



**OPTIMASI PENGATURAN PEMBANGKIT HIDRO  
KASKADE SUNGAI BRANTAS UNTUK MENINGKATKAN  
*CASCADE EFFECTIVENESS***

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Strata satu (S-1)*

*Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



**Disusun oleh:**

**MOCHAMMAD SYAIFUL BAKRI**

**NPM 221.210.5.2073**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

**2024**

## ABSTRAK

**Mochammad Syaiful Bakri. 2024. Optimasi Pengaturan Pembangkit Hidro Kaskade Sungai Brantas untuk Meningkatkan *Cascade Effectiveness*. Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang. Dosen Pembimbing: Ir. Margianto M.T. dan Nur Robbi, ST., M.T.**

Pembangkit hidro dengan skema kaskade memanfaatkan energi potensial air secara berkelanjutan. Wilayah Sungai (WS) Brantas dimanfaatkan untuk membangkitkan 4 (empat) Pembangkit hidro (PLTA) yang tersusun secara seri dengan urutan dari hulu ke hilir yaitu PLTA Sengguruh, PLTA Sutami, PLTA Wlingi, dan PLTA Lodoyo. Pada periode Desember 2022 sampai dengan November 2023, keempat PLTA mampu memproduksi energi listrik sebesar 888,629,472 kWh. Namun, masih terdapat potensi kesempatan produksi energi listrik yang dapat dioptimalkan dari potensi air yang tidak termanfaatkan (air limpas) sebesar 553,61 Juta  $m^3$ . Sistem optimasi pengaturan pembangkit memberikan solusi dalam optimalisasi pemanfaatan sumber energi air melalui formulasi dengan pendekatan model matematis karakteristik turbin dan generator memanfaatkan *Solver* pada aplikasi *Microsoft Excel* untuk merencanakan elevasi/Tinggi Muka Air (TMA) Waduk Sutami dan pembebanan serta waktu pembebanan pada saat *Peak* dan *Off-Peak*. Melalui optimasi, produksi energi listrik berpotensi tercapai sebesar 951,796,287 kWh atau meningkat 7,11% dari kondisi riil pada periode Desember 2022 sampai dengan November 2023 dengan meminimalisir terjadinya air limpas hingga 92,40% atau 551,61 Juta  $m^3$ . Sehingga, terjadi kenaikan *Cascade Effectiveness* pada PLTA Kaskade WS Brantas sebesar 2,87% atau 0,003 kWh/ $m^3$ .

**Kata kunci:** Pembangkit hidro, Sistem optimasi, Pengaturan pembangkit

## ABSTRACT

**Mochammad Syaiful Bakri. 2024. *Optimizing the Brantas River Cascade Hydro Power Regulating to Increase Cascade Effectiveness. Thesis Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Malang. Supervising Lecturer: Ir. Margianto M.T. and Nur Robbi, ST., M.T.***

*Hydropower with a cascade scheme utilize water potential energy in a sustainable manner. The Brantas River area is used to generate 4 (four) Hydropower plants (HEPP) which are arranged in series from upstream to downstream, namely the Sengguruh HEPP, Sutami HEPP, Wlingi HEPP, and Lodoyo HEPP. In the period December 2022 to November 2023, the four hydropower plants are capable of producing 888,629,472 kWh of electrical energy. However, there are still potential opportunities for electrical energy production that can be optimized from unutilized water potential (spillway water) of 553.61 million m<sup>3</sup>. The optimization management systems provides a solution for utilizing water energy sources through a formulation with a mathematical model using Solver in Microsoft Excel application to plan water level of the Sutami Reservoir, Hydropower load settings, and Peak/Off-Peak times at each hydropower plant. By implementing an optimization, electrical energy production has the potential to reach 951,796,287 kWh or an increase of 7.11% in the period December 2022 to November 2023 by minimizing the occurrence of spillway water by up to 92.40% or 551.61 million m<sup>3</sup>. Thus, there was an increase in Cascade Effectiveness at hydropower plants of the Brantas River Cascade by 2.87% or 0.003 kWh/m<sup>3</sup>.*

