



OPTIMASI OPERASIONAL BENDUNGAN LEUWIKERIS BERBASIS NILAI MANFAAT

Herianto¹, Novia Komala Sari², Sundari Fauziah³, Pengki Irawan⁴, Asep Kurnia Hidayat⁵

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Siliwangi Kota Tasikmalaya
e-mail: sundarifauziah08@gmail.com¹

ABSTRAK

Sungai Citanduy memiliki luas 48.000 ha dengan ketersediaan air sebesar 5,30 milyar m³/tahun atau setara dengan 170 m³/detik. Berdasarkan rencana penyediaan air Wilayah Sungai Citanduy tahun 2014 kebutuhan untuk irigasi, RKI (Rumah tangga, Kota, dan Industri) dan kebutuhan lainnya memiliki total 86,73 m³/detik, namun yang dapat terpenuhi hanya 78,30 m³/detik. Bendungan Leuwikeris diharapkan dapat memenuhi penyediaan air irigasi seluas 11.216 ha, air baku 0,845 m³/detik dan PLTA sebesar 20 MW, oleh karena itu diperlukan studi pola operasi waduk untuk mengetahui pola operasi yang paling optimal terhadap *water supply* dan produksi listrik berdasarkan nilai manfaatnya. Studi ini diawali dengan melakukan pembangkitan data debit PDA Cirahong selama 50 tahun, data diolah untuk mendapatkan besar debit waduk serta kebutuhan air untuk air irigasi, air baku dan potensi PLTA, diakhiri dengan optimasi dan simulasi pola pengoperasian waduk. Hasil analisis yang didapat dari pembangkitan data tahun 2022-2072, didapatkan nilai debit terbesar 197,171 m³/detik dan terkecil 14,002 m³/detik. Besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk padi pada awal tahun pengoperasian (2024) sebesar 28,294 m³/detik dan palawija sebesar 11,769 m³/detik, kebutuhan air baku 10,49 m³/detik, dan kebutuhan air PLTA pada kondisi minimal sebesar 18,67 m³/detik dengan daya sebesar 9 MW dan pada kondisi maksimal sebesar 39,414 m³/detik yang menghasilkan daya sebesar 19 MW.

Kata Kunci : Pola operasi, *water supply*, nilai manfaat.

ABSTRACT

Citanduy River has an area of 48,000 ha with a water availability of 5.30 billion m³/year or the equivalent of 170 m³/second. Based on the 2014 Citanduy River Basin water supply plan, the need for irrigation, RKI (Household, City, and Industry) and other needs has a total of 86,73 m³/second, but only 78.30 m³/second can be fulfilled. Leuwikeris dam is expected to provide irrigation water of 11,216 ha, raw water of 0.845 m³/second and hydropower of 20 MW, therefore a study of reservoir operation patterns is needed to determine the most optimal operating pattern for water supply and electricity production based on the value of its benefits. This study begins with generating PDA Cirahong discharge data for 50 years, the data is processed to obtain the reservoir discharge and irrigation water requirements, raw water and hydropower potential, ending with optimization and reservoir operation patterns simulation. The analysis results obtained from data generation in 2022-2072, the largest discharge value is 197,171 m³/second and the smallest is 14,002 m³/second. The maximum irrigation water requirement for rice at the beginning of the operating year (2024) is 28,294 m³/second and for secondary crops 11,769 m³/second, raw water needs is 10,49 m³/second, and hydropower water needs at a minimum condition of 18,67 m³/second with a power of 9 MW and at a maximum condition of 39,414 m³/second which produces a power of 19 MW.

Keywords: *Operation patterns, water supply, benefit value.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu bendungan yang saat ini sedang dibangun yaitu Bendungan Leuwikeris yang terletak di provinsi Jawa Barat, tepatnya berjarak ± 135 km dari kota Bandung, ± 23 km dari kota Tasikmalaya, ± 19 km dari kota Banjar. Bendungan Leuwikeris berada pada posisi 108°23'43.00" BT dan 07°21'42.00" LS. Secara administratif, Bendungan Leuwikeris berada pada dua wilayah Kabupaten, yaitu



Kabupaten Ciamis dan Kabupaten Tasikmalaya. Bendungan Leuwikeris dibangun dengan membendung sungai Citanduy yang memiliki hulu sungai di pegunungan Cakrabuana dan hilir sungai di Kabupaten Cilacap.

Sungai Citanduy memiliki luas 48.000 ha dengan ketersediaan air sebesar 5,30 milyar m^3 /tahun atau setara dengan debit sebesar 170 m^3 /detik. Berdasarkan rencana penyediaan air Wilayah Sungai Citanduy pada tahun 2014 kebutuhan air untuk irigasi, RKI (Rumah Tangga, Kota, dan Industri) dan kebutuhan lainnya memiliki total 86,73 m^3 /detik. Namun kebutuhan air yang dapat terpenuhi hanya 78,30 m^3 /detik [1].

