

EVALUASI KINERJA POLA OPERASI WADUK (POW) WONOGIRI 2014

Dinia Anggraheni¹, Rachmad Jayadi², dan Istiarto³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Email: dinia.anggraheni@uii.ac.id

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Email: rjayadi@ugm.ac.id

³Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Email: istiaro@ugm.ac.id

ABSTRACT

Wonogiri Reservoir is one of the reservoirs in Central Java which is a multifunctional reservoir. The reservoir serves many functions as flood control, irrigation and raw water supply, and hydropower (PLTA). For managing the fulfillment of these functions, Wonogiri Reservoir has a Reservoir Operating Rule to adjust the elevation and release discharge every mid-month. However, There was for the condition of Wonogiri Reservoir in October 2014. The water level of October 30, 2014, was at +126,66 m, while in Reservoir Operating Rule, the water level was supposed to be at +127,63 m. Therefore, the operating rule performance needs to evaluate, especially in 2014. The evaluation step began by conducting a water balance study with the demand for irrigation water and raw water, actual release, and inflow into the reservoir. The next step was optimizing the operating rule of the reservoir by the objective function of maximizing the comparison between release and demand for the fulfillment of irrigation water with 10 years data. The final step was evaluating the Wonogiri Reservoir Operating Rule in 2014 using a new operating rule generated from the optimization process. Based on the results of the study can be concluded that the inflow that occurred in 2014 can fulfill the needs of irrigation water and maintain elevation in accordance with the operating rule in 2014.

Keywords: *evaluasi pola operasi, optimasi waduk, waduk*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, dan beton, yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Peraturan Menteri PUPR, 2015)

Waduk merupakan proyek infrastruktur yang tidak hanya selesai pada proses pembangunan, tetapi berlanjut dalam proses pengembangan dan manajemen yang baik

oleh pemerintah agar air dapat dimanfaatkan secara optimal bagi kepentingan negara dan masyarakat.

Waduk Wonogiri merupakan salah satu waduk di Jawa Tengah. Waduk serba guna (*multipurpose reservoir*) yang memiliki fungsi sebagai pengendali banjir, pemasok air irigasi, pembangkit listrik (PLTA), dan pemenuhan air baku.

Berbagai fungsi yang dilayani oleh Waduk Wonogiri mengharuskan waduk mampu mengatur air yang dikeluarkan untuk mencapai keuntungan maksimal. Oleh karena itu, diperlukan suatu kebijakan berupa

Pola Operasi Waduk (POW) Wonogiri. POW Wonogiri dijadikan dasar dalam menentukan debit *outflow* untuk mencukupi kebutuhan air irigasi dan air baku baik kebutuhan domestik maupun industri.

Seiring berjalannya waktu, Waduk Wonogiri mengalami banyak permasalahan terutama permasalahan sedimentasi yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas waduk. Pada musim kemarau, air waduk yang tertampung tidak mampu maksimal

sehingga menyebabkan waduk dalam kondisi kering seperti pengamatan yang dilakukan pada tanggal 30 Oktober 2014 dan ditunjukkan pada Gambar 1 dan sebaliknya pada saat musim hujan, kapasitas maksimum waduk cepat terpenuhi, akibatnya terjadi banjir di daerah hilir.



Gambar 1. Kondisi Kering Waduk Wonogiri pada Pengamatan Tanggal 30 Oktober 2014 dengan Elevasi tercatat 126,66 m

Dalam hal ini, POW sangat berperan penting untuk mengatur debit *outflow* sesuai kondisi *inflow* dan dapat memenuhi kebutuhan secara maksimal dengan syarat minimal dan maksimal tampungan waduk dapat terpenuhi. Namun, pada tahun 2014, berdasarkan hasil pengamatan tinggi muka air (TMA) pada tanggal 30 Oktober 2014, elevasi di Waduk Wonogiri berada di +126,66 m, sedangkan di POW 2013-2014 telah ditetapkan elevasi berada pada +127,63 m. Hal tersebut menjadi latar belakang perlunya evaluasi terhadap POW Wonogiri 2014. Penelitian ini akan melihat debit *inflow* yang terjadi dibandingkan dengan kebutuhan air dari Waduk Wonogiri. Selain itu, akan dilakukan optimasi dengan fungsi tujuan memaksimalkan perbandingan antara debit

actual release dengan kebutuhan air irigasi atau faktor k .

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah melakukan evaluasi terhadap kebijakan Pola Operasi Waduk (POW) Wonogiri.

POLA OPERASI WADUK

Kebijakan pola operasi dalam sistem sumberdaya air berfungsi untuk manajemen air dalam sistem. Kebijakan tersebut dikhususkan untuk menerima peraturan sistem pengaliran dan sistem kebutuhan dengan suatu cara optimasi dengan memaksimalkan tujuan operasi yang biasanya berkaitan erat dengan keuntungan. Kebijakan pola operasi biasanya didesain

untuk waktu yang bervariasi sesuai kebutuhan airnya serta persediaan air yang bersifat stokastik. Kebijakan pola operasi biasanya disusun atas dasar bulanan ataupun sesuai dengan sistem yang ada (Mays & Tung, 1992).

