



STUDI OPTIMASI OPERASI WADUK BILI-BILI DENGAN PROGRAM DINAMIK

Riksal Firmansyah Safaa^{a,*}, Sri Sangkawati Sachro^b, Dyah Ari Wulandari^b

^aMagister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

*Corresponding author, email address: riksalfs@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received 23 August 2022

Accepted 17 March 2023

Online 30 March 2023

Keywords:

Reservoir operation

Bili-Bili reservoir

Reservoir performance

Dynamic program model

CSUDP

ABSTRACT

Bili-Bili reservoir functions as flood control, raw water service, irrigation, river maintenance and hydropower. Every year Bili-Bili Reservoir has a reduction in storage capacity, effective storage and sediment storage, it affects the availability of water and condition of the reservoir. During the 20 years of operation, there has been a reduction in effective storage reservoir by 99,27 million m³. Likewise, sediment storage area experienced a very significant change in storage capacity in 2019 of 840 thousand m³ than design, which was 99,27 million m³. To reduced storage capacity, it is necessary to adjust reservoir operating by optimizing reservoir operating rules. Optimization model used is dynamic programming method with CSUDP software. Purpose of this study to optimize operating rule Bili-Bili Reservoir in accordance with storage capacity. Evaluation by analyzing the reservoir performance which includes reliability, resilience and vulnerability in existing conditions. Optimization using a dynamic program with an objective function to minimize the relative difference between target and release. Based on results of analysis, performance optimized operating rule is better than performance existing operating rule. In existing conditions, reliability of reservoir is obtained to supply water needs 71,66%, maximum deficit ratio is 80% with T_{gagal} 10,2 periods, vulnerability is 76% and water deficit value in water supply needs 2741,33 million m³. After optimization reservoir, reliability increased to 94,79%. This means that reservoirs can water supply up to 23,13% greater than reliability existing reservoirs. Value of resilience in optimization reservoir operation is 0,17 and maximum deficit ratio 42%. T_{gagal} value is 5,83 periods and amount of water deficit in serves reservoir is 515,7 million m³.

©2023 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Waduk Bili-Bili berfungsi sebagai pengendalian banjir, pelayanan air baku, irigasi, pemeliharaan sungai serta PLTA. Berkurangnya kapasitas tampungan Waduk Bili-Bili diakibatkan oleh semakin meningkatnya sedimentasi sehingga kapasitas tampungan waduk setiap tahun selalu berkurang. Hal ini berpengaruh terhadap ketersediaan air dan pemenuhan kebutuhan air. Selama 20 tahun Waduk Bili-Bili beroperasi telah terjadi pengurangan kapasitas tampungan sebesar 99,27 juta m³. Pada awal waduk beroperasi pada Tahun 1998 kapasitas tampungannya sebesar 347,81 juta m³ kemudian menjadi 248,09 juta m³ di tahun 2019. Demikian juga dengan tampungan sedimen mengalami perubahan kapasitas tampungan yaitu saat desain 29 juta m³ menjadi 840 ribu m³ di tahun 2019. Sehingga perlu kiranya mengevaluasi pola operasi waduk yang ada untuk menyesuaikan dengan perubahan tampungan. Evaluasi operasi waduk dilakukan dengan menilai kinerja waduk serta melakukan optimasi operasi waduk menggunakan pemodelan program dinamik dengan bantuan *software* CSUDP. Tujuan yang akan dicapai melalui

penelitian ini adalah untuk melakukan optimasi pola operasi Waduk Bili-Bili dalam memenuhi kebutuhan air. Optimasi dilakukan untuk menyesuaikan kapasitas tampungan dan *inflow* waduk dengan pengeluaran dan pemanfaatan air waduk.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kapasitas Waduk

Berdasarkan penelitian LPM UNHAS (2004), berkurangnya kapasitas waduk Bili-Bili akibat sedimentasi berawal dari longsoran kaldera Gunung Bawakaraeng pada Tahun 2004, yang merupakan hulu DAS Jeneberang. Saat elevasi muka air normal +99,5 m kapasitas tampungan waduk sesuai pada Tahun 1998 sebesar 347,81 juta m³ menjadi 248,09 juta m³ di tahun 2019 sehingga terjadi pengurangan kapasitas waduk sebesar 99,271 juta m³ selama 21 tahun waduk beroperasi. Kapasitas tampungan waduk Bili-Bili tahun 1998-2019 tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan Kapasitas Tampungan Waduk Bili-Bili