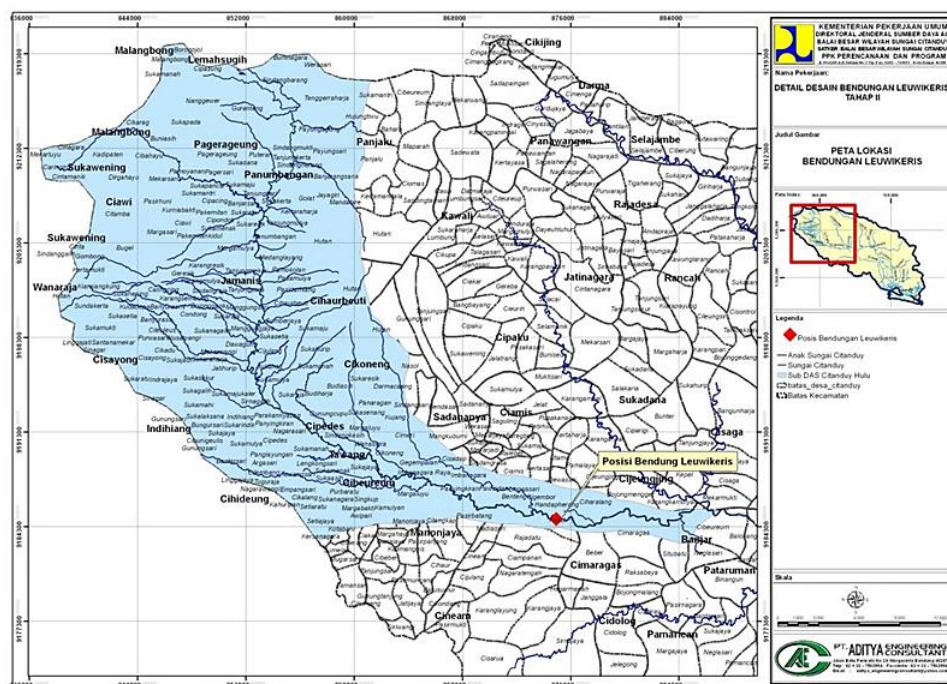
Bendungan Leuwikeris direncanakan memiliki tujuan untuk mengairi daerah irigasi seluas 11.216 ha, menyediakan air baku sebesar 845 liter/detik, mereduksi banjir periode 25 tahunan sebesar 11,7% dari 509,7 m^3 /detik menjadi 450,02 m^3 /detik, serta menghasilkan daya listrik sebesar 20 megawatt.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi operasional bendungan berbasis nilai manfaat sebagai salah satu dasar perencanaan bendungan terhadap ketersediaan air pada kurun waktu 50 tahun sesuai dengan usia guna waduknya dengan melakukan pembangkitan data debit PDA Cirahong.

2. Metodologi Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Bendungan Leuwikeris yang terletak di provinsi Jawa Barat, tepatnya berjarak \pm 135 km dari kota Bandung, \pm 23 km dari kota Tasikmalaya, \pm 19 km dari kota Banjar. Secara administratif, lokasi Bendungan Leuwikeris berada pada dua Wilayah Kabupaten yaitu Kabupaten Tasikmalaya dan Kabupaten Ciamis.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



