Studi Perencanaan Pola Operasi Waduk Kuningan Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Baku, Irigasi, dan PLTA di Kabupaten Kuningan Jawa Barat

Ratu Anita Rachmawati^{1*}, Widandi Soetopo¹, Pitojo Tri Juwono¹

¹Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan Mayjen Haryono No.167, Malang, 65145, Indonesia

*Korespondensi Email: ratuanitarch@gmail.com

Abstract: The development of Kuningan Regency from year to year is increasing rapidly, causing the rapid need for water for its population. It is hoped that the Kunigan Reservoir construction can meet the water needs of the residents of Kuningan Regency. In this study, seeing the amount of water demand, it is necessary to optimize it to meet the required water needs and the chosen optimization method is the Genetic Algorithm. This mode is run with Excel spreadsheets from Microsoft Office 2007 version. Based of the analysis results, the optimization phase centers with genetic algorithms on the structure rather than chromosomes. The chromosome in this case is the reservoir discharge rule that represents an alternative solution, so this chromosome can be said to be the interface discharge of the reservoir which has various variations and has a performance value based on the objective function. After optimization, the average water demand increased by 63.83%, and the minimum water requirement increased by 44.57%. The condition of the reservoir is at least 2.55 m³, and the average storage capacity is 17.01 m³. The average energy produced by PLTA increased by 14.72%, and the minimum energy produced by PLTA increased by 72.53%. So that it can maximize reservoir performance without experiencing damage. This is expected to provide an overview of the optimal release guidelines for the operation of the Kuningan reservoir to meet the needs for irrigation, raw water and hydropower.

Keywords: Genetic Algorithms, Optimization, Reservoir, Stochastic

Abstrak: Perkembangan Kabupaten Kuningan dari tahun ke tahun semakin pesat sehingga menyebabkan turut pesatnya kebutuhan air penduduknya. Pembangunan Waduk Kunigan diharapkan bisa mencukupi kebutuhan air

penduduk Kabupaten Kuningan. Pada penelitian ini melihat besarnya kebutuhan air maka perlu adanya optimasi guna memenuhi kebutuhan air yang diperlukan dan metode optimasi yang dipilih adalah Algoritma Genetik. Mode ini dijalankan dengan spreadsheet Excel dari Microsoft Office versi 2007. Menurut hasil analisis, Pusat tahapan optimasi dengan Algoritma genetik pada struktur daripada kromosom. Kromosom dalam hal ini adalah aturan lepasan waduk yang mewakili alternatif solusi, jadi kromosom ini bisa dikatakan interfal lepasan waduk yang bermacam macam variasinya & mempunyai nilai kinerja Menurut fungsi tujuan. Setelah dilakukan optimasi, rata-rata kebutuhan air meningkat 63,83%, dan kebutuhan air minimal meningkat 44,57%. Keadaan tampungan waduk minimal 2,55 juta meter kubik, dan kapasitas tampungan air rata-rata 17,01 juta meter kubik. Rata-rata energi yang dihasilkan PLTA meningkat 14,72%, dan energi minimum yang dihasilkan PLTA meningkat 72,53%. Sehingga dapat memaksimalkan kinerja reservoir tanpa mengalami kerusakan. Hal ini diharapkan dapat memberikan acuan untuk pedoman lepasan teroptimal pada pengoperasiannya waduk Kuningan agar keperluan irigasi, air baku, dan PLTA terpenuhi

Kata Kunci: Algoritma Genetik, Optimasi, , Stokastik, Waduk.

1. Pendahuluan

Jumlah penduduk Kabupaten Kuningan yang berkembang sangat pesat menyebabkan peningkatan kebutuhan air. Proyek Pembangunan Waduk Kuningan merupakan wujud nyata Pemerintah Kabupaten Kuningan dalam mendorong perlindungan dan optimalisasi sumber daya air Sungai Cisanggarung. Berdasarkan permasalahan kebutuhan air pembangunan Waduk Kuningan diharapkan dapat menjadi jalan keluar untuk memenuhi kebutuhan air bagi warga di sekitar Waduk Kuningan. Fokus utama pembanguna Waduk Kuningan adalah untuk pemenuhan kebutuhan air baku, air untuk irigasi dan juga PLTA. Melihat belum tersedianya pedoman pengoperasian lepasan dengan berlandaskan tampungan untuk Waduk Kuningan, maka dilakukan penelitian untuk penetapan pedoman operasi, dengan dilakukanya sebuah kajian berupa penentuan lepasan paling optimal.