**Keywords:** *Hydropower plants, Optimization management systems, Hydropower load and Peak/Off-Peak times settings*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi umat manusia. Saat ini, mayoritas energi listrik masih dibangkitkan dari sumber-sumber energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas bumi. Isu dampak lingkungan serta keterbatasan cadangan sumber energi memberikan dorongan untuk mencari solusi alternatif energi lainnya yang lebih bersahabat dengan lingkungan dan memastikan penggunaan energi secara keberlanjutan. Data dari situs [ebtke.esdm.go.id](http://ebtke.esdm.go.id) mengindikasikan proyeksi cadangan minyak bumi nasional akan habis dalam sembilan tahun, gas bumi dalam 22 tahun, dan batubara dalam 65 tahun. Melihat kondisi ketersediaan sumber energi fosil yang semakin buruk, fokus penggunaan sumber energi sebagai energi listrik semakin beralih ke energi baru terbarukan (EBT), yang dianggap sebagai pilihan yang lebih berkelanjutan. Salah satu jenis EBT yang dapat diandalkan dengan melihat kondisi demografi Indonesia adalah energi hidro, yang telah dimanfaatkan sebanyak 6,4% atau setara dengan 4.826,7 MW, dengan potensi energi hidro yang belum dimanfaatkan mencapai 75.091 MW menurut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2021-2030. Pemanfaatan energi hidro tidak hanya mendiversifikasi sumber energi fosil, tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan lingkungan. Dengan mengandalkan aliran air sebagai sumber energi, energi hidro berperan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan menyajikan solusi bersih dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di masa depan. Dengan terus mengeksplorasi potensi EBT, diharapkan dapat mempercepat peralihan menuju sumber daya energi yang lebih berkelanjutan, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, dan meredakan dampak negatif terhadap lingkungan.

Penggunaan energi hidro tidak lepas dari berbagai permasalahan yang menghambat optimasi operasi pembangkitan energi listrik untuk mencapai energi listrik optimal. Salah satu hambatan terbesarnya yaitu ketergantungan pada kondisi alam yang mempengaruhi pola debit air masukan. Pola debit air masukan waduk termasuk dalam siklus hidrologi. Terdapat 3 skenario siklus hidrologi dalam pola pengoperasian waduk yaitu pola normal (*existing operation policy*), pola debit air tahun kering (*Dry year flow*) di mana terjadi pada saat pola debit air masukan 0-

33,33% dari rata-rata data debit air masukan 10 tahunan, dan pola debit air tahun basah (*Wet year flow*) di mana terjadi pada saat pola debit air masukan 66,66%-100% dari rata-rata data debit air masukan 10 tahunan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Selain itu sesuai Peraturan Menteri PUPR Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan pasal 4 ayat 2, penggunaan sumber daya air pada bendungan menempatkan pembangkit listrik tenaga air pada prioritas keempat setelah penyediaan bahan baku, penyediaan air irigasi, dan pengendalian banjir. Sehingga, perlu dilakukan upaya untuk mengoptimalkan penggunaan sumber energi yang tersedia menjadi energi listrik yang lebih besar. Peningkatan kecil dalam operasi sistem bendungan, akan terjadi peningkatan efisiensi yang dapat dimanfaatkan untuk produktifitas lainnya sesuai jenis penggunaannya (Tayebiyon dan Mohammad, 2016).

Salah satu bentuk pengoptimalan penggunaan sumber energi hidro untuk energi listrik adalah penerapan pembangkit hidro dengan skema kaskade aliran sungai. Pembangkit hidro skema kaskade memanfaatkan sumber energi air (energi potensial) secara berkelanjutan dimana debit air keluaran dari turbin pembangkit hidro pada sisi hulu dimanfaatkan sebagai debit air masukan untuk penggerak turbin pada pembangkit hidro selanjutnya. Keunggulan skema kaskade ini tidak hanya terletak pada peningkatan efisiensi energi hidro, tetapi juga pada kemampuannya mengatasi fluktuasi debit air dengan menyediakan stabilitas pembangkitan energi listrik. Salah satu aliran sungai di Indonesia yang dimanfaatkan untuk pembangkit hidro sistem kaskade yaitu Wilayah Sungai (WS) Brantas. WS Brantas dimanfaatkan untuk membangkitkan 4 (empat) Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang tersusun secara seri dengan urutan dari hulu ke hilir yaitu PLTA Senguruh, PLTA Sutami, PLTA Wlingi, dan PLTA Lodoyo.