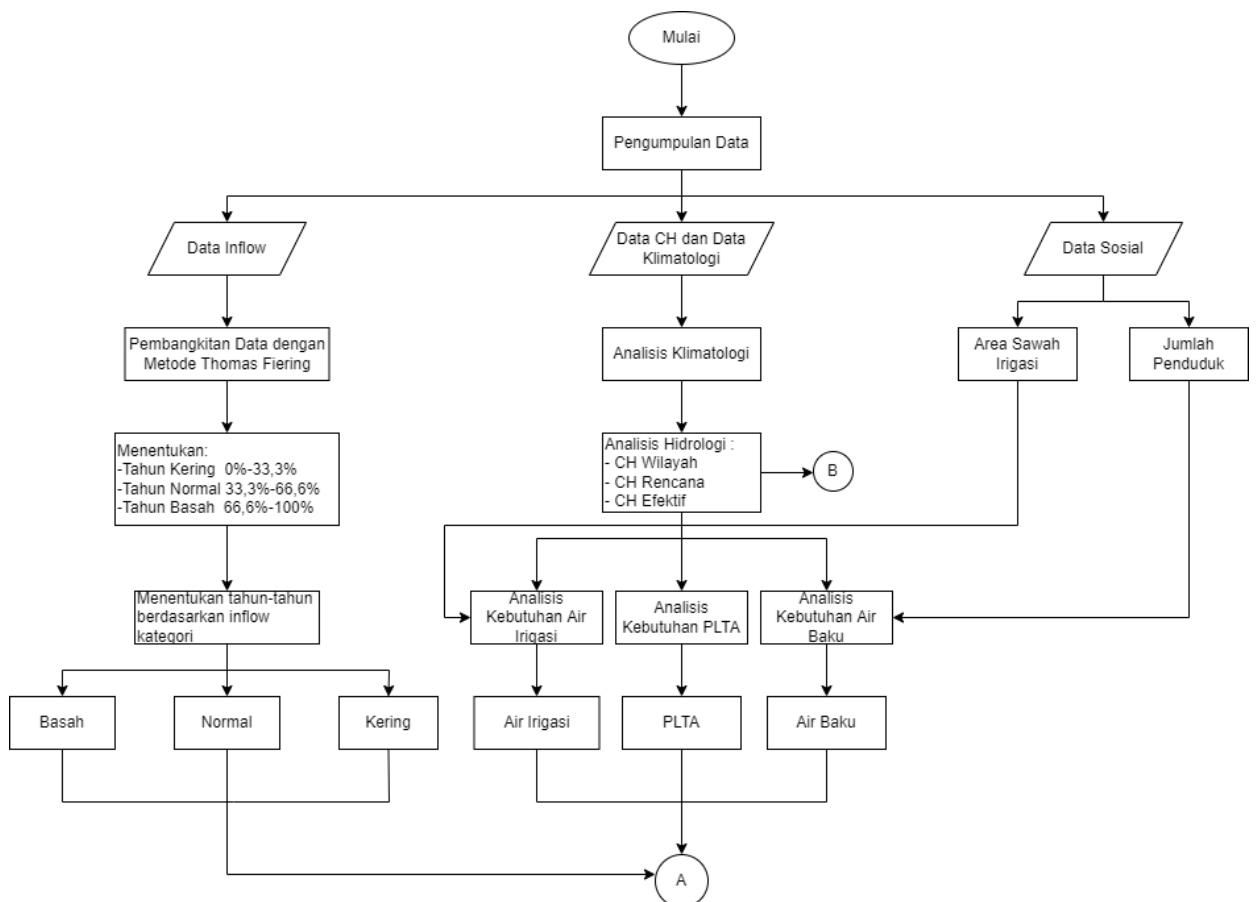
Teknik Pengumpulan Data

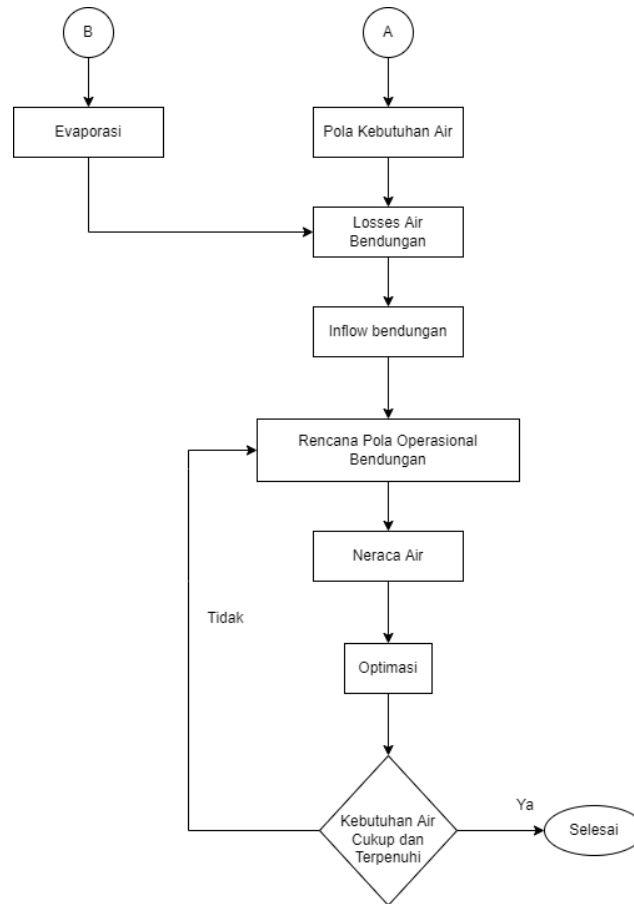
Data penelitian diperoleh dari beberapa instansi diantaranya, Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citanduy, Badan Pusat Statistik Kabupaten Ciamis, ataupun hasil penelitian sebelumnya yang diolah kembali. Berikut ini data yang digunakan untuk keperluan analisis.

1. Debit PDA Cirahong tahun 2007-2018.
2. Data curah hujan PCH Ciamis, Cineam, Tejakalapa.
3. Data luas daerah irigasi Bendungan Leuwikeris.
4. Data jumlah penduduk Kecamatan Karangjaya, Lakkok, Pamarican, Cimaragas, Banjar, Purwahaerja, Pataruman, Langensari.
5. Data tampungan Bendungan Leuwikeris.
6. Data teknik perencanaan
7. Bendungan.

3. Analisis Dan Pembahasan

Analisis Data





Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Analisis Inflow Kategori

Pada tahapan ini, analisis menggunakan data dari BMKG untuk penentuan kategori tahun kering, tahun normal dan tahun basah[2]. Data tersebut akan diolah kembali sehingga dapat ditentukan tahun berdasarkan kategori *inflow*, yaitu *inflow* pada saat kondisi basah, normal, dan kering. Adapun tahapan perhitungan debit inflow sebagai berikut:

1. Kumpulkan data debit dengan interval waktu sesuai tujuan perhitungan.
2. Data debit yang ada kemudian diperpanjang sesuai usia guna waduk.
3. Menghitung nilai bilangan random uniform dan bilangan random normal.
4. Menghitung debit bangkitan dengan menggunakan metode Thomas Fiering[3].
5. Setelah itu, akan dilakukan uji validitas dan uji homogenitas data.

Uji Validitas

Metode yang digunakan adalah *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) ini menunjukkan seberapa baik plot nilai *observasi* dibandingkan dengan nilai prediksi-simulasi, dengan rentang nilai hingga satu. Dengan kata lain, semakin hasil mendekati angka satu, maka semakin baik nilai NSE. Adapun rumus yang digunakan yaitu[4].

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (X_i - Y_i)^2}{(X_i - \bar{x}_i)^2}$$

Dimana:

- X_i = data observasi (data aktual).
 Y_i = hasil simulasi data.
 \bar{X}_i = rata-rata data observasi.
 N = jumlah data.



Kriteria untuk NSE disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 0.1 Kriteria Nilai NSE

NSE Value	Interpretation
$NSE > 0,75$	<i>Good</i>
$0,36 < NSE < 0,75$	<i>Qualified</i>
$NSE < 0,36$	<i>Not Qualified</i>

Uji Homogenitas

Metode yang digunakan adalah *T-test* dan *F-test*, dimana uji statistik T menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel independen secara individual dalam menerangkan variasi variabel dependen. Berbeda dengan Uji F biasa digunakan untuk membandingkan dua atau lebih perlakuan data, yang masing-masing perlakuannya dilakukan ulangan. Uji F digunakan untuk menguji keberartian model regresi yang digunakan[5].

