

Kajian Optimasi Pengoperasian Waduk Malahayu

Ohan Farhan

Fakultas Teknik Sipil, Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon

Abstrak

Waduk Malahayu merupakan salah satu waduk buatan yang berada pada daerah aliran sungai Kabuyutan bagian hulu. Sejak Waduk Malahayu dioperasikan pada tahun 1940 sampai sekarang, Waduk Malahayu direncanakan dapat menampung air 69 juta m^3 dengan luas muka air 9,25 km^2 , tujuan di bangunnya waduk malahayu ini untuk menyuplai areal irigasi sebesar 12,674 Ha dengan rincian DI Kabuyutan 4.166 Ha, DI Jengkelok 6.173 Ha, DI Babakan 2.335 Ha. Kondisi persediaan air di Waduk Malahayu terus menyusut yang diduga akibat adanya sedimen yang cukup tinggi. Untuk meningkatkan kinerja Waduk Malahayu, diperlukan data pendukung berupa: system dan kinerja operasional waduk, data hidrologi, prosedur dan pembuatan pola pengoperasian waduk, dan data irigasi. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pengoperasian Waduk Malahayu kurang optimal karena berdasarkan hasil analisis simulasi operasi waduk menunjukkan bahwa volume air Waduk Malahayu dibawah volume normal. Minimum Operating Level (MOL). Berdasarkan catatan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Cimanuk-Cisanggarung, Sejak Waduk Malahayu dibangun pada jaman Pemerintahan Kolonial Belanda sampai sekarang, kondisi persediaan air di Waduk Malahayu terus menyusut.

Kata Kunci : Operasi, Optimasi, Simulasi, Waduk.

PENDAHULUAN

Pada umumnya waduk berfungsi sebagai tempat untuk menampung, mengeluarkan / menyalurkan air yang sebagian besar dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian atau untuk beberapa kepentingan lainnya diantaranya yaitu untuk pengendalian banjir pada saat musim hujan, budi daya ikan air tawar dan juga sebagai tempat sarana rekreasi / pariwisata. Air yang ditampung dalam waduk utamya berasal dari aliran permukaan dan yang berasal dari air hujan langsung (Yuono, 2012). Waduk merupakan tempat untuk menampung dan menabung air secukupnya pada musim basah, sehingga air itu dapat dimanfaatkan pada musim kering. Sebagian besar waduk dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian atau untuk beberapa kepentingan lainnya diantaranya yaitu untuk pengendalian banjir pada saat musim hujan, budi daya ikan air tawar dan juga sebagai tempat sarana rekreasi / pariwisata.

Dalam upaya peningkatan kinerja waduk beberapa data pendukung yang dibutuhkan adalah, sistem dan kinerja operasional waduk, data hidrologi, prosedur dan pembuatan pola

pengoperasian waduk, dan data irigasi. Sistem dan kinerja waduk faktor-faktor yang perlu diperhatikan diantaranya adalah kapasitas tampung waduk, banjir rencana dan penuluruhan banjir, perkiraan air masuk, jadwal pengisian air dan prosedur pengeluaran air, serta petunjuk pengoperasian waduk. Sedangkan penyusunan pola operasi waduk hal yang perlu diperhatikan adalah masukan dan keluaran air waduk. Air yang masuk ke Waduk dapat berupa aliran air yang masuk dari sungai, dari daerah sekelilingnya dan dari curah hujan yang jatuh langsung pada permukaan waduk. Sedangkan keluaran dari Waduk merupakan total dari seluruh kebutuhan seperti untuk irigasi, air baku dan perikanan.

Perhitungan hidrologi yang dibutuhkan untuk pengukuran kinerja waduk meliputi curah hujan rata-rata DAS, curah hujan efektif, metode Hidrograf Satuan Sientis (HSS) Nakayasu, dan debit andalan. Curah hujan yang digunakan untuk menyusun rencana pemanfaatan air maupun pengendalian banjir dalam suatu wilayah adalah curah hujan rata-rata dan bukan menggunkan curah hujan pada titik tertentu

(Djafar, Limantara, & Asmaranto, 2015). Curah hujan dapat dihitung dengan beberapa metode diantaranya Aritmatic mean, Thiesen, dan metode Isohyet

