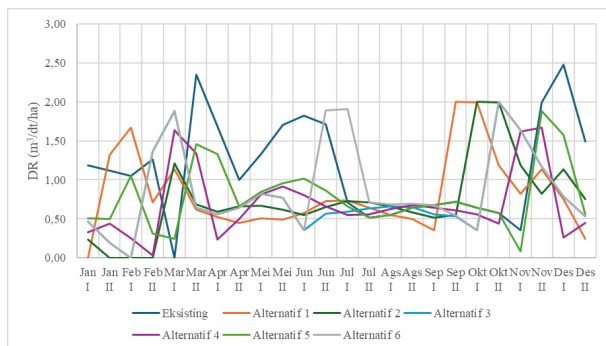
Untuk menganalisis kebutuhan air irigasi, perlu dilakukan perhitungan evapotranspirasi dengan metode penman modifikasi menggunakan data klimatologi. Data klimatologi yang digunakan adalah data klimatologi dari Stasiun Jragung, Stasiun Rawapening, dan Stasiun Dangi dengan data-data yang digunakan adalah data suhu, lama penyinaran matahari, kelembaban relatif, dan kecepatan angin. Alasan digunakan analisis evapotranspirasi dengan metode penman modifikasi ini dikarenakan lebih teliti dibandingkan metode lain karena menggunakan variable meteorologi yang lebih lengkap (Hadisusanto, 2010). Selain itu metode ini telah disesuaikan dengan keadaan daerah Indonesia (Ardana et al., 2021).

Analisis perhitungan kebutuhan air irigasi digunakan untuk menganalisis kebutuhan irigasi eksisting dan rencana dengan luas sawah yang fungsional seluas 4.528 ha. Untuk pola tata tanam kondisi eksisting menggunakan padi dan palawija – padi dan palawija – palawija. Berdasarkan kondisi eksisting, intensitas tanam yang dihasilkan sebesar 225% dan memerlukan besar debit rata rata di setiap periodenya sebesar 2,49 m<sup>3</sup>/s dengan awal mulai masa

tanam adalah bulan November di periode II. Kemudian untuk perencanaan menggunakan 6 jenis alternatif pola tanam dengan variabel yang berubah adalah awal periode tanam dan pola tata tanamnya. Alternatif-alternatif pola tata tanam yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. **Alternatif 1:** Pola tanam padi-padi-palawija dengan jadwal tanam: MT I pada bulan September periode II, MT II pada bulan Januari periode II, dan MT III pada bulan Mei periode II.
- b. **Alternatif 2:** Pola tanam padi-padi-palawija dengan jadwal tanam: MT I dimulai pada bulan Oktober periode I, MT II dimulai pada bulan Februari periode I, dan MT III dimulai pada bulan Juni periode I.
- c. **Alternatif 3:** Pola tanam padi-padi-palawija dengan jadwal tanam: MT I dimulai pada bulan Oktober periode II, MT II dimulai pada bulan Februari periode II, dan MT III dimulai pada bulan Juni periode II.
- d. **Alternatif 4:** Pola tanam padi-padi-palawija dengan jadwal tanam: MT I dimulai pada bulan November periode I, MT II dimulai pada bulan Maret periode I, dan MT III dimulai pada bulan Juli periode I.
- e. **Alternatif 5:** Pola tanam padi-padi-palawija dengan jadwal tanam: MT I dimulai pada bulan November periode II, MT II dimulai pada bulan Maret periode II, dan MT III dimulai pada bulan Juli periode II.
- f. **Alternatif 6:** Pola tanam padi-padi-padi dengan jadwal tanam: MT I dimulai pada bulan Oktober periode II, MT II dimulai pada bulan Februari periode II, dan MT III dimulai pada bulan Juni periode II.

Kebutuhan air irigasi pada masing-masing alternatif disajikan pada Gambar 5. Dari hasil analisis tersebut dapat dilihat kebutuhan air yang tertinggi adalah pada kondisi eksisting. Kemudian dari untuk alternatif satu hingga alternatif lainnya memiliki fluktuatif kebutuhan air yang berbeda beda. Dari hasil analisis tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan optimalisasi.