Analisis Klimatologi dan Hidrologi

Analisis penguapan pada bendungan memerlukan data klimatologi dan hidrologi. Penguapan berperan sebagai salah satu outflow pada analisis neraca air bendungan. Dalam hidrologi, penguapan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu evaporasi dan transpirasi. Analisis evaporasi (E_0) menggunakan rumus Herbeck (1962) yaitu[6].

$$E = N \times u \times (e_a - e_d)$$

$$N = \frac{0,0291}{A^{0,05}}$$

Dimana,

E = Evaporasi (cm/hari)

U = kecepatan angin pada jarak 2 m di atas permukaan air (m/detik)

e_a = tekanan uap jenuh (mbar)

e_d = tekanan uap udara (mbar)

A = luas permukaan danau (m^2)

Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Data yang diperlukan untuk kebutuhan air irigasi diantaranya adalah luas tanam dan kebutuhan air irigasi pada lahan pertanian (NFR). Waduk Leuwikeris mempunyai tujuan untuk mengairi lahan pertanian seluas 11.216 ha. Kebutuhan air irigasi dianalisis dengan menggunakan rumus[7].

$$KAI = \frac{(Etc + IR + WLR + P - Re)}{IE} \times A$$

Dimana:

KAI = Kebutuhan air irigasi (lt/s)

IR = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)

Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

WLR = Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

Re = Hujan efektif

IE = Efisiensi irigasi (%)

A = Luas areal irigasi (ha)

Analisis Kebutuhan Air Baku

Analisis kebutuhan air menggunakan data yang sekunder berupa jumlah penduduk yang berasal dari Badan Pusat Statistik (BPS) [8] serta hasil analisis hidrologi. Perhitungan air



baku dilakukan selama 50 tahun sesuai dengan pembangkitan debit. Proyeksi jumlah penduduk dilakukan dengan menggunakan metode geometrik.

$$P_n = P_o \cdot (1+r)^n$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk n tahun yang akan datang.

P_o = Jumlah penduduk pada akhir tahun data.

r = Angka pertumbuhan penduduk (%).

Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung jumlah kebutuhan air baku yaitu[9].

$$Q = P_n \times q$$

Keterangan:

Q = Kebutuhan air baku.

P_n = Jumlah penduduk terlayani (jiwa).

q = Debit keluaran individu.

Analisis PLTA

Daya listrik bisa didapat dengan menggunakan persamaan[10].

$$P = \rho \cdot G \cdot H_{eff} \cdot Q \cdot \eta$$

Keterangan:

P = Daya listrik (KW)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/detik^2)

H_{eff} = Tinggi jatuh efektif (m)

Q = Debit (m^3/detik)

η = Efisiensi turbin

Analisis Neraca Air

Persamaan dasar simulasi neraca air di bendungan merupakan fungsi dari masukan, keluaran, dan tampungan bendungan [2].

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

Keterangan:

I = Debit masuk (m^3/detik).

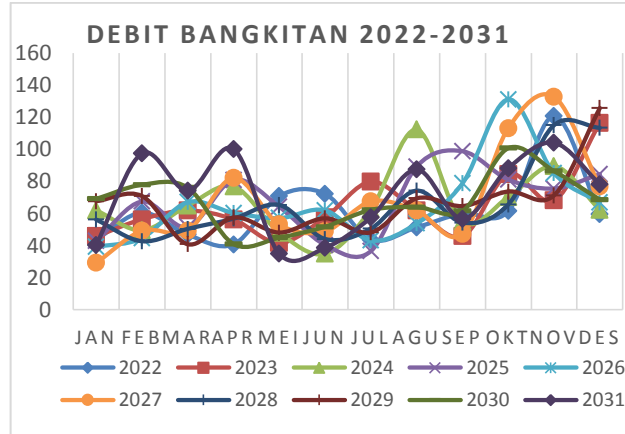
O = Debit keluar (m^3/detik).

$\frac{ds}{dt}$ = ΔS = adalah perubahan tampungan (m^3/detik).

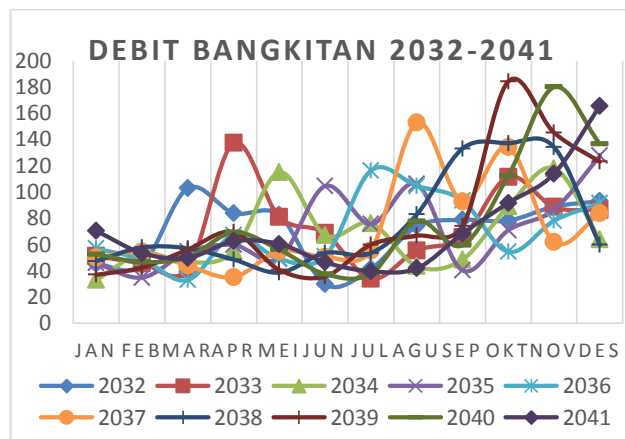
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Inflow