Karakteristik energi hidro yang dimanfaatkan untuk menjadi energi listrik adalah ketinggian air (energi potensial) dan debit air. Energi potensial diukur dari perbedaan ketinggian antara sumber air dan lokasi turbin pembangkit hidro. Debit air mengacu pada jumlah air yang melewati turbin untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan adalah besar debit air terhadap besar energi potensialnya. Pada perhitungan yang spesifik, efisiensi keseluruhan menjadi faktor penting yang berpengaruh terhadap total energi listrik yang dihasilkan. Efisiensi keseluruhan mencerminkan sejauh mana pembangkit hidro mampu mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Pembangkit hidro yang memiliki

efisiensi yang tinggi, membutuhkan lebih sedikit debit air untuk menghasilkan energi listrik yang sama. Sehingga, dengan kapasitas sumber energi hidro yang sama mampu menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Pentingnya efisiensi menjadi semakin nyata untuk pembangkit hidro dengan lebih dari satu unit (*multiunit*). Pemilihan prioritas unit yang beroperasi berdasarkan efisiensi tertinggi akan dapat memberikan dampak terhadap total capaian produksi pembangkit. Unit dengan efisiensi tinggi diutamakan sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar dengan pemanfaatan debit air yang lebih rendah (Gulliver & Arndt, 1991). Dengan strategi ini, keseluruhan produksi pembangkit dapat dioptimalkan, mencapai tingkat efisiensi maksimum dan memanfaatkan sebanyak mungkin energi hidro yang tersedia.

Pola operasi PLTA Kaskade WS Brantas direncanakan dengan pendekatan terpisah yang mempertimbangkan perhitungan debit air masukan, kapasitas tampungan waduk, serta debit air keluaran pada setiap PLTA. Dalam pola operasi ini, setiap pembangkit listrik memiliki perhitungan khusus untuk jumlah air yang masuk (*inflow*), kapasitas waduk yang digunakan sebagai penyimpanan air, dan jumlah air yang keluar (*outflow*) sesuai dengan kebutuhan operasional masing-masing PLTA. Pendekatan terpisah ini memungkinkan perencanaan yang lebih terperinci dan disesuaikan dengan karakteristik dan kebutuhan unik dari setiap pembangkit listrik dalam sistem Kaskade WS Brantas.

Analisa optimasi pengaturan PLTA sistem kaskade dapat mempermudah penyelesaian masalah yang sering terjadi dalam pengoperasian PLTA di lapangan. Dengan memiliki model operasi yang optimal, operator pembangkit dapat mengembangkan strategi operasional pembangkit yang sesuai dengan tinggi muka air saat ini, kondisi hidrologi, dan kebutuhan air sepanjang tahun. Hal ini dapat dicapai melalui peningkatan referensi pengoperasian pembangkit dengan memanfaatkan informasi yang tersedia, memperhitungkan kondisi iklim dan hidrologi yang diprediksi, serta mengadopsi teknologi komputasi terkini. Analisa optimasi pengaturan PLTA sistem kaskade dengan mengintegrasikan data aktual dengan formulasi optimasi menggunakan teknologi komputasi optimasi seperti *Solver* pada aplikasi *Microsoft Excel* untuk mendapatkan pola pengaturan pembangkit yang optimum guna mencapai nilai *Cascade Effectiveness* tertinggi.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Bagaimana formulasi optimasi pengaturan pembangkit PLTA Kaskade WS Brantas sehingga tercapai produksi energi listrik PLTA tertinggi pada periode tahun Desember 2022 sampai dengan November 2023?
2. Berapa persentase kenaikan *Cascade Effectiveness* PLTA Kaskade WS Brantas dengan optimasi pengaturan PLTA sistem kaskade dibanding kondisi *existing* pada periode tahun Desember 2022 sampai dengan November 2023?
3. Bagaimana potensi produksi PLTA Kaskade WS Brantas pada periode tahun Desember 2023 sampai dengan November 2024 energi listrik berdasarkan Rencana Tahun Operasi Waduk (RTOW) tahun 2023/2024 dalam analisis optimasi pengaturan PLTA sistem kaskade?