Elevasi	Volume (Juta m ³)						
	1998	2008	2010	2012	2016	2018	2019
50	-	-	-	-	-	-	-
54	0,461	-	-	-	-	-	-
56	1,768	-	-	-	-	-	-
58	3,812	-	-	-	-	-	-
60	6,584	-	-	-	-	-	-
62	10,122	0,518	-	0,071	0,070	-	-
64	14,582	1,985	0,921	0,918	0,813	0,259	0,201
65	17,363	3,51	2,28	1,9	1,602	1,014	0,84
66	20,144	5,035	3,275	3,580	2,991	1,768	1,483
68	26,786	9,646	7,026	7,611	6,555	4,676	4,324
70	34,456	15,285	11,806	12,705	11,261	8,838	8,461
75	59,056	33,318	27,046	29,048	26,629	23,388	22,791
80	93,586	61,280	52,215	51,232	47,194	42,471	41,999
85	140,136	98,364	87,205	87,017	78,612	71,745	72,940
90	200,281	149,043	135,789	134,910	26,924	116,135	119,462
95	273,071	217,131	200,695	94,450	186,611	174,967	180,421
99,5	347,812	287,641	268,340	259,500	245,201	239,764	248,091
100	356,568	295,718	276,033	267,430	-	247,758	256,610
105	451,841	389,870	369,030	-	-	-	344,491
110	558,456	496,490	476,440	-	-	-	-

Sumber: BBWS Pompengen Jeneberang (2020)

Evaluasi pedoman operasi dan pemeliharaan waduk perlu direncanakan, diimplementasikan dan selalu dievaluasi pada suatu periode tertentu (Suseno, 2014). Setelah waduk operasi, evaluasi kinerja kemampuan sistem penting untuk dilakukan dan kemungkinan akan ada perubahan kebutuhan karena perubahan pola penggunaan air (Wulandari dkk, 2019).

2.2 Optimasi dengan Program Dinamik CSUDP

Teknik optimasi adalah suatu proses sistematis untuk mencapai keputusan terbaik yang dirancang menghasilkan keputusan yang optimal sesuai dengan fungsi tujuan. Fungsi tujuan adalah tujuan yang diharapkan mencapai hasil optimal (Miller, 2000). Teknik optimasi dilakukan agar waduk dapat beroperasi secara optimal dalam mengatasi masalah pengoperasian waduk akibat adanya faktor yang mengurangi kinerja waduk sehingga fungsi waduk tidak maksimal (Suseno dkk, 2014). Optimasi waduk dengan program dinamik, suatu permasalahan yang kompleks dan berskala besar dapat dipecah-pecahkan menjadi

beberapa bagian kecil (Aprizal, 2003). Menurut Jamil (2019), pemecahan permasalahan optimasi metode program Dinamik meliputi diskritisasi tampungan waduk; *stage* (tahap), *state* (status) dan *decision variable* (variabel keputusan); *objective function* (fungsi tujuan); *constraint function* (fungsi kendala) dan *state transformation* (transformasi status). Pemodelan optimasi dengan program dinamik dapat menggunakan bantuan perangkat lunak CSUDP (*Colorado State University Dynamic Programming*). Pada perangkat lunak CSUDP permasalahan optimasi dengan mengubah rumus-rumus kedalam Bahasa pemrograman c dan diproses dengan model *dynamic programming* (Labadie, 2004). Tahapan optimasi pemodelan CSUDP terdiri dari:

2.2.1 Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Fungsi tujuan optimasi yang digunakan adalah fungsi minimal, dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Min } Z_i = \sum_{i=1}^n \frac{|T_i - X_i|}{T_i} \quad (1)$$

dimana :

- Z = Fungsi tujuan (*objective function*)
- i = Urutan periode (stage) operasi waduk
- n = Banyaknya Periode yang ditinjau
- X_i = Pelepasan Waduk pada Periode i (release)
- T_i = Target kebutuhan air pada periode i

2.2.2 Fungsi Transformasi Keadaan (*State Transformation Equation*)

Untuk menyatakan hubungan kondisi tampungan waduk dari satu periode ke periode berikutnya digunakan persamaan neraca air waduk (Wulandari dkk, 2019), seperti tertera pada Persamaan 2.

$$S_{t+1} = S_t + I_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_{st} \quad (2)$$

dimana :

- S_t = tampungan waduk pada periode t
- S_{t+1} = tampungan waduk pada periode $t+1$
- I_t = masukan waduk pada periode t
- R_t = hujan yang jatuh di atas permukaan waduk, pada periode t
- E_t = kehilangan air akibat evaporasi pada periode t
- L_t = limpasan yang terjadi pada bulan ke- t
- O_t = outflow waduk pada periode t
- O_{st} = outflow waduk pada periode st

2.2.3 Fungsi Kendala (*Constraint*)

Fungsi kendala faktor pembatas tampungan dan pelepasan waduk dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$S_{min} \leq S_i \leq S_{max} \quad (3)$$

dimana :