Dalam penelitian ini metode yang dipilih adalah algoritma genetika. Proses optimasi Algoritma Genetik terutama dilakukan dengan replikasi dan persilangan alternatif, menghasilkan keromosom yang lebih baik dan lebih seragam. Akan tetapi dalam kondisi homogen ini maka dapat terjadi hilangnya informasi penting pada keromosom yang sebetulnya masih dapat digunakan. Mutasi ini berfungsi untuk menjaga agar informasi penting semacam itu tidak terlewatkan. Pada contoh kasus ini, maka proses mutasi tidak diikutsertakan [8] Prinsip algoritma genetika terinspirasi oleh teori evolusi Charles Darwin, yaitu setiap makhluk mewariskan satu atau beberapa karakter kepada anak atau keturunannya. Algoritma genetika adalah salah satu metode dari kelompok "simulasi optimasi". Jenis prosedur ini sangat efektif

dalam mengeksplorasi berbagai bagian kawasan yang memungkinkan dan secara bertahap berkembang menuju solusi terbaik yang memungkinkan [3]

Adapun manfaat dari studi ini adalah menghasilkan suatu rekomendasi sebagai pedoman untuk meningkatkan pengembangan pada perencanaan Waduk Kuningan sehingga kapasitas tampungan air yang direncanakan dapat sebanding dengan kebutuhan yang terus meningkat sehingga dapat tercapai ketahanan pangan sesuai dengan tujuan di awal.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Lokasi Lokasi rencana Waduk Kuningan terletak di Sungai Cikaro, secara administrasi pemerintahan, rencana Waduk Kuningan berada di Dusun Kuningan, Desa Randusari Kecamatan Cibeureum, Kabupaten Kuningan. Daerah Aliran Sungai (DAS) Kuningan berada di sungai Cikaro yang merupakan anak sungai Cijeng kelok yang mengalir ke sungai Cisanggarung sebagai sungai utama. Topografi DAS Cikaro bagian hulu merupakan perbukitan, dan puncak tertinggi bukitnya di elevasi sekitar + 800 m di atas permukaan laut. Wilayah penangkapan air Waduk Kuningan terdapat pada elevasi kontur 147.06 m, 148.06 m, 153.20 m dan 155.00 m dan satu punggung waduk pada elevasi 123.5 m. Waduk Kuningan berbentuk lembah V-asimetrik disepanjang lapisan perbukitan batuan pasir, batuan vulkanik bressia & tanah lempung

Kemiringan tanah daerah tangkapan air Waduk Kuningan relative terjal, dengan kemiringan rata-rata 18 % - 35 %. Kondisi tersebut akan mengakibatkan tingkat erosi lahan di daerah aliran sungai cukup besar. Ditambah lagi pola pemanfaatan lahan yang cenderung memperkecil penutupan lahan (land covering) akan memperbesar laju erosi lahan, yang pada akhirnya akan memperbesar laju sedimentasi sungai. Daerah tangkapan air Waduk Kuningan mempunyai luas 23,07 km², panjang sungai 4,54 km dengan kemiringan rerata sungainya yaitu 0,0025. Pemanfaatan lahan di DAS Kuningan didominasi oleh Hutan Produksi (27,31%), Peternakan (22,26%), Sawah Irigasi (17,81%), Kawasan Fungsi Lindung (11,87%).

DAS Cisanggarung secara geografi termasuk pada Wilayah DAS Cisanggarung yang berada pada titik koordinat 105020' – 108047' Bujur Timur dan 6045' – 7012' Lintang Selatan. Secara Administratif berbatasan dengan :

Sebelah Utara	: Kabupaten Cirebon
Sebelah Timur	: Kabupaten Brebes
Sebelah Selatan	: Kabupaten Ciamis
Sebelah Barat	: Kabupaten Majalengka.