## 1.3. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus bahasan, penelitian ini akan membatasi ruang lingkup masalah dengan merumuskan beberapa batasan. Batasan-batasan tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi generator untuk perhitungan energi yang diproduksi (*gross*) oleh PLTA.
2. *Head* yang digunakan adalah data *gross head* yaitu beda elevasi waduk dengan elevasi *tailrace*.
3. Data performansi pembangkit yang digunakan untuk menentukan model matematis optimasi pembangkit adalah data *commissioning* pembangkit.

## 1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan formulasi optimasi pengaturan pembangkit PLTA Kaskade WS Brantas sesuai karakteristik energi hidro pada periode tahun Desember 2022 sampai dengan November 2023
2. Mengetahui persentase kenaikan *Cascade Effectiveness* PLTA Kaskade WS Brantas dengan optimasi pengaturan PLTA sistem kaskade terhadap kondisi *existing* pada periode tahun Desember 2022 sampai dengan November 2023

3. Memprediksi produksi PLTA kondisi optimum pada periode tahun Desember 2023 sampai dengan November 2024 berdasarkan Rencana Tahun Operasi Waduk (RTOW) tahun 2023/2024.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat bagi peneliti
  - a. Mengevaluasi hasil studi dan menerapkan hasil studi dalam aplikasi industri
  - b. Memahami alur proses pembangkitan hidro sistem kaskade untuk mencapai nilai optimum pada kondisi debit air yang bervariasi
  - c. Memahami metode *non linier programming* untuk memprediksi debit air pada kurun waktu tertentu sesuai kebutuhan pembangkit listrik
2. Manfaat bagi universitas
  - a. Memperkaya studi tentang optimasi
  - b. Menjadi referensi untuk penelitian berikutnya yang berkaitan dengan optimasi
3. Manfaat bagi PT PLN Nusantara Power UP Brantas
  - a. Dapat memberikan referensi operator untuk perencanaan pembangkitan PLTA Kaskade sungai Brantas antara lain PLTA Sengguruh, PLTA Sutami, PLTA Wlingi, dan PLTA Lodoyo untuk mencapai *cascade effectiveness* optimum.
  - b. Dapat meningkatkan perencanaan pemeliharaan PLTA melalui nilai prediksi produksi PLTA pada kondisi pola debit air tahun tertentu.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Secara umum sistematika penulisan skripsi ini dapat diuraikan secara ringkas yaitu sebagai berikut :

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi gambaran secara umum tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Bab ini membahas tentang teori-teori yang melandasi dan memperkuat penelitian yang di ambil dari buku, literatur, jurnal ilmiah ataupun penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