- S_{min} = Volume tampungan waduk minimum
- S_i = Volume tampungan waduk pada awal periode i
- S_{max} = Volume tampungan waduk maksimum

Fungsi kendala faktor pembatas pelepasan dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \quad (4)$$

dimana :

- X_{min} = Pelepasan minimum
- X_i = Pelepasan waduk pada periode i
- X_{max} = Pelepasan waduk maksimum yang diijinkan

2.3.4 Persamaan Rekursif (*Recursive Equation*)

Persamaan rekursif antara keputusan optimal pada periode i dengan keputusan optimal pada periode $i + 1$ dinyatakan dengan Persamaan 5.

$$F_i(S_i) = \min[f_i(S_i, X_i) + F_{i+1}(S_{i+1})] \quad (5)$$

dimana :

- $F_i(S_i)$ = nilai minimum dari penyimpangan relatif antara pelepasan dan kebutuhan air yang dapat dicapai sampai akhir periode i
- $f_i(S_i, X_i)$ = selisih antara pelepasan dan kebutuhan air
- $F_{i+1}(S_{i+1})$ = nilai minimum dari penyimpangan relatif antara pelepasan dan kebutuhan air sampai akhir periode $i+1$

2.3 Unjuk Kerja Waduk

Menurut Suharyanto (1997), dalam menilai kinerja operasi waduk, dapat digunakan indikator keandalan (*reliability*), kelentingan (*reciliency*) dan kerawanan (*vulnerability*). Keandalan adalah kemampuan waduk untuk memenuhi kebutuhan air selama masa operasi. Kelentingan merupakan kemampuan waduk untuk kembali ke keadaan sukses dari keadaan gagal sedangkan indikator kerawanan menunjukkan besarnya kegagalan yang terjadi.

2.3.1 Keandalan (*reliability*)

Nilai keandalan system ditulis dengan Persamaan 6.

$$\alpha_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t^1 \quad (6)$$

dimana :

- n = Jangka waktu pengoperasian
- R_t = Release pada waktu ke- t
- D_t = Demand pada waktu ke- t
- α_1 = Keandalan waduk, gagal total jika kebutuhan tidak terpenuhi
- $\sum_{t=1}^n Z_t^2$ = Jumlah total waktu waduk mampu memenuhi kebutuhan ($R_t \geq D_t$) Untuk definisi keandalan ke-2
- $\sum_{t=1}^n (1 - Z_t^2)$ = Jumlah total waktu waduk tidak mampu memenuhi kebutuhan ($R_t \leq D_t$) Untuk definisi keandalan ke-2

2.3.2 Kelentingan (*reciliency*)

Jumlah rerata terjadinya transisi waduk dari keadaan gagal ke keadaan memuaskan dinyatakan dengan Persamaan 7.

$$\rho = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t \quad (7)$$

dimana :

- ρ = probabilitas (rerata frekwensi) terjadinya transisi waduk dari keadaan gagal ke keadaan memuaskan

Dalam jangka panjang, jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal secara kontinu dituliskan:

$$T_{gagal} = \frac{1 - \alpha_1}{\rho} \quad (8)$$

Semakin lama jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal maka semakin kecil kelentingannya sebagai akibatnya maka ke konsekuensi dari keadaan gagal tersebut juga akan besar. Indikator kelentingan didefinisikan sebagai γ_1 (kinerja kelentingan), seperti tertera pada Persamaan 9.

$$\gamma_1 = \frac{1}{T_{gagal}} = \frac{1}{1 - \alpha_1} \quad (9)$$

2.3.3 Kerawanan (*Vulnerability*)

Kinerja kerawanan di atas dapat dirumuskan dengan penafsiran seperti Persamaan 10-12.

1. Nilai rerata “deficit ratio”

$$V_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \left(\frac{DEF_t}{D_t}\right)}{\sum_{t=1}^n W_t} \quad (10)$$

2. Nilai maksimum “deficit ratio”

$$V_2 = \max_t \left\{ \frac{DEF_t}{D_t} \right\} \quad (11)$$

3. Nilai maksimum “deficit”

$$V_3 = \max_t \{DEF_t\} \quad (12)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Daerah Studi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Waduk Bili-Bili yang terletak di Dusun Bili-Bili, Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan dengan luas daerah tangkapan air sebesar 384,40 km² dan panjang sungai utama 78,75 km. Waduk Bili-Bili merupakan tempat penampungan air utama dari aliran Sungai Jeneberang yang bermanfaat untuk pengendalian banjir, penyediaan air baku dan air untuk industri, pelayanan irigasi seluas 23.518 ha, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebesar 20,1 MW serta perikanan dan pariwisata. Lokasi Waduk Bili-Bili tersaji pada Gambar 1.