Kebijakan operasi waduk sangat dipengaruhi oleh permintaan stakeholder. Suen, dkk (2009) pernah melakukan evaluasi terhadap potensi operasi Waduk Shihmen pada komunitas ikan di Taiwan. Proses pembuatan kebijakan ditentukan berdasarkan kebutuhan aliran dari komunitas ikan dengan pendekatan dengan penggabungan prasyarat ekologi dan riwayat kebutuhan komunitas ikan. Kebijakan operasi waduk yang telah disusun tentu akan menyebabkan perubahan hidrologi, tetapi memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan air, sehingga perlu adanya perbaikan dalam integritas ekologi dalam jangka panjang.

OPTIMASI WADUK

Penyelesaian atau pembuatan kebijakan operasi waduk tidak bisa terlepas dari optimasi untuk menentukan keuntungan maksimal dan atau kerugian minimal demi optimalnya pemanfaatan air waduk.

Teknik optimasi yang sering digunakan dalam operasi waduk di antaranya adalah dengan metode kalkulus, program linier, program non-linier, program dinamik, operasi *real time*, dan teknik simulasi.

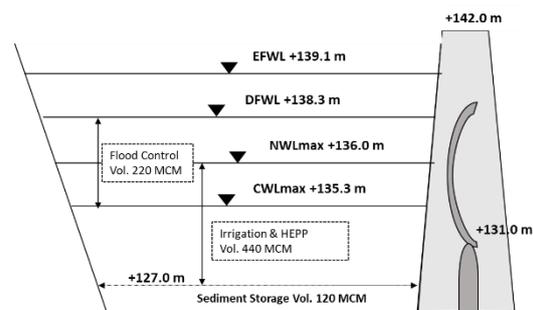
Hilmi, dkk (2012) melakukan optimasi pola operasi Waduk Pelaparado di Kabupaten Bima, Provinsi NTB dengan program dinamik. Tujuan optimasi adalah dengan memaksimalkan keuntungan produksi pertanian dalam rupiah. Optimasi yang dilakukan merupakan teknik optimasi dengan menggunakan program dinamik.

Wesli (2013) juga melakukan optimasi terhadap kebutuhan air Waduk Keuliling dengan teknik optimasi dengan program linier. Tujuan optimasi adalah mengoptimalkan volume tampungan air

waduk setiap bulan. Proses optimasi dibantu dengan *software* LINDO. Hasil dari proses optimasi adalah volume tampungan setiap akhir bulan Oktober, November, dan Januari yang memperlihatkan bahwa tidak pernah terjadi level tampungan mati.

KARAKTERISTIK WADUK WONOGIRI

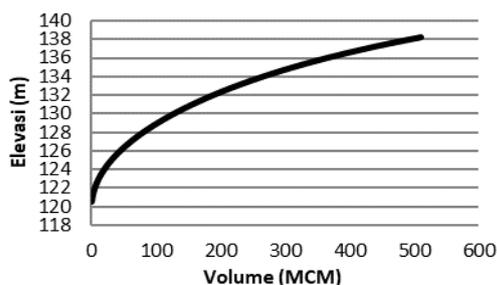
Pembagian zona tampungan Waduk Wonogiri dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Zona Tampungan Waduk Wonogiri

Pembagian zona tampungan Waduk Wonogiri yaitu kondisi *Extra Flood Water Level* (EFWL) dengan elevasi +139,1 m, *Design Flood Water Level* (DFWL) dengan elevasi +138,3 m, *Normal Water Level* (NWL) dengan elevasi +136,0 m, *Control Water Level* (CWL) dengan elevasi +135,3 m, *Low Water Level* (LWL) dengan elevasi +127,0 m, dan *Sediment storage capacity* sebesar 120.000.000 m³. Kapasitas bruto yang cenderung mengalami penurunan dari 1984 ke 2008 sebesar 560.000.000 m³ menjadi 391.281.000 m³, sedangkan Kapasitas efektif sebesar 340.000.000 m³ pada tahun 1984 menjadi 332.949.000 m³ pada tahun 2008.

Kurva karakteristik tampungan Waduk Wonogiri juga dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Kurva Karakteristik Tampungandan Waduk Wonogiri Tahun 2014

Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$S = -5.548.363,999 + 220.875,743E - 3.515,221E^2 + 27,964E^3 - 0,111E^4 + 0,000177E^5 \quad (1)$$

Keterangan:

S : volume tampungan air waduk (MCM),

E : elevasi muka air waduk (m).

Kapasitas Waduk Wonogiri dapat disimpulkan mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Kurva tersebut dapat membantu melihat hubungan elevasi dengan kapasitas tampungan waduk.

METODE PENELITIAN

Alur kerja penelitian dimulai dari tahap studi pustaka, perolehan data sekunder, analisis kebutuhan air irigasi, air baku, dan pengolahan data *inflow*, kemudian melakukan optimasi untuk menghasilkan pola operasi optimum waduk, yang kemudian dilakukan evaluasi terhadap Pola Operasi Waduk Wonogiri tahun 2014.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Peta Lokasi Waduk Wonogiri
2. Data Teknis Waduk Wonogiri
3. Data Hidrologi dan Monitoring
 - a. Data Elevasi Waduk Harian
 - b. Evaporasi bulanan 2001-2012
 - c. Karakteristik Waduk Wonogiri 2005-2008

- d. Data *Outflow* Waduk Harian 2005-2014
4. Pola Operasi Waduk Wonogiri 2011-2012, 2012-2013, dan 2013-2014
5. Kebutuhan Air Irigasi
6. Kebutuhan Air Baku

Tahap pengolahan data dijabarkan sebagai berikut ini.