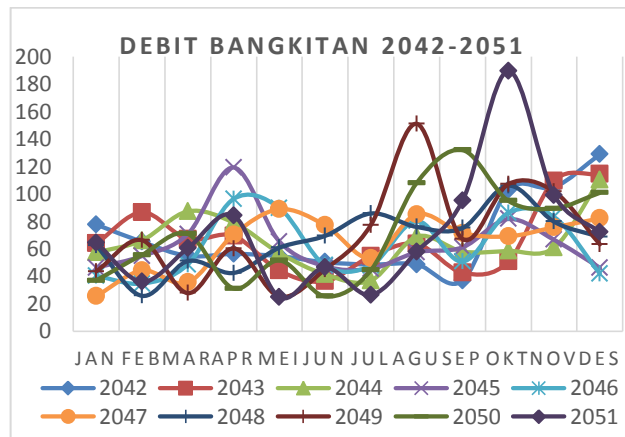
Perhitungan debit digunakan data sekunder berupa data debit dari PDA Cirahong dengan data interval waktu selama 11 tahun yang didapat dari BBWS Citanduy. Perhitungan *inflow* dilakukan dengan membangkitkan data sepanjang 50 tahun dengan metode Thomas Fiering. Data hasil pembangkitan diuji dengan uji validitas *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dan homogenitas dengan uji-F dan uji-T. Dari hasil pengujian diperoleh nilai NSE 0,38 yang berarti data *qualified*.



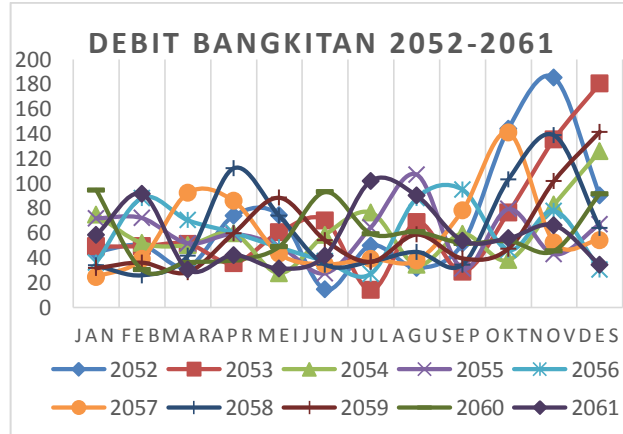
Gambar 0-1 Grafik Debit Bangkitan 2022-2031



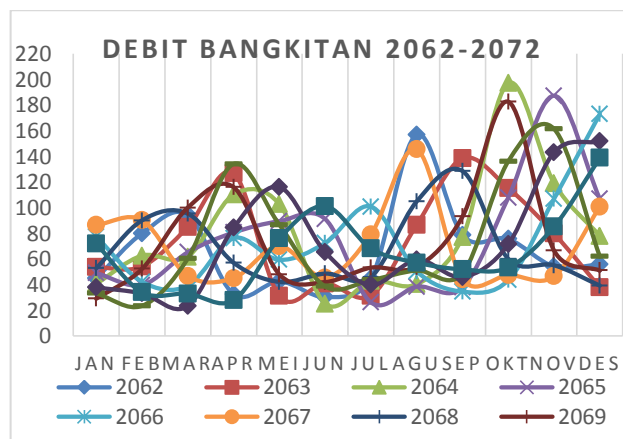
Gambar 0-2 Grafik Debit Bangkitan 2032-2041



Gambar 0-3 Grafik Debit Bangkitan 2042-2051



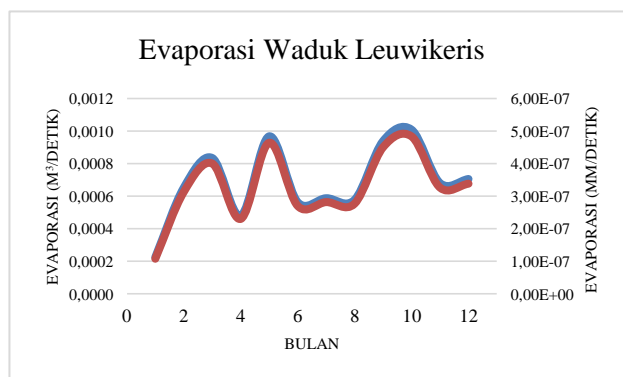
Gambar 0-4 Grafik Debit Bangkitan 2052-2061



Gambar 0-5 Grafik Debit Bangkitan 2062-2072

Evaporasi

Perhitungan evaporasi digunakan dalam perhitungan neraca air Bendungan Leuwikeris. Perhitungan evaporasi dilakukan dengan menggunakan rumus Herbeck (1962). Hasil perhitungan evaporasi Bendungan Leuwikeris disajikan dalam grafik evaporasi pada Gambar III-6.



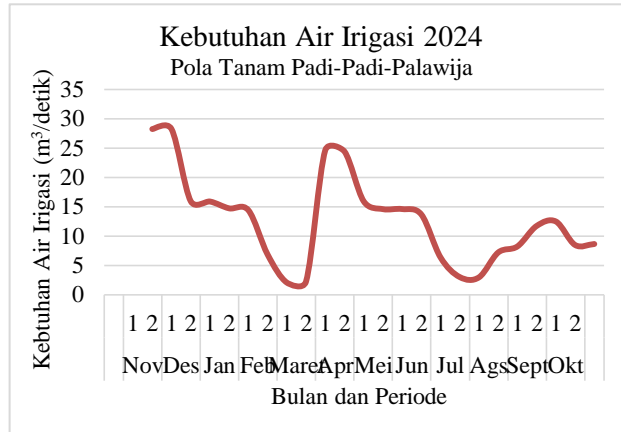
Gambar 0-6 Grafik Evaporasi Bendungan Leuwikeris

Kebutuhan Air Irigasi

Setiap tanaman memiliki kebutuhan air dan masa tanam yang berbeda. Selain itu keterbatasan debit air yang tersedia mengakibatkan tidak semua tanaman dapat diairi.