Waduk Malahayu merupakan waduk buatan yang berada pada hulu DAS Kabuyutan dan secara administratif berada di Kabupaten Brebes. Waduk Malahayu dioperasikan untuk menampung air dari sungai Kabuyutan dan beberapa sungai kecil lainnya. Daya tampung waduk Malahayu mencapai 69 juta m³ dan digunakan untuk menyuplai daerah irigasi Kabuyutan 4.166 Ha, Jengkelok 6.173 Ha serta daerah irigasi Babakan seluas 2.335Ha. Pada saat musim hujan waduk Malahayu tidak mengeluarkan air, tetapi pada musim hujan harus diusahakan agar aaduk bisa mencapai volume yang maksimal yaitu 47 juta m³. Sedangkan pada musim kemarau air waduk dialirkan untuk memenuhi kebutuhan tanaman padi, palawija dan tebu. Setiap tahunnya pengeluaran air akan dimulai pada bulan Juni dan Juli, dimana keadaan air pada daerah-daerah pengaliran yang dimaksud sudah tidak mencukupi lagi untuk kebutuhan tanaman. Akibat adanya sedimentasi waduk Malahayu, dimana endapan sedimen saat ini telah mencapai 30 juta m³ menyebabkan waduk Malahayu terus mengalami penyusutan kinerja waduk. Endapan pada tiga saluran induk dan saluran sekunder Tanjung serta kerusakan pada bangunan pembagi dan pintu bendung juga menambah permasalahan bagi waduk Malahayu. Berdasarkan latar belakang diatas tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis hidrologi dan kinerja irigasi waduk Malahayu.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Waduk Malahayu Kabupaten Brebes. Data yang diperlukan meliputi peta DAS, data klimatologi, curah hujan harian 10 tahun (2006-2015), kebutuhan irigasi, debit air, evaporasi, dan karakteristik waduk. Peta DAS digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata. Curah hujan harian dihitung denagn

metode poligon Thiesen untuk mendapatkan curah huja rerata dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{A_1}{A} + \frac{A_2}{A} + + \frac{A_n}{A}$$

$$= w_1 + R_1 + w_2 + R_2 + + w_n + R_n$$

Dimana :

A = Luas daerah aliran (km²)

An = Luas daerah pengaruh stasiun n (km²)

Wn = Faktor pembobot daerah pengaruh stasiun n

Rn = Tinggi hujan pada stasiun n (mm)

Data kebutuhan irigasi digunakan untuk mengetahui besarnya debit inflow dan outflow waduk Malahayu, meliputi D.I. Kabuyutan, D.I. Jengkolak, D.I Babakan. Sedangkan karakteristik waduk yang digunakan data tumpungan aktif, data tumpungan mati, luas genangan waduk, volume efektif waduk, dan tinggi muka air waduk. Data tersebut digunakan dalam perhitungan optimasi waduk menggunakan *rule curve*. Simulasi waduk berdasarkan tumpungan dilakukan berdasarkan hasil analisis evaporasi, kebutuhan air irigasi dan data debit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Curah Hujan Efektif

Koefisien curah hujan efektif ½ bulanan disajikan pada Tabel 1, sedangkan data curah hujan ½ bulanan stasiun Waduk Malahyu disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Koefisien curah hujan efektif ½ bulanan

Hujan ½ Bulanan (mm)	% Efektif
0 – 15	0
15 – 50	70
50 – 75	60
75 – 100	45
100 – 250	40
> 250	-

Sumber : Direktorat Jendral Pengairan. Dept. PU ” A Review of The Feasibility of Jatigede Dam Project” Okt 1983

Berdasarkan nilai koefisien curah hujan efektif pada Tabel 1 dan curah hujan ½

bulanan pada Tabel 2 dilakukan perhitungan curah hujan efektif ½ bulanan yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Curah Hujan ½ Bulanan Stasiun Waduk Malahyu