Gambar 5. Kebutuhan Air Irigasi  
Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

**Kebutuhan Air Baku**

Waduk Jragung direncanakan untuk melayani air baku untuk wilayah Kecamatan Semarang Timur,

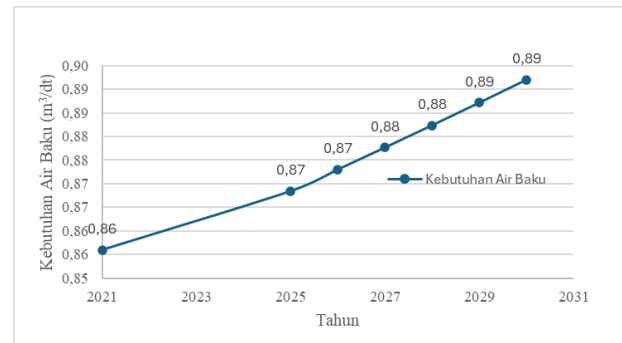
Kecamatan Mranggen, Kecamatan Karangawen, Kecamatan Tanggungharjo, dan Kecamatan Kedungjati. Untuk mengetahui kebutuhan Air baku diperlukan jumlah penduduk kedepannya sehingga diperlukan data untuk melakukan proyeksi. Data yang akan digunakan untuk perhitungan proyeksi penduduk adalah selama 11 tahun dengan rentang tahun dari 2014 sampai 2024. Metode-metode yang digunakan untuk analisis proyeksi penduduk antara lain metode geometri, metode aritmatik, dan metode eksponensial (Pekerjaan Umum (Public Works), 2007). Dari ketiga metode ini dipilih salah satu yang terbaik berdasarkan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1. Hasil perhitungan nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1. Metode yang dipilih adalah metode yang memiliki koefisien korelasi yang mendekati 1 (Pekerjaan Umum (Public Works), 2007). Untuk proyeksi penduduk pada Kecamatan Semarang Timur adalah metode Aritmatik, kemudian untuk Kecamatan Mranggen, Kecamatan Karangawen, Kecamatan Tanggungharjo, dan Kecamatan Kedungjati menggunakan metode eksponensial. Hasil dari proyeksi jumlah penduduk kedepannya, selanjutnya digunakan untuk perhitungan air domestik dan non domestik. Hasil dari perhitungan kebutuhan air baku total dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai Koefisien Korelasi

Metode	Kecamatan				
	Semarang	Timur Mranggen	Karangawer	Tanggunghai	Kedungjati
Geometri	0,831	-0,11288	0,99041	0,91863	0,904
Aritmatik	0,836	-0,11371	0,98970	0,91621	0,901
Eksponensial	0,831	-0,11287	0,99042	0,91864	0,905

Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)



Gambar 6. Kebutuhan Air Baku

Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

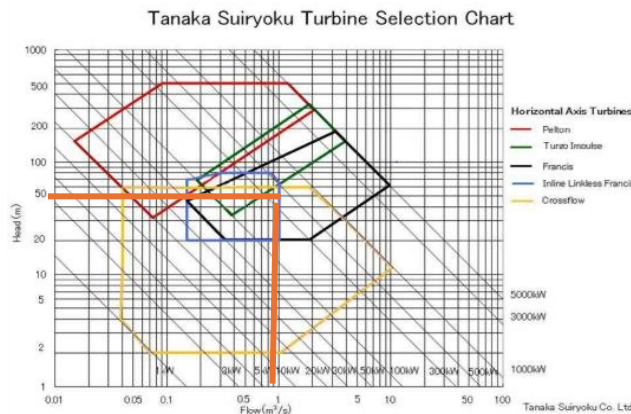
**Analisis Pembangkit Listrik**

Pada kondisi eksisting masih belum ada PLTA beserta turbin yang terpasang, maka diperlukan untuk desain turbin terdahulu. Dalam analisis pembangkit listrik andalan yang digunakan sebesar 85%-90% (Limantara, 2018). Dalam penelitian ini debit andalan yang digunakan adalah debit andalan 90% sebesar 1,2 m³/detik. Berikut adalah perhitungan daya listrik yang dihasilkan pembangkit listrik;

- Elevasi Muka Air Normal = +115
- Elevasi Muka Air Minimum = +93
- Elevasi *upstream* = +115
- Elevasi *downstream* = +61

$$\begin{aligned}
 H_{bruto} &= \text{Elv.upstream} - \text{Elv.downstream} \\
 &= 115 - 61 \\
 &= 54 \text{ m} \\
 H_{losses} &= 10\% \times H_{bruto} \\
 &= 10\% \times 54 \\
 &= 5,4 \text{ m} \\
 H_{eff} &= H_{bruto} - H_{losses} \\
 &= 54 - 5,4 \\
 &= 48,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penentuan jenis turbin dapat menggunakan grafik “Tanaka Suiryoku turbine selection chart” Berdasarkan nilai debit dan tinggi jatuh efektif. Hasil pemilihan turbin berdasarkan dari analisis yang telah dilakukan dapat diploting pada grafik sesuai pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Pemilihan Turbin  
 Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