Gambar 1. Peta DAS Waduk Kuningan

Sumber: BBWS Cimanuk-Cisinggarung

Di perumusan dan penyelesaian penelitian ini dibutuhkan beberapa data-data yang dibutuhkan demi kelancaran proses penganalisaan dan mencari jalan keluar dari permasalahan yang ada, data ini diperoleh dari berbagai sumber. Data yang diperlukan yaitu:

- Data Eksisting Bendungan
Data ini diperoleh dari BBWS cimauk cisanggarung dan diperlukan untuk analisa sumber daya air agar jumlah kebutuhan air & lepasan dapat diketahui.
- Data Curah Hujan.
Data pada studi ini didapatkan dari hasil pengukuran yang dilakukan di stasiun hujan yang memiliki pengaruh paling besar di DAS Kuningan, yakni dari stasiun hujan Cibingbin.
- Data Teknis Waduk
Data diperoleh dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung ang berguna untuk mengetahui analisa keseimbangan air.
- Data Kebutuhan Air irigasi, Baku, dan PLTA
Data kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTA berpengaruh pada penentuan lepasan pada waduk data ini didapatkan dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung.
- Data Karakteristik Waduk
Data ini meliputi data volume waduk, tampungan aktif , dat aluas genangan waduk, tampungan mati, & tinggi muka air waduk dan didapatkan dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung.
- Data Inflow DAS
Debit bulanan DAS Kuningan yang termasuk pada waduk yang sudah dilakukan simulasi dengan menggunakan simulasi FJ Mock. Data didapatkan dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung
- Data Evaporasi Waduk
Agar besarnya kehilangan air yang terjadi di Waduk Kuningan bisa diketahui. Hasilnya nanti diolah lepasan yang sudah optimal berdasarkan tampungan melalui metode Algoritma Genetik. Data didapatkan dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung
- Data Klimatologi.
Data ini nantinya akan digunakan untuk menganalisa evapotranspirasi di permukaan waduk kuningan, dan juga untuk menghitung metode simulasi FJ Mock. Data-data ini didapatkan dari Stasiun jatiwangi
- Peta Topografi.
Peta topografi di dapat dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung. Peta ini diperlukan agar kondisi lokasi studi dan gambaran di lokasi dapat diketahui.

2.2. Metode

Gambar 2. Bagan Alir Pengerjaan Studi
Sumber: Hasil Penggambaran

2.3. Persamaan

A. Curah Hujan Rerata Daerah

Faktor-faktor yang termasuk dimetode ini pengaruh wilayah yang diwakili oleh stasiun hujan atau disebut faktor pembobotan atau koefisien Thiessen [5]

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A} \quad \text{Pers. 1}$$

Keterangan :

P₁, P₂, P_n = kedalaman hujan di stasiun 1,2, n
 A₁ A₂ A_n = luas wilayah diwakili stasiun 1,2, n
 P = hujan rata-rata DAS
 A = luas areal

B. Curah Hujan Andalan

Tanaman padi curah hujan andalanya ditetapkan sebesar 80 % dan untuk tanaman palawija yaitu 50 %. Tahapan untuk menentukan curah hujan andalan yaitu : [1]

- Mengurutkan data dari yang terkecil hingga terbesar .
- Menentukan curah hujan menggunakan formula:

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \quad \text{Pers. 2}$$

$$R_{50} = \frac{n}{2} + 1 \quad \text{Pers. 3}$$

dengan:

R₈₀ = curah hujan andalan 80%
 R₅₀ = curah hujan andalan 50%
 n = jumla data

C. Curah Hujan Efektif

Persamaan curah hujan efektifnya dapat dihitung dengan rumus: [1]

Padi

$$R_{\text{eff}} = 0,70 \left(\frac{R_{80}}{15} \right) \quad \text{Pers. 4}$$

dengan:

R_{eff} = Curah Hujan Efektif (mm)
 R = Curah hujan andalan 80% (mm)

Palawija

Untuk curah hujan efektif palawija di hitung Menurut ketentuan pada Kriteria Perencanaan (KP) 01.