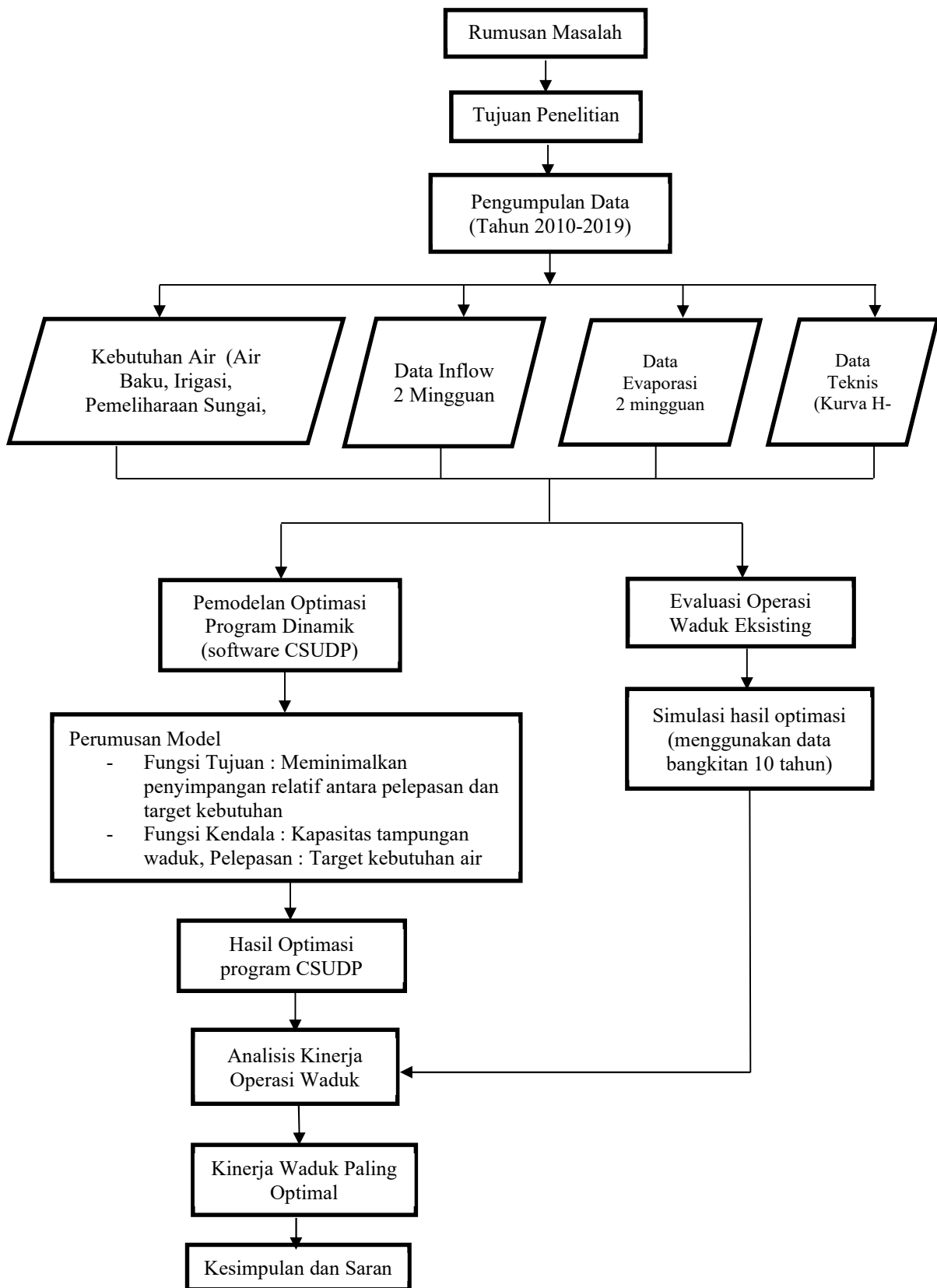
Gambar 1. Lokasi Waduk Bili-Bili (Sumber : Google Maps, 2021)

3.2 Tahapan Penelitian

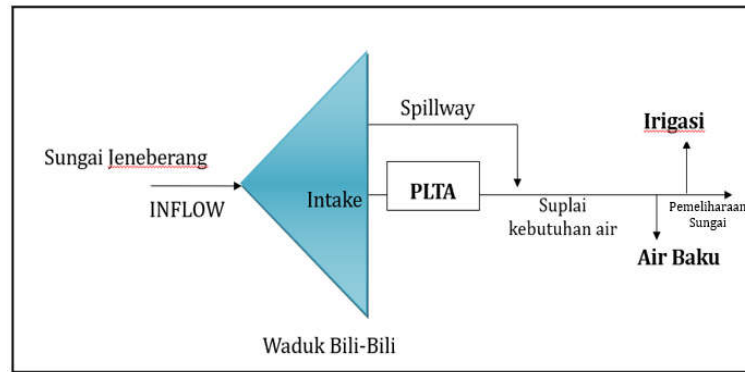
Tahapan penelitian disajikan dalam bagan alir pada Gambar 2.