Hasil dari plotting, diperoleh turbin yang digunakan adalah jenis Francis yang memiliki efisiensi 90% atau 0,9. Analisis daya Listrik yang dihasilkan, diperhitungkan sebagai berikut ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Listrik (P)} &= \eta \times g \times H_{eff} \times Q \\
 &= 0,9 \times 9,81 \times 48,6 \times 1,20 \\
 &= 457,82 \text{ kW} \\
 &= 0,46 \text{ Mwh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energi Listrik (E)} &= P \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 0,46 \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 4.010,51 \text{ MW/tahun}
 \end{aligned}$$

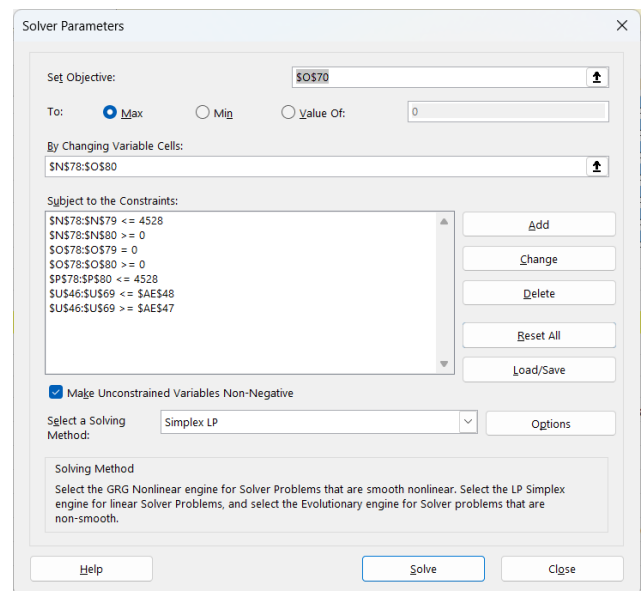
Dari hasil analisis diatas, diperoleh daya Listrik yang dihasilkan dari pembangkit Listrik jika menggunakan data debit andalan 90% pada Sungai menghasilkan sebesar 0,46 Mw dengan energi Listrik yang dihasilkan sebesar 4010,51 MW/tahun. Analisis tersebut merupakan analisis awal, dikarenakan tinggi  $H_{eff}$  tidak memiliki tinggi yang sama di setiap periode. Selain itu besar debit yang masuk pada turbin adalah besar debit air baku rencana pada tahun 2030.

*Optimasi dengan program Solver*

Analisis optimasi dilakukan untuk memaksimalkan pemanfaatan air dari Bendungan Jragung. Optimasi dilakukan dengan menggunakan program bantu *Add-ins Solver Microsoft Excel* dan dibatasi menggunakan 6 alternatif kondisi dengan tujuan untuk mendapatkan intensitas tanam yang maksimal dengan luas tanam dan mampu memenuhi kebutuhan air baku dan PLTA. Untuk

keterangan inputan solver pada gambar Gambar 8. Adapun input input tersebut adalah sebagai berikut ini:

- Tujuan/*Set Objective*:  
Z (Intensitas tanam)
- Variabel/*By Changing Variabel Cells*:  
XP1 + XP2 + XP3 + XK1 + XK2 + XK3
- Fungsi kendalan/*Subject Changing Variable Cell*:
  1. Batasan luasan tanaman padi maksimum  
XP1 ≤ 4528  
XP2 ≤ 4528
  2. Batasan luasan tanaman padi minimum  
XP1, XP2, XP3 ≥ 0
  3. Luasan tanaman palawija maximum  
XP1, XP2 = 0
  4. Luasan tanaman palawija minimum  
XP1, XP2, XP3 ≥ 0
  5. Volume tampungan selama periode I – 24 harus lebih kecil atau sama dengan volume waduk saat elevasi MAN atau muka air normal (Elevasi Pelimpah)  
XS1, XS2, ..., XS25 ≤ Volume waduk saat elevasi MAN
  6. Volume tampungan selama periode I – 24 harus lebih besar atau sama dengan elevasi tampungan mati (Elevasi Intake)  
XS1, XS2, ..., XS25 ≥ Volume waduk saat elevasi tampungan mati
- Metode yang digunakan:  
Simple LP.