No	Tahun	Bulan																							
		Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	2006	307	157	303	185	208	132	298	91	78	41	46	-	-	19	-	-	-	-	-	-	32	178	103	120
2	2007	120	219	170	190	201	107	110	107	25	203	55	19	8	89	-	-	-	-	-	17	113	39	100	137
3	2008	137	117	134	159	113	225	259	188	51	85	27	21	-	-	10	20	3	1	64	80	198	153	140	367
4	2009	251	118	124	368	215	39	88	182	54	125	82	-	-	-	-	-	3	51	56	36	160	79	295	
5	2010	242	339	210	188	145	296	105	251	180	110	148	66	38	82	32	60	138	93	108	112	127	67	167	101
6	2011	53	241	255	130	289	280	284	16	189	57	10	25	8	8	-	-	1	-	-	432	121	89	86	303
7	2012	150	205	185	72	245	143	181	15	140	105	18	-	-	-	-	-	-	-	12	49	48	114	224	206
8	2013	212	301	47	45	383	157	359	150	38	151	125	78	212	41	-	-	8	-	-	154	139	151	203	141
9	2014	100	143	96	184	300	92	149	149	72	187	27	121	23	15	28	-	-	-	-	21	97	104	228	155
10	2015	401	411	330	180	248	137	72	277	207	58	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	179	149	104	225
Rata-Rata 1/2 Bulanan		197	225	183.4	168.1	233	161	191	144	103	110	54	55	48	42	23	40	36	32	58	75	109	120	141	206
Mean		170	206	160	147	221	140	166	103	82	97	32	43	16	28	21	35	8	7	45	58	93	110	130	188

Sumber : Balai Besar Cimanuk-Cisanggarung

Tabel 3. Curah Hujan Efektif Waduk Malahayu

Bulan	Periode	Rata-Rata 1/2 Bulanan (mm)	Mean (%)	% Efektif	Curah Hujan Efektif 1/2 Bulanan (mm)
1	2	3	4	5	6 = 4 x 5
JAN	I	197	170	40	6812
	II	225	206	40	8258
FEB	I	183	160	40	6415
	II	168	147	40	5890
MAR	I	233	221	40	8852
	II	161	140	40	5603
APR	I	191	166	40	6625
	II	144	103	40	4104
MEI	I	110	82	45	3680
	II	110	97	60	5813
JUN	I	54	32	70	2215
	II	55	43	70	3001
JUL	I	48	16	70	1131
	II	42	28	70	1980
AGS	I	23	21	70	1454
	II	40	35	70	2425
SEP	I	36	8	70	526
	II	32	7	70	457
OKT	I	58	45	70	3137
	II	75	58	60	3499
NOP	I	109	93	45	4163
	II	120	110	45	4970
DES	I	141	130	40	5191
	II	205	188	40	7520

Sumber : Hasil Analisis Perhitungan

Analisis curah hujan efektif menunjukkan bahwa curah hujan efektif ½ bulanan tertinggi wilayah waduk Malahayu terjadi pada bulan bulan Maret periode ½ bulan pertama sebesar 8852 mm. Sedangkan curah hujan efektif ½

bulanan terendah terjadi pada bulan September periode kedua sebesar 457 mm.

Analisis Inflow Menggunakan Metode Hidrograf Sintesis Nakayasu

Hidrograf sintesis Nakayasu merupakan salah satu cara untuk memperoleh hidrograf banjir rancangan pada suatu DAS (Sutapa, 2005). Hasil analisis dengan metode Hidrograf Sintesis Nakayasu pada waduk Malahayu disajikan pada Tabel 4, sedangkan hidrograf dari curah hujan efektif 1 mm disajikan pada Gambar 1.

Tabel 4. Hidrograf Sintesis Nakayasu

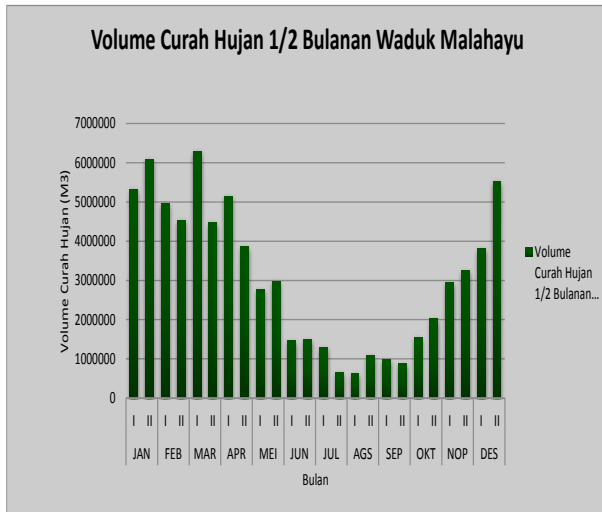
Parameter	Satuan	Nilai
$t_g = 0,4 + 0,058 \cdot L$	jam	1.096
$a = 0,47 + (A.L)^{0,25} / t_g$		4.341
$t_r = (0,5 - 1 t_g)$	jam	0.712
$T_p = t_g + 0,8 t_r$	jam	1.666
$T_{0,3} = a \cdot t_g$	jam	4.758
$0,5 \times T_{0,3}$	jam	2.379
$1,5 \times T_{0,3}$	jam	7.137
$2,0 \times T_{0,3}$	jam	9.516
$T_p \times T_{0,3}$	jam	7.926
$T_p + T_{0,3} + 1,5 \times T_{0,3}$	jam	13.560
$Q_p = \frac{1}{3,6} \times A \times \frac{R_0}{(0,3T_p + T_{0,3})}$	m ³ /det	1.427