1. Menghitung kebutuhan air tiap setengah bulan. Kebutuhan air setiap setengah tahun meliputi kebutuhan air irigasi dan air baku, karena air untuk PLTA akan sama dengan kebutuhan air yang dikeluarkan oleh waduk.
2. Menghitung data *inflow* waduk tiap tengah bulan. Data *inflow* merupakan hasil dari analisis kesetimbangan air yang diperoleh dari data elevasi muka air tahun 2005-2014, debit *outflow* tahun 2005-2011, dan kurva karakteristik Waduk Wonogiri tahun 2005, 2008, 2011, dan 2014. Data elevasi dan *outflow* merupakan data harian yang diambil pada pukul 24:00 di pencatatan harian Waduk Wonogiri. Kurva karakteristik Waduk Wonogiri digunakan untuk mengetahui tampungan awal dan akhir dengan memasukkan data elevasi ke dalam persamaan hubungan elevasi dan tampungan.
3. Menganalisis imbalan air waduk dari hasil analisis kebutuhan air, *inflow*, dan *outflow* yang sebenarnya terjadi pada tahun 2014.
4. Melakukan klasifikasi data *inflow* untuk beberapa kategori/kelas *inflow* kedalam kategori rendah, sedang, dan tinggi,
5. Melakukan optimasi waduk dengan program dinamik stokastik dengan fungsi tujuan memaksimalkan faktor k yaitu nilai perbandingan antara *release* aktual irigasi dengan kebutuhan irigasi. Iterasi optimasi dalam satu siklus dilakukan dengan algoritme mundur dari tengah bulan terakhir sampai tengah bulan pertama. Hitungan diulang dengan persamaan rekursif yang pada akhirnya

nilai awal hasil sistem pada tengah bulan terakhir sama dengan masukan pada tengah bulan pertama iterasi sebelumnya. Hitungan selesai dengan dipenuhinya kriteria konvergensi.

6. Membuat pola operasi waduk optimum sesuai kondisi muka air banjir dan nonbanjir yang disesuaikan juga dengan kebutuhan air yang harus dikeluarkan waduk setiap tengah bulan.
7. Mengevaluasi Pola Operasi Waduk Wonogiri tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air setiap tengah bulan merupakan gabungan dari kebutuhan air irigasi dan kebutuhan air baku.

Kebutuhan air irigasi (Q_r) diperoleh berdasarkan rencana pola tata tanam Daerah Irigasi Colo Barat (Q_{cb}) dan Colo Timur (Q_{ct}) sesuai dengan Laporan Akhir (Final Report) Pekerjaan Kaji Ulang Jaringan Irigasi DI Colo oleh PT. Gracia Widyakarsa (2013), serta memperhitungkan pengambilan air irigasi dengan pompa (Q_p) dan debit

tambahan dari anak-anak (Q_{add}) yang terdapat pada Pola Operasi Waduk Wonogiri (Perum Jasa Tirta I, 2013). Jika hasil kebutuhan irigasi kurang dari sama dengan 0 m³/s, maka kebutuhan irigasi dianggap 2 m³/s untuk kebutuhan pemeliharaan sungai.

Kebutuhan air irigasi tengah bulanan diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

$$Q_{r_i} = Q_{cb_i} + Q_{ct_i} + Q_{p_i} - Q_{add_i} \quad (2)$$

Hasil analisis kebutuhan irigasi (Q_r) disajikan pada Tabel 1.

Kebutuhan air baku diperoleh berdasarkan analisis yang dilakukan oleh PT. Asana Citra Yasa dalam Laporan Final Rencana Pengelolaan Sumberdaya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo Tahap II tahun 2013. Hasil analisis dan prediksi terhadap kebutuhan air baku tahun 2011, 2016, 2021, 2026, 2031 kemudian di rata-rata menjadi debit kebutuhan air baku yang diperhitungkan dalam model. Kebutuhan air baku meliputi kebutuhan PDAM, Kebutuhan Rumah Tangga, Perkotaan, dan Industri (RKI) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Kebutuhan Air Irigasi Waduk Wonogiri

Bulan		Q_{cb} (m ³ /s)	Q_{ct} (m ³ /s)	Q_p (m ³ /s)	(1)+(2)+(3) (m ³ /s)	Q_{add} (m ³ /s)	Q_r (4)-(5) (m ³ /s)
(0)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
November	1	1,580	5,610	4,000	11,190	25,209	2,000
	2	3,730	13,570	4,000	21,300	18,696	2,604
Desember	1	5,960	22,120	1,400	29,480	16,202	13,278
	2	7,000	26,120	1,000	34,120	24,078	10,043
Januari	1	4,880	21,680	1,000	27,560	25,985	2,000
	2	5,920	22,280	1,000	29,200	17,355	11,845
Februari	1	4,140	18,750	1,000	23,890	13,650	10,240
	2	3,100	27,000	1,000	31,100	31,499	2,000
Maret	1	3,010	13,700	1,000	17,710	11,792	5,918
	2	3,820	15,640	1,813	21,273	19,403	2,000
April	1	5,390	20,600	2,000	27,990	14,011	13,979
	2	6,070	23,250	2,000	31,320	26,755	4,565
Mei	1	7,220	26,760	2,000	35,980	4,451	31,529
	2	7,300	27,040	2,125	36,465	4,461	32,004
Juni	1	6,640	24,440	3,000	34,080	2,669	31,411
	2	5,080	19,280	3,000	27,360	0,474	26,886
Juli	1	3,510	14,340	3,000	20,850	0,021	20,829
	2	2,750	11,130	3,000	16,880	0,000	16,880
Agustus	1	3,170	10,340	3,000	16,510	0,000	16,510
	2	3,510	9,880	3,000	16,390	0,000	16,390
September	1	4,330	11,370	3,000	18,700	0,000	18,700
	2	4,860	12,780	3,000	20,640	0,573	20,067
Oktober	1	0,000	0,000	1,267	1,267	0,614	2,000
	2	0,000	0,000	1,000	1,000	7,009	2,000