Gambar 8 Inputan Solver  
 Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

Hasil dari optimasi mendapatkan besar intensitas tanam yang dapat dilihat pada Tabel 2. Dapat dilihat intensitas dari setiap alternatif. Setelah didapatkan intensitas hasil yang telah dioptimasi kemudian dilakukan simulasi pola operasi untuk mengetahui kemampuan waduk dalam melayani kebutuhan. Untuk inputan yang digunakan

dalam program bantu pada alternatif ke 3 dapat dilihat pada Gambar 8. Perubahan antara awal musim tanam dilakukan dengan cara melakukan perubahan awal musim tanaman sebelum melakukan optimasi dengan solver.

*Simulasi Pola Operasi dan Evaluasi Hasil*

Analisis pola operasi waduk dilakukan untuk mengetahui *water balance* di waduk. *Water balance* waduk dipengaruhi oleh debit *inflow*, debit kebutuhan, dan evaporasi. Analisis *water balance* dilakukan dengan kondisi tahun basah, tahun normal, dan tahun kering. Hasil rekapitulasi dari simulasi optimasi *water balance* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Optimasi dengan Solver

Alternatif Ke-	XP1	XP2	XP3	XK1	XK2	XK3	Intensitas (%)
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	
1	4528	4528	0	0	0	4528	300.0
2	4528	4528	0	0	0	4528	300.0
3	4528	4528	0	0	0	4528	300.0
4	4528	3222	0	0	0	4528	271.1
5	4528	2744	0	0	0	4528	260.6
6	4528	4528	2433	0	0	0	253.7

Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

Dari hasil optimasi pada Tabel 3 alternatif yang memiliki intensitas tanam tertinggi (300%) lebih dari satu alternatif, dimana alternatif 1, 2 dan 3 sehingga pendekatan pemilihan optimasi yang terbaik, selain dari intensitas tanam sebesar 300%, dapat menggunakan rata-rata muka air waduk tertinggi. Hasil pemilihan alternatif yang terbaik adalah alternatif ke 3 dengan pola tanam padi-padi-palawija yang masa tanam diawali di bulan oktober periode II. Untuk hasil tinggi muka air (TMA) dari alternatif terbaik dapat dilihat pada Gambar 9.

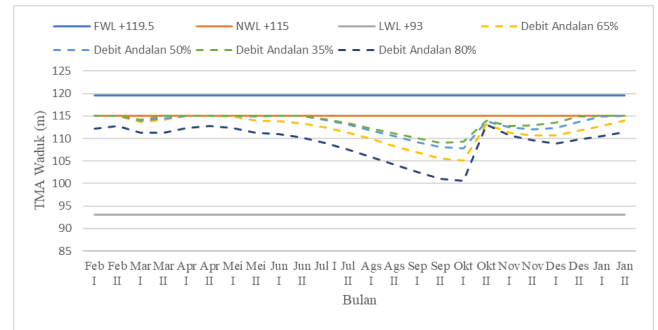
Hasil muka air waduk atau *water balance* yang sudah dioptimasi berdasarkan alternatif ke 3 dapat dilihat pada Gambar 9. Diperoleh bahwa tinggi muka air pada pada grafik *water balance* pada gambar Gambar 9 masih memiliki selisih yang jauh dari batas dasar intake (LWL +93) sehingga kebutuhan air masih tergolong surplus dalam memenuhi kebutuhan irigasi, kebutuhan air baku, dan PLTA. Besar energi yang dihasilkan oleh PLTA akibat perubahan muka air di setiap periode adalah sebesar Pada tahun basah didapatkan energi listrik sebesar 3.880 MWh, pada tahun normal sebesar 3.859 MWh, pada tahun kering sebesar 3.792 MWh.

Tabel 3. Rekapitulasi Simulasi Pola Operasi Hasil Optimasi

Alternatif Ke-	Total Luas Padi	Total Luas Palawija	Intensitas	Rata-Rata TMA Tahun Kering
	(ha)	(ha)		(m)
1	9056	4528	300.00%	109.43
2	9056	4528	300.00%	111.40
3	9056	4528	300.00%	111.98
4	7751	4528	271.17%	113.22

5	7272	4528	260.61%	112.19
6	11489	0	253.73%	111.72
Intensitas tanam tertinggi			300%	
Alternatif yang digunakan			Oktober II	

Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)



Gambar 9. Water Balance Waduk Hasil Optimasi Alternatif 3

Sumber: Hasil Pengolahan data (2025)

**KESIMPULAN**

Dari hasil optimasi dengan menggunakan program *Add-ins Solver Microsoft Excel* diperoleh bahwa intensitas tanam dari 225% dapat ditingkatkan menjadi 300% dengan alternatif yang disarankan untuk digunakan pada lapangan adalah alternatif Pola Tata Tanam Padi-Padi-Palawija. Untuk jadwal mulai masa tanam MT I adalah Oktober periode II, MT II pada bulan Februari periode II, dan MT III pada bulan Juni periode II. Hasil optimasi dapat memenuhi kebutuhan air baku serta memiliki potensi untuk menghasilkan energi sebesar 3.859 MWh dengan tinggi rata-rata muka air di bendungan adalah 111,98 m pada tahun kering.