3.2.1 Unjuk Kerja Waduk Eksisting

Analisis kinerja waduk eksisting dihitung menggunakan program *Microsoft Excel* dengan membandingkan besarnya *release* yang keluar melalui intake dengan kebutuhan air. Dari Analisa tersebut akan diketahui nilai kemampuan waduk untuk memenuhi kebutuhan air (keandalan), kelentingan dan kerawanan. Skema sistem Waduk Bili-Bili eksisting meliputi sumber air, arah aliran, posisi penampungan dan pelayanan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Bagan alir penelitian



Gambar 3. Skema sistim Waduk Bili-Bili (BBWSPJ, 2018)

3.2.3 Unjuk Kerja dengan Pemodelan

Perhitungan kinerja waduk menggunakan program dinamik dengan bantuan *software* CSUDP mempunyai tahapan pemodelan Input CSUDP sebagai berikut:

- Inflow* waduk diperoleh dari laporan harian Waduk Bili-Bili berdasarkan data pencatatan operasi waduk tahun 2010 sampai tahun 2019. Data yang tersedia adalah data harian yang kemudian dirata-ratakan dan diolah menjadi data dua mingguan dengan 240 periode.
- Kebutuhan air meliputi kebutuhan irigasi, air baku dan pemeliharaan sungai. Kebutuhan air diperoleh dari laporan operasi Waduk Bili-Bili tahun 2010-2019 dan dihitung setiap periode 2 mingguan.
- Laju evaporasi berupa data harian, kemudian dilakukan perhitungan rata-rata dua mingguan selama periode 2010-2019. Persamaan hubungan antara luas permukaan waduk dengan volume waduk dihitung berdasarkan hasil pengukuran kapasitas waduk tahun 2019 sehingga diperoleh nilai evaporasi waduk pada tiap periode tampungan, seperti tertera pada Persamaan 13.

$$E_i = e_i x_i \left[0,052 x \left(\frac{S_i + S_{i+1}}{2} \right)^2 + 0,7274 \right] \quad (13)$$

di mana :

- E_i = besar evaporasi
- e_i = Laju evaporasi
- S_i = tampungan waduk pada periode t
- S_{t+1} = tampungan waduk pada periode t+1

- Faktor Pembatas tampungan yang disediakan untuk pemenuhan kebutuhan air adalah tampungan antara elevasi 70 m sampai dengan elevasi 99,5 m. Berdasarkan kurva tampungan waduk hasil pengukuran tahun 2019 diperoleh faktor pembatas tampungan sebagai berikut :

$$8,4 \leq S_i \leq 248 \text{ juta m}^3$$

Pelepasan air waduk dibatasi oleh kapasitas intake atau target kebutuhan air

$$0 \leq X_i \leq 39,5 \text{ juta m}^3$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kinerja Waduk Eksisting

Kinerja waduk eksisting dihitung dengan membandingkan besarnya release dengan kebutuhan air selama tahun 2010-2019 sebanyak 240 periode. Jika hasil release sama atau lebih besar dari kebutuhan air maka nilai keandalannya 100%. Release maksimal yang keluar sebesar kapasitas intake yaitu 45 m³/detik sedangkan jika melebihi maka dianggap spillout. Analisa kinerja waduk eksisting tahun 2010 sebanyak 24 periode tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Kinerja waduk eksisting tahun 2010