Tabel 2 Kebutuhan air baku dari Waduk Wonogiri

Tahun	PDAM (m ³ /s)	Rumah Tangga, Perkotaan, dan Industri (RKI) (m ³ /s)			
		Domestik	Nondomestik	Industri	Losses
2011	0,240	0,112	0,039	0,017	0,035
2016	0,610	0,113	0,040	0,017	0,034
2021	1,340	0,114	0,040	0,017	0,035
2026	1,720	0,114	0,040	0,017	0,035
2031	2,170	0,115	0,040	0,017	0,036
rata-rata	1,216	0,114	0,040	0,017	0,035

Sumber: PT. Asana Citra Yasa (2013)

Analisis Data Inflow

Data debit *inflow* tengah bulanan diperoleh dari debit *inflow* harian yang dirata-rata dari hari pertama di awal bulan hingga data tengah bulan. Jika tidak terdapat data, maka debit *inflow* harian pada periode tersebut

diisi dengan debit *inflow* harian rata-rata yang terjadi pada periode sebelum dan sesudahnya. Hasil pengolahan data debit *inflow* setengah bulanan ditunjukkan pada Tabel 3.

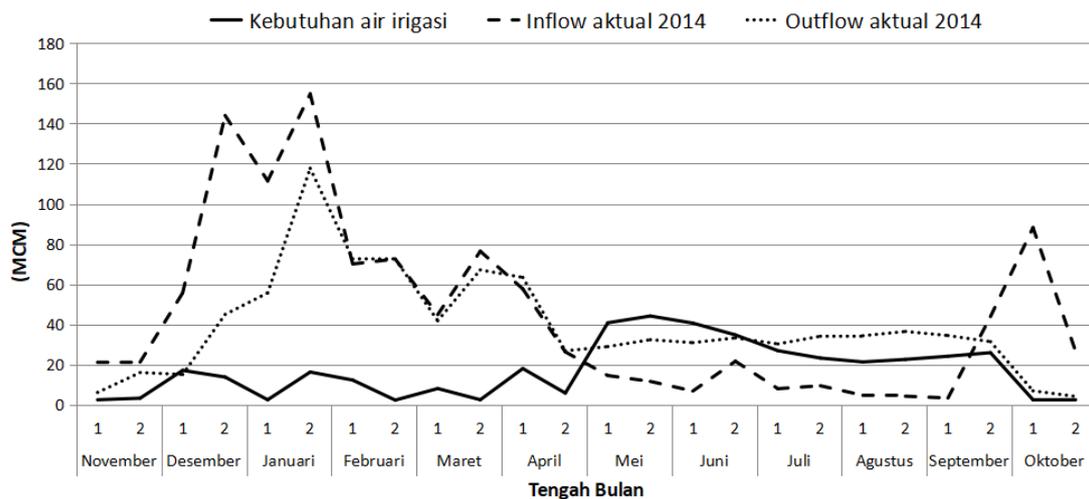
Tabel 3 Debit *inflow* tengah bulanan Waduk Wonogiri tahun 2005-2014

Tahun	Bulan	Debit <i>inflow</i> rerata (m ³ /s)									
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Januari	1	23,605	85,318	7,659	100,715	42,127	36,594	69,152	101,709	195,940	85,981
	2	72,848	104,484	16,156	43,801	86,948	47,544	48,668	49,793	135,880	111,892
Februari	1	30,736	155,057	52,374	117,697	144,100	72,464	66,093	59,723	103,943	57,968
	2	50,751	80,412	90,806	135,579	106,544	48,742	88,995	126,570	141,159	59,998
Maret	1	65,706	45,504	31,956	140,167	30,548	67,217	103,223	139,230	81,751	34,696
	2	55,446	38,025	60,551	117,937	28,998	117,220	95,571	73,922	43,212	55,316
April	1	73,695	80,844	73,870	85,316	32,704	44,519	53,649	62,780	71,189	44,538
	2	15,119	51,761	92,170	25,335	59,994	48,146	36,654	25,161	66,494	20,378
Mei	1	3,278	27,045	27,045	17,357	18,977	75,067	99,020	33,371	22,530	11,293
	2	4,618	31,789	26,830	10,050	35,822	65,908	28,660	13,213	38,278	8,479
Juni	1	66,182	8,271	13,785	17,028	13,020	41,944	11,145	8,485	70,725	5,355
	2	80,531	4,940	16,662	13,917	5,907	17,787	6,621	6,033	60,162	16,783
Juli	1	16,398	3,402	3,180	5,335	4,829	14,123	11,493	5,730	43,460	6,254
	2	1,502	11,445	4,465	4,149	5,521	8,968	5,964	5,055	26,248	6,915
Agustus	1	2,040	3,576	13,792	8,766	5,568	4,610	4,226	3,732	29,038	3,715
	2	1,806	3,707	7,777	3,432	4,391	12,935	5,486	2,822	11,996	3,161
September	1	3,607	4,787	16,186	3,255	4,395	49,222	3,778	2,588	8,177	2,677
	2	7,998	5,606	71,399	4,612	6,727	56,128	1,817	24,113	6,036	33,922
Oktober	1	2,136	6,092	41,465	12,457	1,890	27,131	1,920	9,625	4,568	68,046
	2	6,180	6,010	46,863	9,624	6,034	72,077	2,762	1,712	5,728	19,393
November	1	3,142	4,557	30,355	75,229	4,590	74,187	13,544	1,831	16,371	15,434
	2	6,202	4,051	9,565	70,945	24,897	41,609	26,723	31,655	16,458	16,006
Desember	1	54,076	17,831	73,725	19,896	7,660	153,108	16,861	73,885	42,998	68,153
	2	110,845	74,308	256,326	15,976	19,995	132,294	44,345	81,038	104,130	123,649