**SARAN**

Tujuan optimasi ini adalah untuk meningkatkan Intensitas tanam maksimum dengan tetap mensuplai air baku dan PLTA. Pemilihan yang optimum diambil dari rata-rata ketersediaan air yang paling besar berdasarkan rata-rata Tinggi Muka Air. Pada penelitian selanjutnya dapat pengoptimasi Intensitas tanam dengan mempertimbangkan jumlah energi ataupun perekonomian yang paling optimum. Sehingga dapat lebih menarik dalam melaksanakan optimasi ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ahmadi, M. A., Suharyanto, Wulandari, D. A., & Pambudi, T. (2024). Kajian Panjang Data dan Karakteristik Debit bangkitan Pada Pola Operasi Waduk Jragung. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(10), 5588–5604. <https://doi.org/https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i10.16698>

Anggraini, D. W., Noerhayati, E., & Suprpto, B. (2022). Optimasi Pemberian Air Daerah Irigasi Delta Brantas Saluran Sekunder Krembung Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(3), 44–53.

- <http://riset.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/17474>
- Ardana, J. V., Nugroho, S. S., Santosa, B., & Hartanto, D. (2021). Studi Perencanaan Pola Operasi Waduk Randugunting Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Guna Kebutuhan Air Irigasi. *G-Smart*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v5i1.2889>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). *Kekeringan di Pulau Jawa*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. <https://data.bnpb.go.id/pages/kekeringan-pulau-jawa>
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. (2021). *Sedang Dibangun Brantas Abipraya, Bendungan Jragung Siap Suplai Air Baku untuk Tiga Wilayah di Jawa Tengah*.
- BBWS Pemali Juana. (2019). *Preparation of Jragung Multipurpose Dam Project Volume 1, Review DD*. 2(3455).
- Gianfagna, C. C., Johnson, C. E., Chandler, D. G., & Hofmann, C. (2015). Watershed area ratio accurately predicts daily streamflow in nested catchments in the Catskills, New York. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 583–594. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.09.002>
- Hadisusanto, N. (2010). *Aplikasi Hidrologi*. Jogja Mediautama.
- Imron, F., & Murtiningrum. (2021). Optimization of irrigation water allocation by using linear programming: Case study on Belitang irrigation system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 653(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012023>
- Kementerian PUPR. (2017). Modul 08 - Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air. *Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Konstruksi*, 67.
- Kharistanto, R. T. K., Limantara, L. M., & Soetopo, W. (2023). Studi Optimasi Pemanfaatan Air Irigasi Menggunakan Program Linier Pada Daerah Irigasi Manikin Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1), 487–501. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.42>
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi*. Andi.
- Limantara, L. M., & Soetopo, W. (2011). *Manajemen Sumber Daya Air*. CV.Lubuk Agung.
- Mabrur, M. A., Wahyuni, S., & Dermawan, V. (2021). Studi Optimasi Alokasi Air Pada Daerah Irigasi Bilokka Kecamatan Panca Lautang Kabupaten Sidrap Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Program Linear. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(1), 170–179. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.15>
- Nuramini, T. M. (2017). Studi Optimasi Pola Pengoperasian Waduk Bajulmati. *Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 21.
- Pekerjaan Umum (Public Works). (2007). *Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum*. [ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/permen/permen\\_18\\_2007.pdf](http://ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/permen/permen_18_2007.pdf)
- Putra, F. A. R., Limantara, L. M., & Prayogo, T. B. (2024). Studi Optimasi Pemanfaatan Air Irigasi Menggunakan Program Linear pada Daerah Irigasi Jatiroto Kabupaten Lumajang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4(02), 1685–1698. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.02.164>
- Raju, B. C. K., Gowda C, C., & B S, K. (2020). Optimization of Reservoir Operation using Linear Programming. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(5), 1028–1032. <https://doi.org/10.35940/ijrte.e6174.018520>
- Sofyan, S. A. A. (2021). Optimasi Operasi Waduk Jatigede Menggunakan Linear Programming dan Chance Constraints Non Linear Programming. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 1(2), 51–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.31963/jacee.v%25i%25i.2933>