Agar air yang dibutuhkan lebih efisien, maka diperlukan pengaturan pola tanam dan jadwal tanam yang tepat.



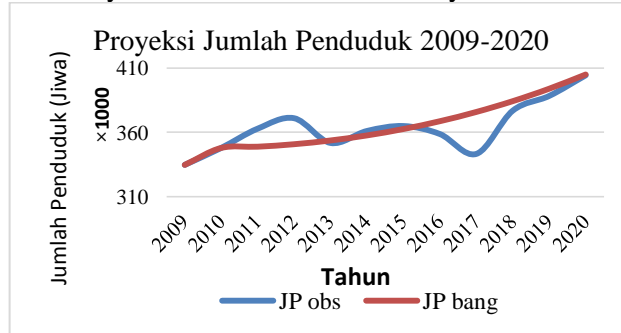
Gambar 0-7 Grafik Kebutuhan Air Irigasi 2024

Kebutuhan Air Baku

Perhitungan proyeksi jumlah penduduk diperlukan untuk mengetahui kebutuhan air baku bagi masyarakat wilayah Kabupaten Tasikmalaya, Kabupaten Ciamis, dan Kota Banjar sesuai dengan tahun proyeksi pengoptimalan waduk. Didapat laju pertumbuhan di wilayah tersebut sebesar 0,277% dan proyeksi dihitung dengan metode geometrik.



Gambar 0-8 Proyeksi Jumlah Penduduk Wilayah Penerima Air Baku



Gambar 0-9 Grafik Uji Validitas Jumlah Penduduk

Produksi PLTA

Air yang tersedia di Waduk Leuwikeris juga dapat digunakan untuk menghasilkan listrik melalui PLTA. Air yang digunakan untuk memutar turbin PLTA memanfaatkan debit dari Bendungan Leuwikeris. Debit andalan yang dipakai adalah Q_{80}



yang berarti tingkat kegagalan dari ketersediaan air untuk memutar turbin sebesar 20%. Berdasarkan data teknis Bendungan Leuwikeris, diketahui bahwa daya yang akan dihasilkan sebesar 20 MW. Berdasarkan data teknis bendungan juga, turbin yang dipilih adalah turbin Francis. Pemilihan ini dipengaruhi juga karena pengoperasiannya yang mudah. Adapun Spesifikasi dari Turbin Francis, efisiensi turbin, $\eta = 91\% = 0,91$ [3] dengan Tekanan maksimal 10 % dari Head bruto[11].

Karena diketahui bahwa daya yang dihasilkan sebesar 20 MW, maka dicari debit andalan (Q_{80}) untuk menghasilkan daya tersebut. Debit andalan yang dibutuhkan untuk membangkitkan daya sebesar 20 MW yaitu 33,191 m³/detik. Tinggi efektif untuk PLTA berada pada elevasi +142,5 m dengan elevasi *power house* +75 m dan Heff +67,5 m.

Neraca Air

Analisis neraca air ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan waduk dalam memenuhi keperluan air yang berdasarkan pada ketersediaan air dan jumlah air yang akan dikeluarkan dari waduk yaitu untuk irigasi, air baku, dan PLTA. Setelah diperoleh debit *inflow* yang berupa bangkitan dari debit PDA Cirahong dan debit *outflow* yang berupa data debit kebutuhan air irigasi, air baku dan PLTA pada analisis sebelumnya, maka tahap analisis berikutnya adalah melakukan simulasi pola operasi berdasarkan kondisi waduk.

Penentuan Prioritas

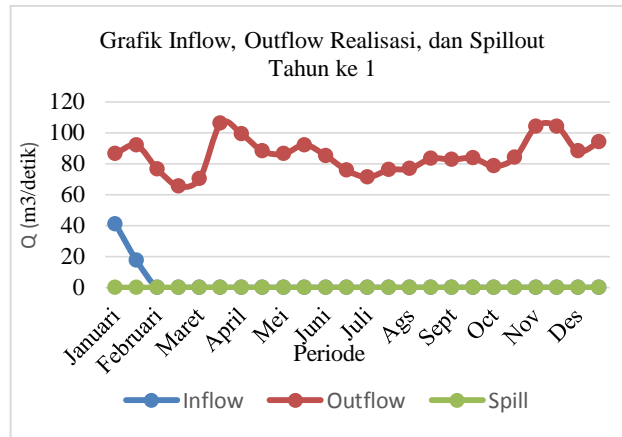
Berdasarkan data dari [12] diketahui bahwa jumlah panen padi rata rata sebesar 5,16 ton/ha dengan harga Rp.5.496.000/ton, sedangkan untuk palawija yaitu 6,7 ton/ha dengan harga Rp.6.000.000/ton. Adapun harga air baku menurut PDAM Tirta Galuh yaitu sebesar Rp.50.000/m³, dan untuk PLTA dibandrol dengan harga Rp.1.000/kwh.