### BAB III METODE PENELITIAN

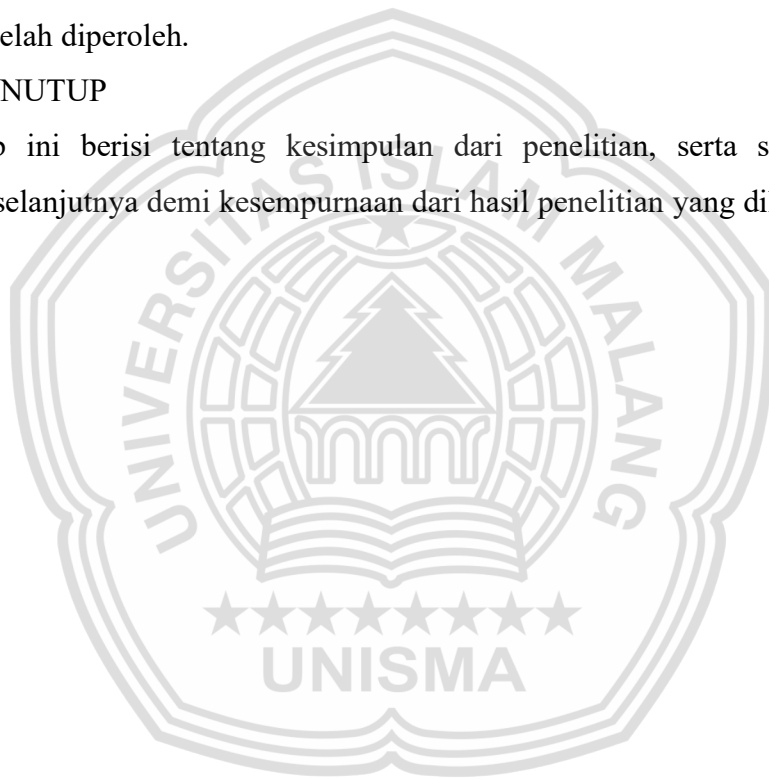
Bab ini membahas tentang langkah-langkah sistematis yang ditempuh dalam mengerjakan penelitian ini. Hal ini bertujuan agar dalam metode pengambilan data, pengumpulan data, diagram alir (*flowchart*) penelitian, dan pengolahan data hasil dari eksperimen menjadi lebih terarah.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil dari pelaksanaan penelitian dan analisis data yang telah diperoleh.

### BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian, serta saran untuk penelitian selanjutnya demi kesempurnaan dari hasil penelitian yang dilakukan.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Sistem optimasi pembangkit yang disimulasikan pada PLTA Kaskade WS Brantas memberikan gambaran mengenai implementasi optimasi pembangkit dapat meningkatkan produksi pembangkit dan *Cascade Effectiveness*. Berikut hasil yang diperoleh dari analisa studi kasus ini antara lain:

1. Formulasi optimasi pengaturan pembangkit PLTA Kaskade WS Brantas untuk mencapai produksi energi listrik PLTA tertinggi meliputi pengaturan elevasi/Tinggi Muka Air (TMA) akhir dekade pada periode Desember 2022, Januari 2023, periode Februari 2023 dekade 2 dan 3, periode Maret 2023, periode April 2023 dekade 1 dan 2, periode Agustus 2023, periode September 2023, periode Oktober 2023, dan periode November 2023 dan pengaturan pembebanan dan waktu operasi masing-masing PLTA Kaskade WS Brantas meliputi beban minimal dan maksimal pembangkit serta waktu operasi pembangkit pada saat *Peak* dan *Off-Peak* dengan tujuan mendapatkan produksi pembangkit tertinggi dengan volum air keluaran yang setara dengan potensi air yang dapat dimanfaatkan untuk menjadi energi listrik.
2. Dengan diterapkan optimasi pembangkit PLTA Kaskade WS Brantas, produksi energi listrik berpotensi tercapai sebesar 951,796,287 kWh atau meningkat 7,11% dari kondisi riil pada periode Desember 2022 sampai dengan November 2023 dengan peningkatan pemanfaatan potensi air sehingga potensi air yang tidak dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi listrik (air limpas) dapat diminimalisir hingga 92,40% atau 551,61 Juta m<sup>3</sup> volum air pada Waduk Sengguruh, Waduk Sutami, dan Waduk Wlingi. Hal ini berdampak terhadap kenaikan *Cascade Effectiveness* pada PLTA Kaskade WS Brantas sebesar 2,87% atau 0,003 kWh/m<sup>3</sup>.
3. Dengan menerapkan formulasi optimasi pengaturan pembangkit yang telah dirancang dan diterapkan pada periode Desember 2022 sampai dengan November 2023. maka produksi energi listrik PLTA Kaskade WS Brantas pada periode Desember 2023 sampai dengan November 2024 dapat diprediksi. Prediksi produksi PLTA Kaskade WS Brantas pada periode Desember 2023

sampai dengan November 2024 sesuai Rencana Tahun Operasi Waduk (RTOW) tahun 2023/2024 berpotensi tercapai sebesar 843,534,036 kWh.