Analisis Imbangan Air Waduk Wonogiri Tahun 2014

Pada tahun 2014, berdasarkan hasil pengamatan tinggi muka air (TMA) pada tanggal 30 Oktober 2014, elevasi di Waduk Wonogiri berada di +126,66 m, sedangkan di POW 2013-2014 telah ditetapkan elevasi berada pada +127,63 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa Waduk Wonogiri dalam kondisi ekstrem kering karena jika

dilihat pada Gambar 1 tentang skema zona tampungan waduk, elevasi sedimen storage berada di +127 m, padahal di lapangan elevasi berada di +126,66 m. Melihat kondisi tersebut, analisis imbangan air menjadi penting untuk melihat hubungan ketersediaan air, air yang dikeluarkan dan jumlah kebutuhan yang sebenarnya harus dipenuhi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Imbangan Air Waduk Wonogiri Tahun 2014

Berdasarkan grafik imbangan air Waduk Wonogiri yang terdapat pada Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa terdapat *inflow* yang cukup besar pada bulan-bulan basah dari Desember hingga Maret untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada bulan Mei hingga September 2014. Namun, untuk keberhasilan pemenuhan kebutuhan air irigasi membutuhkan manajemen operasi waduk. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan proses optimasi untuk tujuan memaksimalkan nilai faktor k (perbandingan nilai release aktual dan kebutuhan air irigasi) setiap tengah bulan

yang kemudian akan dibandingkan dengan Pola Operasi Waduk Wonogiri tahun 2014

Analisis Klasifikasi Kelas *Inflow*

Sifat stokastik *inflow* dapat diketahui dengan menghitung probabilitas transisi kejadian *inflow*. Nilai kelas *inflow* tengah bulanan Waduk Wonogiri dibagi menjadi tiga kelas *inflow* yaitu kelas *inflow* rendah, sedang, dan tinggi. Masing-masing kelas *inflow* di setiap tengahnya memiliki rentang kelas yang menjadi syarat kelas *inflow*. Tabel hasil klasifikasi *inflow* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Klasifikasi Kelas Debit *Inflow* Tengah Bulanan

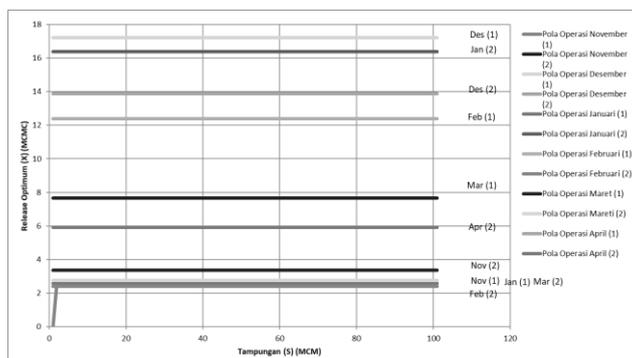
Bulan	Tengah Bulan ke-	Kelas Debit Inflow (m ³ /s)		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Januari	1	0,000 - 48,009	48,009 - 101,751	101,751 - 195,940
	2	0,000 - 53,167	53,167 - 90,436	90,436 - 135,880
Februari	1	0,000 - 65,125	65,125 - 106,907	106,907 - 155,057
	2	0,000 - 75,914	75,914 - 109,997	109,997 - 141,159
Maret	1	0,000 - 53,134	53,134 - 94,866	94,866 - 140,167
	2	0,000 - 52,707	52,707 - 84,533	84,533 - 117,937
April	1	0,000 - 53,493	53,493 - 71,128	71,128 - 85,316
	2	0,000 - 31,978	31,978 - 56,265	56,265 - 92,170
Mei	1	0,000 - 18,496	18,496 - 48,500	48,500 - 99,020
	2	0,000 - 17,142	17,142 - 35,587	35,587 - 65,908
Juni	1	0,000 - 13,196	13,196 - 37,992	37,992 - 70,725
	2	0,000 - 9,966	9,966 - 35,902	35,902 - 80,531
Juli	1	0,000 - 5,341	5,341 - 17,500	17,500 - 43,460
	2	0,000 - 4,545	4,545 - 11,501	11,501 - 26,248
Agustus	1	0,000 - 3,824	3,824 - 11,988	11,988 - 29,038
	2	0,000 - 3,800	3,800 - 7,702	7,702 - 12,935
September	1	0,000 - 2,656	2,656 - 17,078	17,078 - 49,222
	2	0,000 - 9,573	9,573 - 34,099	34,099 - 71,399
Oktober	1	0,000 - 6,567	6,567 - 28,499	28,499 - 68,046
	2	0,000 - 5,968	5,968 - 29,309	29,309 - 72,077
November	1	0,000 - 9,875	9,875 - 37,973	37,973 - 75,229
	2	0,000 - 14,786	14,786 - 34,836	34,836 - 70,945
Desember	1	0,000 - 31,145	31,145 - 74,494	74,494 - 153,108
	2	0,000 - 61,484	61,484 - 131,098	131,098 - 256,326