Penentuan prioritas dilakukan untuk mengetahui sektor apa yang memiliki nilai manfaat paling besar. Hal tersebut bertujuan untuk optimasi waduk agar mampu memenuhi kebutuhan air. Adapun langkah - langkah yang dilakukan dalam analisis prioritas ini sebagai berikut:

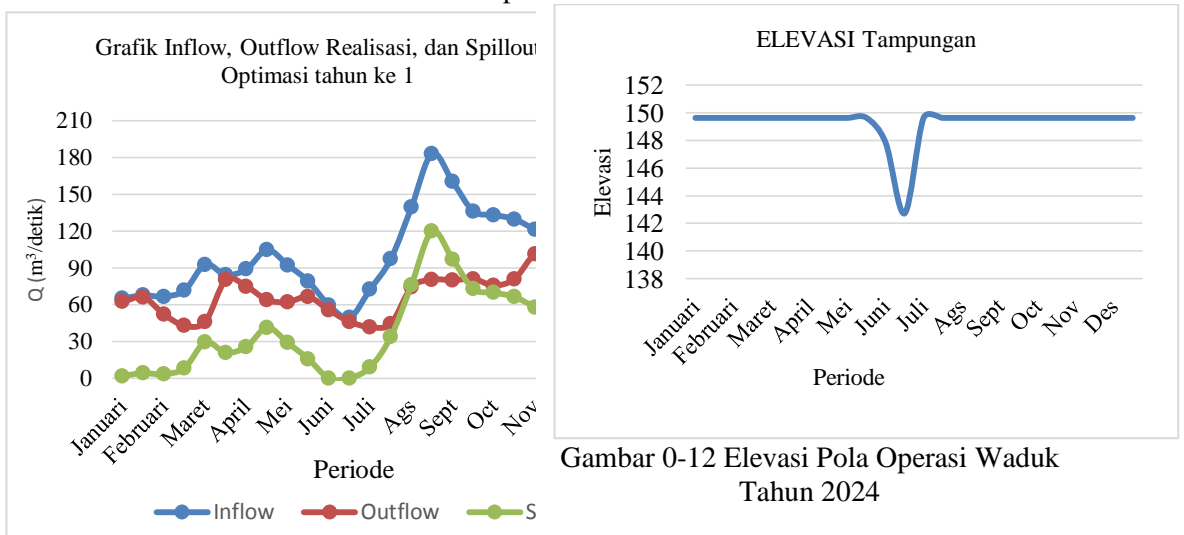
1. Mencari jumlah panen dan harga pada setiap sektor.
2. Mencari berapa kebutuhan air tiap sektor.
3. Mencari nilai keuntungan tiap sektor.
4. Menentukan kendala atau batasan parameter yang akan dianalisis.
5. Setelah didapat nilai manfaat maksimal dengan menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel yaitu solver, maka dicari nilai manfaat setiap sektor m³.

Analisis Optimasi

Permodelan optimasi digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam pemanfaatan air yang ada dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar hasil pengoptimasian dengan eksisting. Pada optimasi ini memiliki nilai suatu fungsi agar beberapa variabel yang ada menjadi maksimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada. Pengerjaan studi optimasi ini dibantu dengan *software* Microsoft Excel. Optimasi dilakukan dengan memperhatikan urutan prioritas nilai manfaat, yaitu kebutuhan irigasi, kemudian kebutuhan air baku selanjutnya untuk memenuhi kebutuhan PLTA.



Gambar 0-10 Grafik Inflow, Outflow Realisasi, dan Spillout Tahun ke 1 Sebelum Optimasi



Gambar 0-12 Elevasi Pola Operasi Waduk Tahun 2024

Gambar 0-11 Grafik Inflow, Outflow Realisasi, dan Spillout Tahun ke 1 Setelah Optimasi

Kegagalan Bendungan

Periode kritis, yang didefinisikan sebagai kelangkaan menurut kebutuhan, juga sangat penting dalam penentuan volume

waduk[13]. Perhitungan kegagalan bendungan dengan menggunakan metode alexander.

Tabel 0.1 Perhitungan Kegagalan Bendungan Menggunakan Metode Alexander

Draf t	P (%)											
	2%				5%				10%			
	C(m³/dt)	C(10 ⁶ m³)	C*(10 ⁶ m³)	CP(tahu n)	C(m³/dt)	C(10 ⁶ m³)	C*(10 ⁶ m³)	CP(tahu n)	C(m³/dt)	C(10 ⁶ m³)	C*(10 ⁶ m³)	CP(tahu n)
30 %	1,54	48,70	52,83	0,18	0,66	20,70	22,45	0,18	0,15	4,87	5,28	0,18
40 %	2,47	77,92	84,53	0,27	1,62	51,13	55,47	0,19	1,00	31,65	34,34	0,18
50 %	3,71	116,8	126,79	0,38	2,63	82,79	89,81	0,25	1,66	52,35	56,79	0,18



60 %	5,79	182,6	198,12	0,60	4,25	133,9	145,29	0,41	2,63	82,79	89,81	0,25
70 %	9,27	292,1	316,99	1,20	6,76	213,0	231,14	0,72	4,25	133,9	145,29	0,44
80 %	15,83	499,1	541,52	2,48	11,00	346,9	376,42	1,61	7,14	225,2	244,34	0,96
90 %	33,59	1059	1149,1	3,55	24,71	779,1	845,30	3,55	15,44	486,9	528,31	3,55