Sumber : Hasil Analisis Perhitungan



Gambar 1. Grafik Hidrograf dari Hujan Efektif 1 mm

Volume curah hujan ½ bulanan waduk Malahayu disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, volume CH ½ bulanan tertinggi terjadi pada bulan Maret periode I (6282900 m³), sedangkan volume CH ½ bulanan terendah terjadi pada bulan Agustus periode I (630000 m³).



Gambar 2. Volume Curah Hujan ½ Bulanan Waduk Malahayu

Evapotranspirasi dan Volume Inflow-Outflow ½ Bulanan Waduk Malahayu

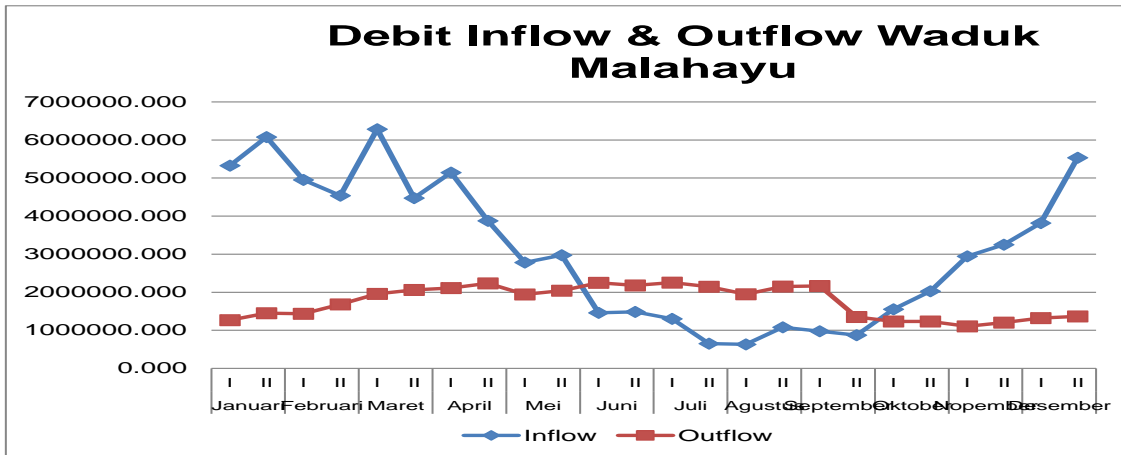
Inflow menggambarkan jumlah air yang masuk waduk baik yang berasal dari sungai dan daerah sekeliling maupun dari curah hujan yang langsung jatuh di permukaan waduk. Sedangkan *outflow* merupakan total kebutuhan air baik untuk irigasi, air baku, dll termasuk jumlah air yang dievaporasikan. Data klimatologi yang

digunakan dalam penghitungan evapotranspirasi meliputi lama penyinaran matahari, kecepatan angin, kelembapan udara, dll. Analisis volume *inflow* dan *outflow* waduk Malahayu disajikan pada Tabel 5 dan grafik debit *inflow-outflow* disajikan pada Gambar 3.