D. Analisis Ketersediaan Air

Dalam studi ini analisi ketersediaan air dihitung menggunakan debit andalan metode basic year yang akan menghasilkan potensi inflow. [5]

1. Debit andalan 80% (Q_{80}) biasa digunakan untuk menggambarkan debit tahun kering. [5]
2. Debit andalan 20% (Q_{20}) biasa digunakan untuk menggambarkan debit tahun basah. [5]

Jadi apabila misalnya dipastikan andalan 80% maka artinya adanya resiko kegagalan yang akan dihadapi oleh debit ini tidak lebih besar dari debit tersebut sebanyak 20% banyaknya penelitian [10]

E. Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air irigasi dihitung dengan persamaan : [4]

$$Kai = \frac{(Etc + I + Wlr + P - Re)}{Ei} A \quad \text{Pers. 5}$$

dengan:

- Kai = konsumsi air untuk irigasi (l/dtk/ha),
 Etc = jumlah air yang dikonsumsi (mm/hari),
 Ir = kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari),
 Wir = kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hari),
 P = kehilangan air perkolasi (mm/hari),
 Re = curah hujan efektif (mm/hari),
 Ei = efisiensi irigasi,
 A = daerah irigasi (ha).

F. Analisis Keseimbangan Air

Detail persamaam simulasi dikembangkan sebagai berikut: [2].

$$I_t - L_t - S_t - SP_t - O_t = \frac{(W_t - W_{t-1})}{dt} \quad \text{Pers. 6}$$

dengan:

- I_t = rerata pemasukan air di waduk dalam 15 harian (m^3/dt)
 L_t = kehilangan air karena evapotranspirasi dalam 15 harian (m^3/dt)
 S_t = kehilangan air karena rembesan pada dalam 15 harian (m^3/dt)
 SP_t = air yang melalui pelimpah dalam setengah bulanan (m^3/dt)
 O_t = outflow yang diperlukan untuk daerah irigasi dalam 15 harian (m^3/dt)
 W_t = volume waduk dalam 15 harian (m^3)
 dt = periode operasi dari waduk 15 harian (m^3/dt)

G. Peluang Keandalan dan Kegagalan Waduk

Kemungkinan gagalnya suatu tampungan ialah perbedaan nilai waktu ketika waduknya ksoong bersama total satuan ang dipergunakan saat proses analitisnya [6]

$$Pe = \frac{P}{N} \times 100\% \quad \text{Pers 7}$$

Pengertian keandalan ialah :

$$Re = 100 - Pe \quad \text{Pers 8}$$

dimana :

- Pe = Kemungkinan gagal (%)
- P = Total terjadinya kegagalan
- N = Total kejadian
- Re = Kemungkinan keandalan (%)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Algoritma Genetik

Mode ini memiliki pusat dialternatif solusi yang nantinya diwakili oleh kromosom tertentu, yang mana merupakan sebuah aturan pola lepasan berlandaskan kapasitas waduk . Secara garis besar maka Algoritma Genetik memiliki tahapan:

1. Reproduksi

Reproduksi adalah tahap peyeleksian pada keromosom yang berada disebuah populasi atas dasar daya kerja dari setiap keromosom yang nantinya akan berlanut kepada tahap penyalinan sebagai generasi pertama. Di penelitian kali ini, 40 keromosom akan terpilih melalui system penyeleksian (berdasarkan nilai kinerja tiap keromosom) dari populasi keromosom sebesar 780. Jadi besarnya (setiap) generasi turunan berikutnya adalah sebanyak 40 keromosom [7].

2. Crossover

Crossover ialah tahap dimana terjadi perkaiwnan antar keromosom di satu generasi keturunan .Hasilnya nanti menadi penyebab terbentuknya generasi baru sebuah populasi (yang dalam contoh kasus ini sebanyak 780 keromosom).Pada contoh kasus ini, teradi kawin silang antar keromosom dan menghasilkan kromosm yang terbaru. Di persilangan ini, untuk variabel dari keromosom terbaru didapat dari penggabungan antar variabel yang berasal dari penurunan kedua keromosom generasi [7].

Di persilangan ini, untuk variabel dari kromosom terbaru didapat dari penggabungan antar variabel yang berasal dari penurunan ke-2 suatu kromosom .Di contol pertama, mode stokastik seagai penggabungannya yaitu:.