Periode	Volume Awal (jt m3)	Inflow (jt m3)	Outflow				Kebutuhan Air (jt m3)	Kinerja Waduk		
			Evaporasi (m/hari)	Pelepasan (jt m3)	Intake (jt m3)	Spillway (jt m3)		Keandalan %	Kelentingan %	Kerawanan (Jt m3)
JAN I	312.57	251.74	0.0030	45.62	45.00	0.62	39.76	100%	-	0.00
JAN II	316.91	144.45	0.0035	137.65	45.00	92.65	42.41	100%	-	0.00
FEB I	316.04	102.11	0.0029	98.84	45.00	53.84	39.76	100%	-	0.00
FEB II	316.21	64.81	0.0034	62.43	45.00	17.43	34.46	100%	-	0.00
MAR I	293.32	41.53	0.0043	57.51	45.00	12.51	39.76	100%	-	0.00
MAR II	286.34	54.95	0.0044	56.76	45.00	11.76	42.41	100%	-	0.00
APR I	279.44	50.29	0.0043	57.51	45.00	12.51	39.76	100%	-	0.00
APR II	297.19	47.11	0.0041	31.62	31.62	0.00	39.76	80%	-	8.15
MEI I	316.74	78.39	0.0042	65.35	45.00	20.35	39.76	100%	1	0.00
MEI II	309.98	61.62	0.0030	64.76	45.00	19.76	42.41	100%	-	0.00
JUN I	275.37	32.74	0.0034	57.81	45.00	12.81	39.76	100%	-	0.00
JUN II	269.73	35.50	0.0030	38.67	38.67	0.00	39.76	97%	-	1.10
JULI I	272.95	40.00	0.0033	35.73	35.73	0.00	39.76	90%	-	4.03
JUL II	279.27	41.63	0.0044	35.81	35.81	0.00	42.41	84%	-	6.61
AGT I	277.16	20.70	0.0036	39.25	39.25	0.00	39.76	99%	-	0.51
AGT II	254.12	21.04	0.0046	39.47	39.47	0.00	42.41	93%	-	2.95
SEP I	243.99	30.79	0.0038	35.70	35.70	0.00	39.76	90%	-	4.07
SEP II	229.95	23.40	0.0034	33.54	33.54	0.00	39.76	84%	-	6.22
OKT I	224.11	30.08	0.0044	34.33	34.33	0.00	39.76	86%	-	5.44
OKT II	260.68	31.56	0.0049	44.70	44.70	0.00	39.98	100%	1	0.00
NOV I	295.17	79.10	0.0038	55.16	45.00	10.16	39.76	100%	-	0.00
NOV II	300.40	64.70	0.0033	55.25	45.00	10.25	39.76	100%	-	0.00
DES I	313.09	94.18	0.0033	117.02	45.00	72.02	39.76	100%	-	0.00
DES II	314.82	79.03	0.0019	78.67	45.00	33.67	42.41	100%	-	0.00

Dari hasil analisa unjuk kinerja, waduk *eksisting* memiliki nilai keandalan 71,66%, nilai kelentingan 0,10 dan Tgagal 10,2 yang berarti butuh waktu sebesar 10,2 periode untuk kembali pada kondisi sukses. Nilai keandalan sebesar 71,66% berarti waduk hanya dapat memenuhi kebutuhan air sebesar 71,66% yang masih berada dibawah standar keandalan waduk dalam memenuhi kebutuhan air (BBWS Pompengan Jeneberang, 2018). Besarnya defisit air dalam pemenuhan kebutuhan waduk eksisting sebesar 2741,33 juta m³. Rerata deficit ratio sebesar 1,89% yang berarti 1,89% kebutuhan air tidak terpenuhi dari suatu kegagalan dengan rata-rata deficit 17,92 juta m³ tiap periode kejadian gagal. Maksimum deficit ratio adalah 80% yaitu sebesar 33,14 juta m³.

4.2 Analisis Kinerja Hasil Optimasi

Unjuk kinerja Waduk Bili-Bili hasil pemodelan optimasi selama tahun 2010-2019 sebanyak 240 periode memiliki nilai keandalan sebesar 94,79% berarti waduk dapat memenuhi kebutuhan air sebesar 94,79%. Kemungkinan waduk untuk kembali ke kondisi sukses dari keadaan gagal atau kelentingan 0,17 dan untuk kembali keadaan sukses dibutuhkan waktu Tgagal 5,83 periode. Besarnya rata-rata deficit ratio 7% kebutuhan air tidak terpenuhi dari suatu kegagalan dengan rata-rata deficit 3,05 juta m³ tiap periode kejadian gagal. Nilai maksimum deficit ratio 42% yaitu 42,41 juta m³. Analisa kinerja waduk hasil pemodelan optimasi berdasarkan data tahun 2010 sebanyak 24 periode tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Kinerja waduk pemodelan optimasi