Tabel 5. Volume *Inflow-Outflow* Waduk Malahayu

Bulan	Periode	Inflow	Outflow		
			Gorong ² (Tunnel) (m ³)	Evaporasi (m ³)	Jumlah air yang keluar (m ³)
Januari	I	5325750	525435	740000	1265435
	II	6077700	618544	832500	1451044
Februari	I	4951800	443208	989750	1432958
	II	4538700	462151	1221000	1683151
Maret	I	6282900	488511	1470750	1959261
	II	4476248	479926	1581750	2061676
April	I	5143500	529884	1579401	2109285
	II	3877200	484518	1748250	2232768
Mei	I	2781000	499349	1443000	1942349
	II	2975400	560711	1480000	2040711
Juni	I	1458000	501605	1748250	2249855
	II	1485000	452368	1729750	2182118
Juli	I	1300500	377994	1877750	2255744
	II	651857	407227	1739000	2146227
Agustus	I	630000	366001	1581750	1947751
	II	1080000	391236	1757500	2148736
September	I	978750	332351	1831500	2163851
	II	873000	360348	990490	1350838
Oktober	I	1552500	226284	1005364	1231648
	II	2028375	190600	1043086	1233686
Nopember	I	2943000	120793	982452	1103245
	II	3250800	106608	1094969	1201577
Desember	I	3817800	425813	897250	1323063
	II	5535000	535629	832500	1368129

Sumber : Hasil Analisis Perhitungan



Gambar 3. Debit *Inflow-Outflow* Waduk Malahayu

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa debit inflow waduk Malahayu mengalami fluktuasi pada periode I bulan Januari sampai periode I April dan setelah itu debit inflow menurun. Memasuki musim hujan debit inflow mulai mengalami peningkatan.

Analisis Simulasi Operasi Waduk Malahayu

Persamaan dasar dalam simulasi waduk yaitu persamaan dasar simulasi neraca air yang merupakan fungsi dari masuk (*inflow*), keluaran (*outflow*) dan tampungan waduk yang dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$S_{t-1} = S_t + Inflow - Evaporasi - Outflow$$

Dimana :

S_{t-1} : Volume waduk pada periode t-1 (m^3)

S_t : Volume waduk pada periode t (m^3)

Adapun kebijakan dalam operasi waduk tahunan diasumsikan sebagai berikut :

- a. Pada bulan mulainya tahun hidrologi yaitu bulan oktober, volume waduk diasumsikan 1/2 volume efektif waduk.

$$S_t = 0,5 (S_{FSL} - S_{MOL}) + S_{MOL}$$

S_t : Volume waduk pada periode t (m^3)

S_{FSL} : Volume waduk pada "full supply level" (m^3)

S_{MOL} : Volume waduk pada "minimum operating level" (m^3)

- b. Jika *inflow* bulanan dan *outflow* bulanan menyebabkan muka air di waduk melebihi FSL maka *outflow* harus diperbesar sedemikian, sehingga muka

air waduk tidak melebihi FSL. Demikian pula jika akibat *inflow* dan *outflow* bulanan menyebabkan muka air di waduk lebih rendah dari MOL maka *outflow* harus dikurangi sedemikian, sehingga muka air waduk tidak turun dibawah MOL, maka kondisi ini harus dapat dipenuhi.

$$R_i = S_{i-1} + Q_i - S_{MOL}$$

Jika $S_{i-1} + Q_i - R_d < S_{MOL}$

$$R_i = R_d$$

Jika $S_{FSL} \geq S_{i-1} + Q_i - R_d \geq S_{MOL}$

$$R_i = S_{i-1} + Q_i - S_{FSL}$$

Jika $S_{i-1} + Q_i - R_d > S_{FSL}$

Dimana :

R_i = *outflow* bulan yang nyata pada bulan i (m^3)

S_{i-1} = Volume waduk pada bulan i - 1 (m^3)

Q_i = *inflow* bulanan pada bulan i (m^3)

R_d = *outflow* bulanan yang sesuai dengan kebutuhan (m^3)

➤ Perhitungan Operasi Waduk

Diketahui :

$$S_{FSL} = 31.000.000 \text{ m}^3 \quad \text{dengan} \quad Elv_{FSL} = + 57,75 \text{ m}$$

$$S_{MOL} = 535.598,33 \text{ m}^3 \quad \text{dengan} \quad Elv_{MOL} = + 47 \text{ m}$$

$$S_t = 0,5 (S_{FSL} - S_{MOL}) + S_{MOL} = (0,5 (31.000.000 - 535.598,33)) + 535.598,33 = 15.767.799,17 \text{ m}^3$$

Untuk perhitungan S_{t-1} disajikan pada tabel berikut ini :

$$S_{t-1} = S_t + Inflow - \text{Evaporasi Outflow}$$

Cek terhadap Elv_{FSL} dan Elv_{MOL} jika hasilnya "ok" lanjutkan jika "tidak ok" maka outflow harus disesuaikan.