Optimasi Waduk Wonogiri

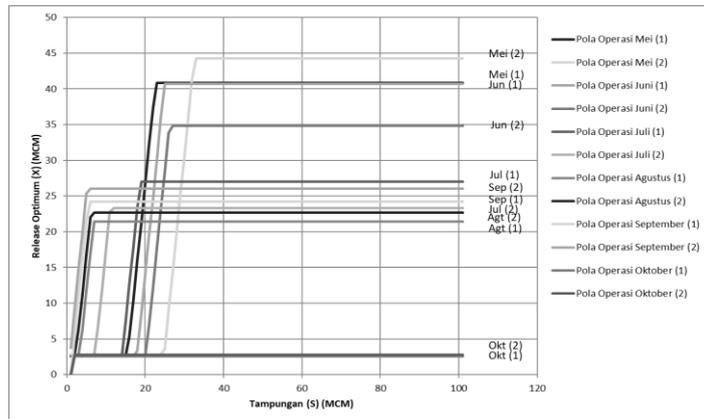
Hitungan optimasi pemanfaatan air Waduk Wongiri dilakukan setelah menyusun data masukan berupa representatif *inflow* tengah bulanan, perhitungan probabilitas transisi *inflow*, data kebutuhan air, dan data evaporasi waduk. Hasil optimasi berupa pola operasi yang memberikan hasil dengan memaksimalkan nilai perbandingan antara *release* aktual dengan kebutuhan air irigasi (faktor k) pada kondisi tampungan dan

release tertentu. Pembagian diskrit tampungan disesuaikan dengan operasi waduk pada periode banjir dan nonbanjir.

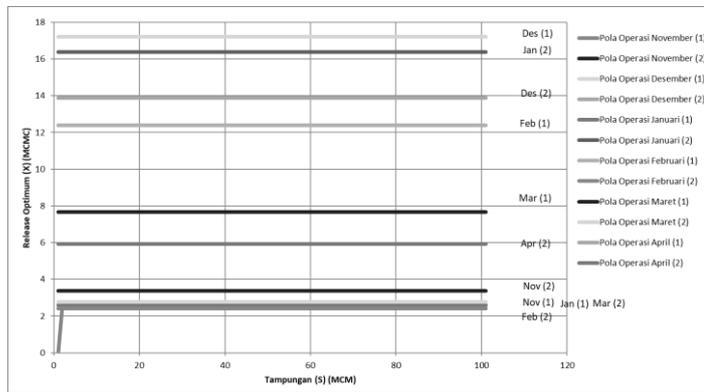
Gambar 5 hingga Gambar 10 adalah pola operasi optimum setengah tahunan yang disesuaikan dengan kelas *inflow* tengah bulan sebelumnya yaitu rendah, sedang, tinggi dan tampungan maksimum yang disesuaikan dengan operasi waduk periode banjir dan nonbanjir.



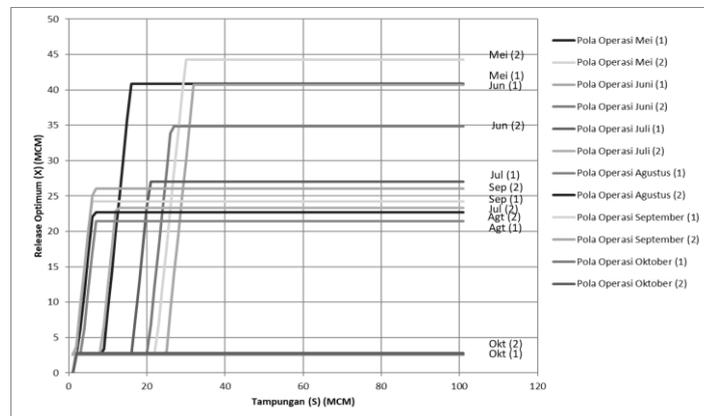
Gambar 5 Pola Operasi pada Saat kelas *Inflow* Tengah Bulan Sebelumnya Rendah untuk Periode Banjir (1 November-15 April)



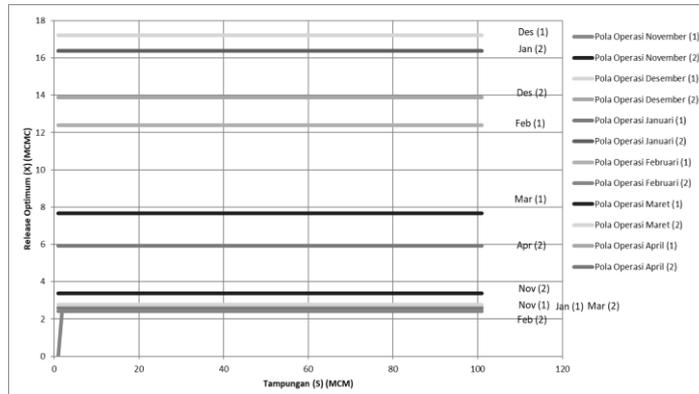
Gambar 6 Pola Operasi pada Saat kelas *Inflow* Tengah Bulan Sebelumnya Rendah untuk Periode Non-Banjir (15 April-31 Oktober)