## 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengujian hasil simulasi pada kondisi riil untuk mengetahui tingkat kesalahan (*error*) pada sistem optimasi pembangkit yang telah dibangun.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisa model matematis yang bersifat dinamis agar hasil optimasi dapat lebih akurat dan dapat diaplikasikan secara riil sebagai referensi operator pembangkit dalam mengoperasikan pembangkit PLTA Kaskade WS Brantas.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adhistana, Dio Dika. 2017. *Rencana Pengoperasian yang Optimum pada Potensi Air Waduk Selorejo untuk Pembangkit Listrik dan Irigasi*. Tugas Akhir Terapan Program Studi Diploma IV Lanjut Jenjang. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Asfaw, Tilabun Derib, Saiedi, Saied. 2011. *Optimal Short-term Cascade Reservoirs Operation using Genetic Algorithm*. Asian Journal of Applied Sciences 4 (3), 297-305.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *Standar Nasional Indonesia SNI 6738:2015 Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Chandrakantha, L. 2008. *Using Excel Solver in optimization problems*. Mathematics and Computer Science Department.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1995. *Bendungan Besar di Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. *Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 360/KPTS/M/2004 tentang Pengoperasian Waduk Tunggal*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. *Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 360/KPTS/M/2004 tentang Pengoperasian Waduk Kaskade Berpola Listrik – Listrik -Multiguna*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Fauzi, Imron, Apriyanto, Adhi Eko, Wisyaldin, M. Kamal, Rachmad, Akbar. 2022. *Optimasi Produksi PLTA Kaskade Sungai Konto (Selorejo-Mendalan-Siman) Melalui Tools Analitik Hydroopt*. Malang: PT Pembangunan Jawa Bali.
- Firdaus, Muhamad. 2010. *Penentuan Beban Optimal pada Turbin Gas PLTGU dengan Menggunakan Nonlinier Programming*. Skripsi Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Fylstra, D., L. Lasdon, J. Watson & A. Waren. 1998. *Design and use of the Microsoft Excel Solver*. Interfaces 28(5): 29-55.
- Gulliver, John S. & Arndt, Roger E. A. 1991. *Hydropower Engineering Handbook*. New York: Mc-Graw Hill, Inc.
- Grygier, J. C. & J. R. Stedinger. 1985. *Algorithms for optimizing hydropower system operation*. Water Resources Research 21(1): 1-10.
- Hanafi, Diana. 2020. *Studi Optimasi Operasional Waduk Koto Panjang untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik. Pekanbaru: Universitas Islam Pekanbaru.
- Loucks, Daniel P & Beek, Eelco van. 2017. *Water Resources Systems Planning and Management*. Swiss: Springer Nature.

- Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Airlangga.
- Mays, Larry W, Tung, You-Koung. 1992. *Hydrosystems Engineering and Management*. New York: Mc-Graw Hill, Inc.
- Mullick, Md Reaz A, Babel, Mukand S, Yudianto, Doddi, Prasad, Krishna C, Perret, Sylvain R, Trieko, Robertus W, Wahid, Shahriar M. 2015. *Optimal system operation of the drops-cascading Konto System, Indonesia*. Journal of Applied Water Engineering and Research Vol 3 No 2, 105-121.
- Nurkholis. 2019. *Optimasi Pengaturan Pembangkit Listrik Hidro-Termal dengan Fluktuasi Debit Air*. Tesis Program Magister Bidang Keahlian Rekayasa Energi Terbarukan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Perum Jasa Tirta I. 2023. *Laporan Interim Kajian Kapasitas Tampung Waduk dalam rangka Pengelolaan Sedimentasi Wilayah Sungai (WS) Brantas 2022*. Malang: PT Tata Cipta Utama Engineering Consultant
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Kontruksi. 2017. *Modul Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air*. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Kontruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia.
- Ragsdale, C. T. 2015. *Spreadsheets Modeling and Decision Analysis 5e*. Stamford: South-Western Publishing.
- Tayebiyani, Aida & Mohammad, Thamer Ahmad. 2016. *Optimization of cascade hydropower system operation by genetic algorithm to maximize clean energy output*. Environmental Health Engineering and Management Journal, 3(2), 99–106.
- Winasis, W., et al. 2013. *Optimasi Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan Linear Programming Dengan Batasan Ketersediaan Air*. Dinamika Rekayasa 9(2): 62-67.