Tabel 6. Kebutuhan Air Tanaman

Golongan	Jenis Tanaman	POLA TANAM												Keterangan			
		Masa Tanam I			Masa Tanam II			Masa Tanam III			Masa Tanam IV				Des		
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Ok	Nop	D				
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
I	Padi	5,564			5,564												
	Tebu	555			555												
	Palawija	387	5,790	4,121	387												
	Jumlah	6,305			6,305												
	Padi	235			235			25									
II	Padi	191			191									191			
	Palawija																
	Jumlah	426			426												
	Padi	3,044			3,044						1,424						
	Padi	858			858									858			
	Palawija	233	1,853	3,277	233												
	Jumlah	4,135			4,135						1,853						
	Jumlah	17,065			17,065												
II. BAGAN RENCANA PEMBAGIAN AIR																	
	Satuan Kebutuhan Air (SKA)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Palawija	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Tebu	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Padi	2,464	3,758	3,758	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516	7,516
	Padi	234	423	578	778	924	924	924	924	924	924	924	924	924	924	924	924
	Palawija																
	Tebu	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
	Jumlah	2,754	4,391	4,391	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785
a. Kebutuhan Air Reser		3,442.71	3,678.74	5,488.92	5,384.82	9,824.12	10,401.41	9,844.04	6,880.64	6,880.64	2,579.64	2,579.64	2,579.64	571.64	626.64	69.64	228.64
b. Kebutuhan Air Sekunder		3,787.40	4,047.40	6,038.40	6,038.40	10,807.40	11,441.40	10,807.40	7,579.40	7,579.40	2,837.40	2,837.40	2,837.40	608.40	668.40	76.40	198.40
c. Kebutuhan Air Primer		3,976.33	4,249.42	6,340.60	6,340.60	11,887.14	12,585.14	11,887.14	7,958.14	7,958.14	2,979.14	2,979.14	2,979.14	640.14	694.14	80.14	188.14
d. Jumlah Kebutuhan Tanaman		3,976.33	4,249.42	6,340.60	6,340.60	11,887.14	12,585.14	11,887.14	7,958.14	7,958.14	2,979.14	2,979.14	2,979.14	640.14	694.14	80.14	188.14
e. Kebutuhan Lain-lain																	
f. Jumlah Kebutuhan (f+a)		4,005.42	4,299.42	6,390.60	6,345.42	11,837.14	12,635.14	11,420.14	7,958.14	7,958.14	3,029.14	3,029.14	3,029.14	690.14	770.14	130.14	230.14

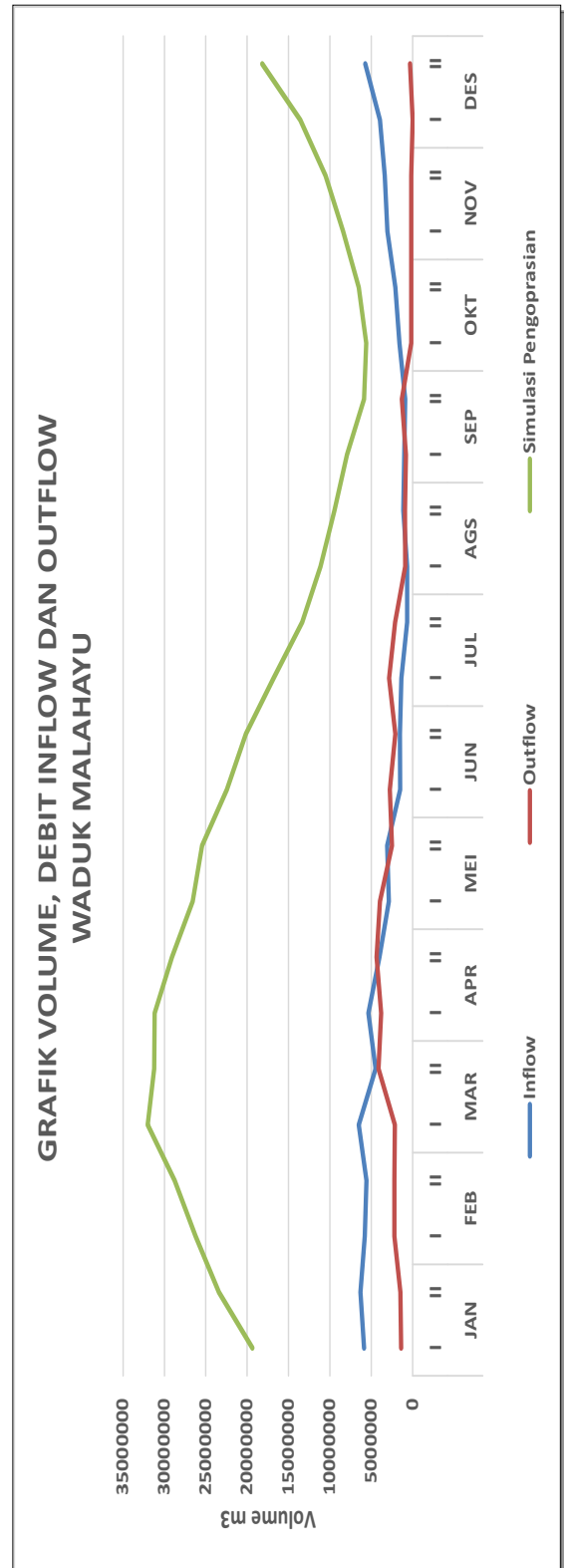
Hasil simulasi operasi waduk Malahayu berdasarkan volume outflow dan evaporasi disajikan pada Tabel 7. Sedangkan grafik