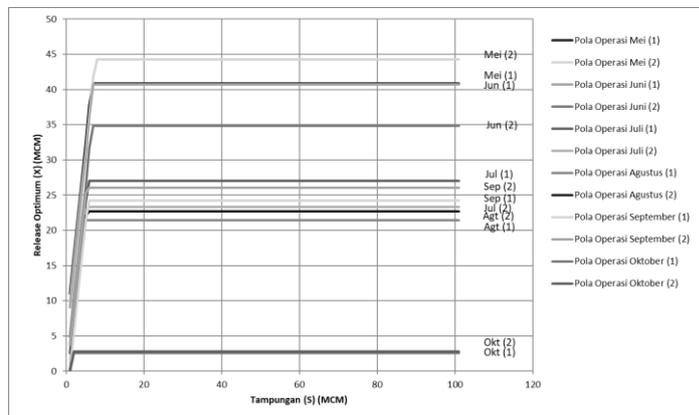
Gambar 7 Pola Operasi pada Saat kelas *Inflow* Tengah Bulan Sebelumnya Sedang untuk Periode Banjir (1 November-15 April)



Gambar 8 Pola Operasi pada Saat kelas *Inflow* Tengah Bulan Sebelumnya Sedang untuk Periode Non-Banjir (15 April-31 Oktober)



Gambar 9 Pola Operasi pada Saat kelas *Inflow* Tengah Bulan Sebelumnya Tinggi untuk Periode Banjir (1 November-15 April)



Gambar 10 Pola Operasi pada Saat kelas *Inflow* Tengah Bulan Sebelumnya Tinggi untuk Periode Non-Banjir (15 April-31 Oktober)

Evaluasi Pola Operasi Waduk Wonogiri Tahun 2014

Hitungan optimasi pemanfaatan air Waduk Wonogiri kemudian memberikan hasil pola operasi waduk optimum pada Gambar 4 hingga Gambar 9 yang dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat kebijakan pengoperasian waduk untuk memaksimalkan faktor k agar sama dengan

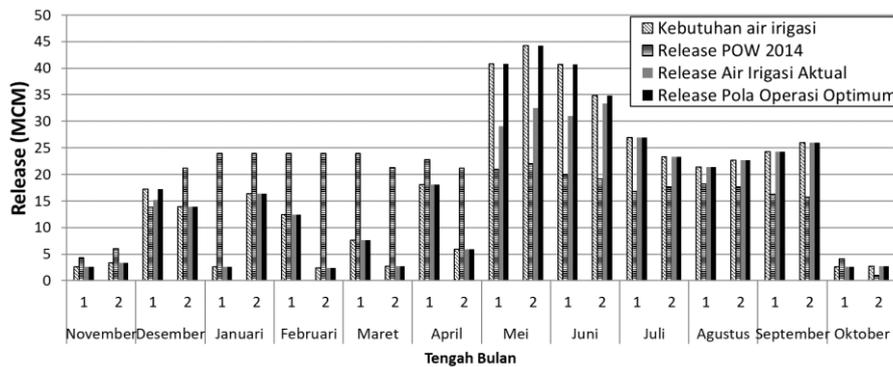
1 yaitu kebutuhan irigasi dapat terpenuhi 100%. Pola operasi optimum kemudian diterapkan sesuai data *inflow* yang terjadi pada tahun 2014 untuk menghasilkan pola operasi optimum 2014 yang kemudian akan dibandingkan dengan Pola Operasi Waduk (POW) 2014 dan kebijakan operasi aktual. Perbandingan pola operasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Pola Operasi Waduk 2014, Kebijakan Operasi Aktual, dan Pola Operasi Optimum