Tabel 1. Pedoman Hasil Lepasn Menurut Algoritma Genetika

Tampungan [%]	Q Maksimal [%]	Tampungan [%]	Q Maksimal [%]
0	15,21	55	57,9
5	21,44	60	66,24
10	31,8	65	68,31
15	44,57	70	74,43
20	45,41	75	80,75
25	46,8	80	84,93
30	47,27	85	88,46
35	48,12	90	94,5
40	49,53	95	98,07
45	50,39	100	100
50	53,21		

Sumber: Hasil Perhitungan

3.2. Pedoman Lepasn Menurut Skenario Pola Debit

Ditahap ini dipilih 4 keandalan debit yaitu 87,2% (tahun kering). 68,24% (tahun rendah). keandalannya adalah 70%, 51,72% (tahun normal) dan 31,04% (tahun cukup).

Tabel 2 Pedoman Lepasn Menurut Tampungan Pada Tahun Cukup (31,04%)

Tampungan [%]	Q Maksimal [%]	Tampungan [%]	Q Maksimal [%]
0	7,32	60	79,44
10	24,2	70	89,44
20	35,32	80	89,62
30	46,21	90	94,72
40	55,33	100	100
50	76,42		

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3 Pedoman Lepasn Menurut Tampungan Pada Tahun Normal (51,72%)

Tampungan [%]	Q Maksimal [%]	Tampungan [%]	Q Maksimal [%]
0	4,17	60	79,44
10	6,21	70	89,44
20	24,42	80	89,62
30	33,01	90	94,72
40	47,51	100	100
50	53,77		

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4 Pedoman Lepasn Menurut Tampungan Pada Tahun Rendah 68,24%

Tampungan [%]	Q Maksimal [%]	Tampungan [%]	Q Maksimal [%]
0	5,32	60	67,03
10	14,02	70	74,31
20	25,19	80	86,21
30	36,72	90	97,42
40	44,21	100	100
50	56,87		

Sumber : Perhitungan

Tabel 5 Pedoman Lepasn Menurut Tampungan Pada Tahun Kering 87,2%

Tampungan [%]	Q Maksimal [%]	Tampungan [%]	Q Maksimal [%]
0	4,56	60	63,11
10	13,21	70	76,25
20	23,27	80	88
30	35,15	90	96,98
40	44,32	100	100
50	56,23		

Sumber : Perhitungan

Tabel 6 Pedoman Lepasn Menurut Tampungan Pada Tahun dengan keandalan 70,00%

Tampungan [%]	Q Maksimal [%]	Tampungan [%]	Q Maksimal [%]
0	3,24	60	66,98
10	5,96	70	72,71
20	22,7	80	84,23
30	32,11	90	98,67
40	42,56	100	100
50	55,77		

Sumber : Perhitungan

3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Air untuk keperluan Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah air minimum yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin sehingga mampu membangkitkan daya listrik. Besarnya air untuk PLTA bergantung pada ketersediaan debit inflow yang ditampung dalam suatu waduk setelah dikurangi untuk kebutuhan lainnya (seperti: air irigasi, air baku, air konservasi dll) yang dihitung dengan metode simulasi waduk [9]. Bergantung kepada tujuan utama waduk tersebut dibangun. Waduk Kuningan akan mensuplai air irigasi pada D.I. Jengkelok dan D.I. Kuningan (3,000 ha) melalui Bendung Cijangkelok. Kapasitas outlet 2,4 m³/dt dan potensi PLTAnya mencapai 535 KW. Perbedaan daya yang dibangkitkan PLTA waduk Kuningan dengan data eksisting dan setelah dilakukan optimasi yaitu:

- Rerata energi bangkitan PLTA meningkat 14, 72 %.
- Energi minimum yang diproduksi PLTA meningkat 72, 53.

4. Kesimpulan

Hasil analisa diperoleh rekapitulasi Debit Andalan Waduk Kuningan adalah 2,6 – 18,39 m³/dt dengan debit tertinggi pada tahun 2008 dan terendah pada tahun 1998. Pada simulasi operasi waduk secara sederhana, volume total limpahan yaitu 127,50 juta m³ yang dihasilkan dari 24 periode limpahan dan 240 periode operasi. Simulasi dilakukan selama 10 tahun, mulai 1999-2008 kebutuhan air irigasi dan baku reratanya, yaitu 67,34 % dan minimal pemenuhan sebesar 0 %. Sehingga disimpulkan waduk kuningan memiliki kegagalan waduk dalam pemenuhan air baku dan irigasi di kabupaten kuningan. Total nilai lepasan mencapai 461,66 juta m³ dengan rata-rata 1,9 juta m³. Situasi minimal waduk kuningan yaitu kosong dengan total 101 periode selama 1 tahun menurut volume tampungan waduknya. Dengan rerata volume waduk 6,52 juta m³.