volume debit, inflow dan outflow disajikan pada Gambar 4.

Tabel 7. Simulasi Operasi Waduk Malahayu

Bulan	Periode	S_t	Inflow	Evaporasi	Outflow	S_{t+1}	Keterangan
JAN	I	15767799	5874400	878750	1391501	19371948	
	II	19371948	6302800	786250	1485715	23402783	
FEB	I	23402783	5783400	740000	2208282	26237901	
	II	26237901	5573400	832500	2208282	28770518	
MAR	I	28770518	6515600	1110000	2158421	32017698	
	II	32017698	4476248	1137750	4125596	31230599	
APR	I	31230599	5334000	1579401	3802324	31182874	
	II	31182874	4020800	1748250	4366738	29088687	
MEI	I	29088687	2884000	1443000	3946708	26582979	
	II	26582979	3085600	1729750	2485809	25453020	
JUN	I	25453020	1512000	1748250	2767487	22449283	
	II	22449283	1540000	1729750	2093710	20165823	
JUL	I	20165823	1348667	1859250	2856402	16798838	
	II	16798838	676000	2016500	2109372	13348965	
AGS	I	13348965	653333	1970250	893950	11138099	
	II	11138099	1120000	1877750	919908	9460441	
SEP	I	9460441	1015000	1729750	817811	7927879	
	II	7927879	905333	1665000	1300949	5867264	
OKT	I	5867264	1610000	1692750	168678	5615835	
	II	5615835	2103500	1043086	168678	6507571	
NOV	I	6507571	3052000	982452	168678	8408441	
	II	8408441	3371200	1094969	168678	10515994	
DES	I	10515994	3959200	897250	0	13577944	
	II	13577944	5740000	832500	309744	18175700	

Sumber : Hasil Analisis Perhitungan



Gambar 4. Grafik Volume, Debit & Outflow

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pengoperasian Waduk Malahayu masih kurang optimal karena berdasarkan hasil analisis simulasi operasi waduk menunjukkan bahwa volume air Waduk Malahayu masih dibawah *Minimum Operating Level (MOL)*. Pada saat-saat dimana air tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman dengan pengaliran menerus, maka pemberian air tanaman dilakukan secara bergilir.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1986. "Standar Perencanaan Irigasi (KP-01), Direktorat Jendral Pengairan DPU RI". Bandung : Galaxy Persada.
- Djafar, H., Limantara, L. M., & Asmaranto, R. (2015). Studi Analisa Kebutuhan Jumlah Stasiun Hujan Berdasarkan Evaluasi Perbandingan Antara Analisa

Hidrograf Banjir Dan Banjir Historis Pada Das Limboto Provinsi Gorontalo. *Jurnal Teknik Pengairan*, 5(2), 172–181.

Sutapa, I. W. (2005). Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan di Daerah Aliran Sungai Kodina. *Mektrik*, 7(1).

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. Pedoman Pengoperasian Waduk Tunggal

Linsley, R.K dan Joseph B. Franzini, 1984. Teknik Sumber Daya Air. Diterjemahkan oleh Djoko Sasongko. Jakarta : Erlangga.

Yuono, T. (2012). Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi Waduk Cengklik. *Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 12(16).