Kapasitas waduk untuk draft 80% probabilitas kegagalan 2% dihasilkan $541,52 \times 106 \text{ m}^3$ dan untuk probabilitas kegagalan 5% dihasilkan $376,42 \times 106 \text{ m}^3$, sedangkan untuk probabilitas kegagalan 10% dihasilkan $244,34 \times 106 \text{ m}^3$.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis maka diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Debit *inflow* waduk diperoleh dari perhitungan bangkitkan data debit untuk 50 tahun ke depan dengan metode Thomas Fiering. Hasil dari bangkitkan debit inflow, yaitu debit maksimal sebesar $197,2 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terendah adalah $14,0 \text{ m}^3/\text{detik}$.
2. Besarnya kebutuhan air irigasi dengan pola padi-padi-palawija minimal $2,1 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan maksimal $28,3 \text{ m}^3/\text{detik}$, pada awal musim tanam November I.
3. Besar kebutuhan air baku pada tahun 2024 yaitu awal pengoperasian pada keadaan normal adalah sebesar $559,73 \text{ lt/detik}$. Sedangkan besar kebutuhan air baku pada Hari Maksimum adalah sebesar $643,69 \text{ lt/detik}$. Jam puncak adalah sebesar $979,52 \text{ lt/detik}$.
4. Besar debit andalan 80% yang digunakan untuk menghasilkan daya sebesar 20 MW adalah $41,488 \text{ m}^3/\text{detik}$.
5. Hasil perhitungan neraca air pada awal tahun pengoperasian (2024), bendungan tidak cukup mempunyai kemampuan untuk memenuhi kebutuhan air. Optimasi untuk mengatasi ketidakcukupan air menghasilkan keluaran sebagai berikut:
 - a. Bulan Januari - Mei, mampu menyediakan air untuk keperluan irigasi seluas 11.216 ha, melayani kebutuhan air baku untuk 465004 jiwa, dan menghasilkan daya sebesar 11 MW.
 - b. Bulan Juni - Juli, mampu menyediakan air untuk keperluan irigasi seluas 11.216 ha, melayani kebutuhan air baku untuk 465004 jiwa, dan menghasilkan daya sebesar 9 MW.
 - c. Bulan Agustus - Desember, mampu menyediakan air untuk keperluan irigasi seluas 11.216 ha, melayani kebutuhan air baku untuk 465004 jiwa, dan menghasilkan daya sebesar 19 MW.

Berdasarkan hasil optimasi maka nilai manfaat yang didapat pada tahun ke-1 sebesar Rp411.424.004.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil perhitungan dan analisa dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jika hasil optimasi ini akan diterapkan pada wilayah studi, maka perlu dilakukan peninjauan ke lapangan untuk elevasi sawah dan daerah yang akan diairi.
2. Optimasi dilakukan setiap tahun, dengan menghitung ulang kembali prioritas berdasarkan nilai manfaat yang berlaku.
3. Penggunaan pendekatan dinamika model dengan menggunakan *software* pemodelan dinamika sistem akan membantu dalam melakukan simulasi operasi waduk.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Citanduy, "Data Sungai Citanduy," 2015.
- [2] Kementerian PUPR, "Modul Operasi Waduk Pelatihan Alokasi Air," in *Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air Konstruksi*, 8th ed., Kementrian PUPR, 2017, p. 67.
- [3] M. Fachrurrozi, "Di Kabupaten Trenggalek Untuk Jaringan Irigasi , Kebutuhan Air Baku , Dan Potensi," Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [4] S. Lufi, S. Ery, and R. Rispiningtati, "Hydrological Analysis of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) Data in Lesti Sub Watershed," *Civ. Environ. Sci.*, vol. 003, no. 01, pp. 018–030, 2020, doi: 10.21776/ub.civense.2020.00301.3.
- [5] Usmadi, "Pengujian Persyaratan Analisis (Uji Homogenitas dan Uji Normalitas)," *Inov. Pendidik.*, vol. 7, no. 1, pp. 50–62, 2020.
- [6] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. 2008.
- [7] S. Sosrodarsono and K. Takeda, *Bendungan Type Urugan*. 1977.
- [8] Badan Pusat Statistik, "Data Jumlah Penduduk," 2009.
- [9] I. P. A. P. Elsaputra and N. Anwar, "Studi Alternatif Perencanaan Pola Operasi Dan Alokasi Air Waduk Titab," *J. Hidroteknik*, vol. 2, no. 2, p. 5, 2017, doi: 10.12962/jh.v2i2.4407.
- [10] T. M. Nuramini, "Studi Optimasi Pola Pengoperasian Waduk Bajulmati," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [11] T. Haryani, W. Wardoyo, and A. Hidayat, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Saluran Irigasi Mataram," *J. Hidroteknik*, vol. 1, no. 2, p. 75, 2015, doi: 10.12962/jh.v1i2.1672.
- [12] BPS Kabupaten Ciamis, *Kabupaten Ciamis Dalam Angka*. Ciamis: Badan Pusat Statistik, 2022.
- [13] A. U. Hesham Alrayess, Utku Zeybekoglu, "Different Design Techniques in Determining Reservoir Capacity."
- [14] Anisarida, A. A., & Hafudiansyah, E. (2022). KAJIAN NERACA AIR DAERAH IRIGASI CIHERANG KABUPATEN BANDUNG PROVINSI JAWA BARAT. JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC), 3(1), 60-73.
- [15] Mafazi, M. PERENCANAAN JADWAL PELAKSANAAN JEMBATAN CABLE STAYED CIJAMBE KABUPATEN GARUT.
- [16] Janizar, S., Habdullah, H., Setiawan, F., & Schipper, L. A. (2022). PERENCANAAN JEMBATAN CABLE STAYED 200 METER (Studi Kasus: Jembatan Cijambe Garut). JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC), 3(1), 43-59.