Periode	Volume Awal (jt m3)	Inflow (jt m3)	Outflow				Kebutuhan Air (jt m3)	Kinerja Waduk		
			Evaporasi (m/hari)	Pelepasan (jt m3)	Intake (jt m3)	Spillway (jt m3)		Keandalan %	Kelentingan %	Kerawanan (Jt m3)
JAN I	248.00	251.74	0.0030	78.71	45.00	33.71	39.76	100%	-	0.00
JAN II	208.47	144.45	0.0035	118.24	45.00	73.24	42.41	100%	-	0.00
FEB I	208.47	102.11	0.0029	102.08	45.00	57.08	39.76	100%	-	0.00
FEB II	208.47	64.81	0.0034	58.78	45.00	13.78	34.46	100%	-	0.00
MAR I	214.46	41.53	0.0043	47.46	45.00	2.46	39.76	100%	-	0.00
MAR II	208.47	54.95	0.0044	54.90	45.00	9.90	42.41	100%	-	0.00
APR I	208.47	50.29	0.0043	50.24	45.00	5.24	39.76	100%	-	0.00
APR II	208.47	47.11	0.0041	47.06	45.00	2.06	39.76	100%	-	0.00
MEI I	208.47	78.39	0.0042	78.34	45.00	33.34	39.76	100%	-	0.00
MEI II	208.47	61.62	0.0030	61.58	45.00	16.58	42.41	100%	-	0.00
JUN I	208.47	32.74	0.0034	38.70	38.70	0.00	39.76	97%	-	1.07
JUN II	202.48	35.50	0.0030	39.06	39.06	0.00	39.76	98%	-	0.70
JULI I	198.88	40.00	0.0033	38.77	38.77	0.00	39.76	97%	-	1.00
JUL II	200.08	41.63	0.0044	39.19	39.19	0.00	42.41	92%	-	3.23
AGT I	202.48	20.70	0.0036	38.63	38.63	0.00	39.76	97%	-	1.14
AGT II	184.51	21.04	0.0046	38.96	38.96	0.00	42.41	92%	-	3.45
SEP I	166.54	30.79	0.0038	39.14	39.14	0.00	39.76	98%	-	0.63
SEP II	158.15	23.40	0.0034	38.94	38.94	0.00	39.76	98%	-	0.82
OKT I	142.58	30.08	0.0044	39.63	39.63	0.00	39.76	100%	1	0.14
OKT II	132.99	31.56	0.0049	38.71	38.71	0.00	39.98	97%	-	1.26
NOV I	125.80	79.10	0.0038	39.54	39.54	0.00	39.76	99%	-	0.23
NOV II	165.34	64.70	0.0033	39.51	39.51	0.00	39.76	99%	-	0.25
DES I	190.50	94.18	0.0033	76.17	45.00	31.17	39.76	100%	1	0.00
DES II	208.47	79.03	0.0019	79.00	45.00	34.00	42.41	100%	-	0.00

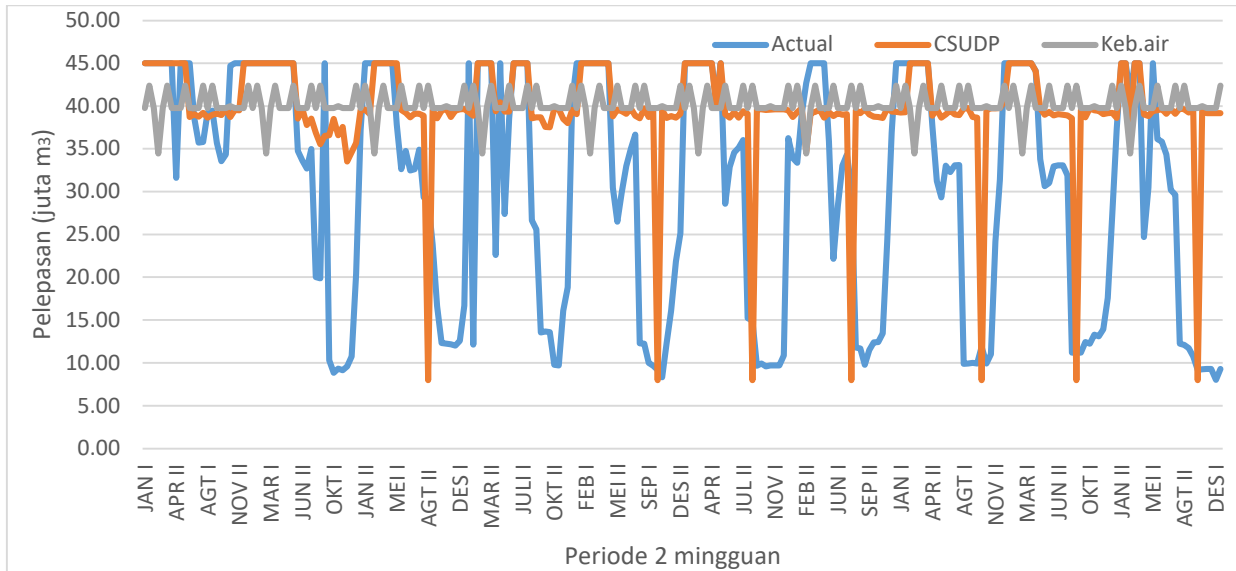
4.3 Perbandingan Kinerja Eksisting dan Hasil Pemodelan Optimasi