Setelah pengoptimasian menggunakan Algoritma disimpulkan bahwa pada simulasi sederhana *outflow* waduk minimum pemenuhannya adalah 0 juta m³, sementara jika dilakukan optimasi dengan algoritma genetik waduk memiliki jumlah pemenuhan minimum sampai dengan 1,0 juta m³. Apabila dilakukan simulasi waduk sederhana untuk mengetahui presentase pemenuhan kebutuhan pada waduk maka minimalnya bisa memenuhi adalah 0%, sementara setelah pengoptimalan dengan algoritma genetik pemenuhan minimumnya menjadi 44,58% dari kebutuh keseluruhannya. Tampungan akhir waduk setelah dilakukan optimasi akan selalu tersedia atau minimal 2,56 juta m³ dengan rerata keadaan tampungan selama 10 tahun mencapai 17,012 juta m³.

Sementara kekosongan sering terjadi pada simulasi sederhana dengan rata-rata volume tampungan waduknya mencapai 6,51 juta m³. Saat menggunakan aturan lepasan menurut tampungan keandalan waduk tidak memiliki periode gagal, tetapi untuk simulasi waduk sederhana terjadi kekosongan waduk atau kegagalan sebanyak 101 periode gagal dari 240 periode. Pemenuhan kebutuhan minimum berdasarkan kinerja waduk dari total kebutuhan yang direncanakan cukup meningkat. Pemenuhan kebutuhan yang meningkat ini menjadi bukti bahwa fungsi waduk dinyatakan lebih optimal dari sebelumnya.

Perumusan mode pengoptimasian di penelitian ini adalah merumuskan aturan alternatif hasil aliran Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air Kuningan (dalam bentuk persentase) melalui uji coba ulang, aturan ini akan meningkatkan nilai rata-rata energi pembangkit listrik PLTA dan meningkatkan nilai minimumnya di masa mendatang. Nilai rata-rata dan minimum energi tenaga air merupakan fungsi objektif dari optimasi algoritma genetika. Disimpulkan rerata energi bangkitan PLTA meningkat 14,72 %, energi minimum PLTA yang dihasilkan meningkat sebesar 72,53 %

Daftar Pustaka

- [1] Departemen Pekerjaan Umum (2013). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria. Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01*. Jakarta: Kemetrian Pekerjaan Umum.
- [2] Hadryana, A D, Arsana, K, & Suryantara, G (2015). *Analisis Keseimbangan Air/Water Balance Di Das Tukad Sungai Kabupaten Tabanan*. Denpasar: Universitas Udayana.

- [3] Hillier, F.S. dan Lieberman.G.J. (2010). *Introduction to Operation Research Ninth Edition*. McGraw-Hill Company. New York
- [4] Huda, Q. Soetopo, W. Suprijanto, H. *Optimasi Rule Curve Operasi Waduk Pengga Dengan Algoritma Genetik*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [5] Iqbal, M., Soetopo, W., & Juwono, P. T. (2015). *Optimasi Lepasn Menurut Tampungan Operasi Waduk Sutami untuk PLTA dengan Algoritma Genetik*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [6] Mc. Mahon & Mein (1978) *Reservoir Capacity and Yield*. Amsterda: Elsevier Scientic Publishing Company.
- [7] Prananca, Nando (2016) *Studi Optimasi Operasi Waduk Dengan Metode Algoritma Genetik Pada Waduk Cileuweung Kabupaten Kuningan Jawa Barat*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [8] Soetopo, W. 2012. *Model-model Simulasi Stokastik untuk Sistem Sumberdaya Air*. Malang: CV. Asrori.
- [9] Sudjarwadi. 1988. *Operasi Waduk*. Yogyakarta. KMTS Universitas Gajah Mada.
- [10] Soemarto, C. D., 1986. *Hidrologi Teknik*. Erlangga. Jakarta.