Perbandingan kinerja waduk eksisting dan kinerja waduk hasil pemodelan optimasi dengan program dinamik tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis Kinerja Waduk Bili-Bili

No	Indikator Kinerja	Eksisting	Optimasi
1	Keandalan Waduk	71,66 %	94,79 %
2	Kelentingan Waduk		
	- Banyaknya periode operasi	240 periode	240 periode
	- Banyaknya periode sukses	87 periode	71 periode
	- Banyaknya periode gagal (tidak 100%)	153 periode	169 periode
	- Banyaknya transisi gagal ke sukses	15 periode	29 periode
	- T_{gagal}	10,2 periode	5,83 periode
	- Kelentingan	0,10	0,17
3	Kerawanan Waduk		
	- Total defisit	2741,33 juta m ³	515,7 juta m ³
	- Rerata defisit	17,92 juta m ³	3,05 juta m ³
	- Maksimum defisit	33,14 juta m ³	42,41 juta m ³
	- Rerata deficit ratio	1,89%	7%
	- Maksimum deficit ratio	80%	42%

Waduk hasil pemodelan optimasi lebih mampu memenuhi kebutuhan air dibanding waduk eksisting. Nilai kelentingan waduk pemodelan optimasi lebih tinggi dibanding waduk eksisting dan nilai deficit ratio waduk hasil pemodelan optimasi lebih rendah dibanding waduk eksisting. Perbandingan *release outflow* waduk eksisting dan *release* hasil pemodelan optimasi tersaji pada Gambar 4.



Gambar 4. Kebutuhan Air, *release* eksisting dan *release* hasil pemodelan

Gambar 4 menunjukkan bahwa besarnya *release* dengan menggunakan pemodelan optimasi masih dapat memenuhi kebutuhan air yang lebih banyak dibanding *release* kondisi eksisting. Pada periode agustus terjadinya pelepasan minimum baik pada kondisi eksisting dan hasil optimasi. Pada akhir periode tahunan, pemodelan optimasi menghasilkan *release* untuk mendekati tempungan awal sedangkan kondisi eksisting pada akhir periode *release* yang dikeluarkan berupa *relese* minimum.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil optimasi dengan pemodelan CSUDP keandalan waduk meningkat menjadi 94,79% dari keandalan sebesar 71,66% pada waduk eksisting. Hal ini berarti waduk hasil pemodelan optimasi dapat memenuhi kebutuhan air sebesar 23,13% lebih besar dari eksisting. Nilai kelentingan pada pengoperasian waduk hasil optimasi sebesar 0,17, dengan T_{gagal} 5,83 periode serta besarnya defisit air dalam pemenuhan kebutuhan pada waduk sebesar 515,7 juta m³. Pada waduk eksisting memiliki nilai kelentingan 0,1, total deficit air 2741,33 juta m³ dengan nilai maksimum deficit sebesar 33,14 juta m³.

Saran dari penelitian ini yaitu untuk operasi waduk yang lebih optimal maka perlu dilakukan metode penanganan sedimentasi secara intensif untuk menjaga kapasitas tampungan waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprizal, A. 2003. *Optimasi Waduk Menggunakan Program Dinamik Stokastik (Kasus Waduk Saguling Jawa Barat)*. Thesis, Universitas Diponegoro, Semarang.
- BBWS Pompengan Jeneberang. 2020. *Laporan Sertifikasi Operasi Dan Pemeliharaan Bendungan Bili-Bili*. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian PUPR, Jakarta.
- Jamil, F. 2019. *Optimasi Kinerja Waduk Logung*. Thesis, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Labadie, J. W. 2004. Optimal operation of multireservoir systems: State-of-the-art review. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(2), 93-111.

- LPM, UNHAS. 2004. *Laporan Akhir ANDAL Pekerjaan Pengendalian Sedimen Akibat Longsor Dinding Kaldera Gunung Bawakaraeng*. Lembaga Pengabdian pada Masyarakat Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Miller, E. R. 2000. *Optimization – Foundations and Applications*. Wiley–Interscience Publication, Canada.
- Suharyanto. 1997. Analisis Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, VIII.
- Suseno, D., Airlangga, M., Risdiana, C.A. and Lilis, S. 2014. Optimasi Waduk Jatigede untuk Memenuhi Kebutuhan Air Daerah Irigasi Rentang. *In Prosiding Seminar Nasional Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXXI HATHI*, pp. 1-10.
- Wulandari, D.A., Darsono, S. and Kurniani, D. 2019. Optimization of Gunungrowo Reservoir operation. *In MATEC Web of Conferences*, 270, p. 04016.