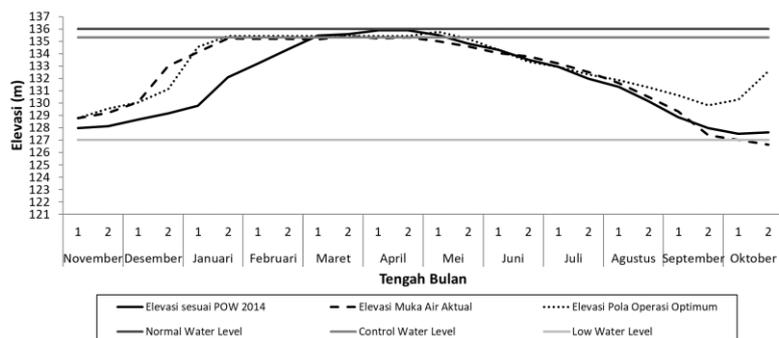
No.	Bulan	jml hari	Kebutuhan Air Irigasi (MCM)	POW 2014				Kebijakan Operasi Aktual					Pola Operasi Optimum						
				elevasi (m)	outflow (MCM)	release (MCM)	tampungan (MCM)	elevasi (m)	inflow (MCM)	outflow (MCM)	release (MCM)	tampungan (MCM)	faktor k	elevasi (m)	outflow (MCM)	release (MCM)	tampungan (MCM)	faktor k	
1	November	1	15	2.592	127.970	4.267	4.267	79.343	128.790	21.216	6.242	2.592	97.302	1.000	128.790	4.434	2.592	97.302	1.000
2		15	3.375	128.130	6.000	6.000	82.689	129.200	21.329	16.128	3.375	107.051	1.000	129.566	5.216	3.375	112.521	1.000	
3	Desember	1	15	17.208	128.670	13.800	13.800	94.547	130.090	55.725	15.183	15.183	130.058	0.882	130.068	19.050	17.208	127.064	1.000
4		16	13.883	129.180	21.188	21.188	106.563	133.020	143.949	45.031	13.883	226.067	1.000	131.145	15.847	13.883	162.767	1.000	
5	Januari	1	15	2.592	129.780	24.000	24.000	121.751	134.130	111.432	55.740	2.592	272.253	1.000	134.557	4.434	2.592	289.826	1.000
6		16	16.375	132.070	24.000	24.000	191.178	135.230	154.680	117.691	16.375	324.746	1.000	135.436	18.339	16.375	328.341	1.000	
7	Februari	1	14	12.386	133.210	24.000	24.000	233.536	135.220	70.118	72.663	12.386	324.235	1.000	135.436	14.105	12.386	328.341	1.000
8		14	2.419	134.360	24.000	24.000	282.637	135.220	72.573	72.573	2.419	324.235	1.000	135.436	4.138	2.419	328.341	1.000	
9	Maret	1	15	7.670	135.480	24.000	24.000	337.734	135.150	44.967	41.911	7.670	324.746	1.000	135.436	9.511	7.670	328.341	1.000
10		16	2.765	135.600	35.625	21.313	344.119	135.450	76.469	67.160	2.765	336.154	1.000	135.436	4.729	2.765	328.341	1.000	
11	April	1	15	18.116	135.880	45.867	22.733	359.410	135.250	57.721	63.436	18.116	325.770	1.000	135.436	19.958	18.116	328.341	1.000
12		15	5.917	135.900	21.133	21.133	360.524	135.310	26.409	26.925	5.917	328.857	1.000	135.436	7.758	5.917	328.341	1.000	
13	Mei	1	15	40.862	135.520	22.333	21.000	339.852	135.000	14.636	29.030	29.030	313.159	0.710	135.783	42.704	40.862	345.983	1.000
14		16	44.242	134.820	23.000	22.000	304.324	134.580	11.722	32.446	32.446	292.853	0.733	135.187	46.206	44.242	316.719	1.000	
15	Juni	1	15	40.709	134.320	22.800	20.000	280.810	134.030	6.940	30.989	30.989	267.829	0.761	134.336	42.551	40.709	280.963	1.000
16		15	34.844	133.520	24.133	19.133	246.099	133.760	21.751	33.368	33.368	256.155	0.958	133.365	36.686	34.844	243.955	1.000	
17	Juli	1	15	26.994	132.950	22.867	16.800	223.358	133.190	8.105	30.368	26.994	232.742	1.000	132.924	28.836	26.994	227.630	1.000
18		16	23.335	131.990	23.938	17.688	188.417	132.500	9.559	34.188	23.335	206.479	1.000	132.316	25.299	23.335	205.240	1.000	
19	Agustus	1	15	21.397	131.300	23.600	18.200	165.668	131.640	4.815	34.436	21.397	176.644	1.000	131.838	23.239	21.397	187.734	1.000
20		16	22.658	130.150	23.250	17.625	131.703	130.520	4.369	36.558	22.658	142.119	1.000	131.271	24.622	22.658	167.229	1.000	
21	September	1	15	24.235	128.870	23.133	16.267	99.163	129.310	3.469	34.525	24.235	109.756	1.000	130.621	26.077	24.235	144.763	1.000
22		15	26.006	127.970	21.667	15.733	79.343	127.390	43.963	31.487	26.006	67.842	1.000	129.827	27.848	26.006	119.910	1.000	
23	Oktober	1	15	2.592	127.520	9.400	4.067	70.335	127.010	88.188	7.030	2.592	60.834	1.000	130.284	4.434	2.592	133.790	1.000
24		16	2.765	127.630	1.625	1.000	72.482	126.640	26.809	4.260	2.765	54.405	1.000	132.595	4.729	2.765	215.481	1.000	

Berdasarkan hasil optimasi, didapat pola operasi optimum pada Tabel 5 yang jika pola tersebut diterapkan sesuai dengan inflow yang terjadi pada tahun 2014, faktor k pada setiap tengah bulan sama dengan 1

atau dalam hal ini kebutuhan irigasi terpenuhi 100% setiap tengah bulan. Kebijakan operasi aktual yang diterapkan pada tahun 2014 juga ternyata tidak sesuai dengan POW 2014.



Gambar 11 Grafik Perbandingan Nilai kebutuhan Irigasi, Release sesuai POW 2014, Release Kebutuhan Air Irigasi Aktual, dan Release sesuai Pola Operasi Optimum



Gambar 12 Grafik Fluktuasi Elevasi Muka Air sesuai POW 2014, Elevasi Muka Air Aktual, dan Elevasi Muka Air sesuai Pola Operasi Optimum

Gambar 11 menunjukkan grafik perbedaan *release* air irigasi dari Waduk Wonogiri berdasarkan POW 2014, Kebijakan Operasi Aktual, dan Pola Operasi Optimum yang dilihat berdasarkan kebutuhan air irigasi. Berdasarkan grafik tersebut, dengan menggunakan POW 2014 kebutuhan air irigasi tidak dapat terpenuhi pada bulan Desember, Mei hingga September 2014. Dengan penerapan kebijakan operasi aktual, kebutuhan air irigasi tidak dapat terpenuhi hanya pada bulan Desember, Mei, dan Juni dengan faktor k kurang dari 1. Namun, dengan penerapan Pola Operasi Optimum, kebutuhan air irigasi pada tahun 2014 sempurna terpenuhi 100% dengan faktor k sama dengan 1 di setiap tengah bulan.

Dilihat berdasarkan fluktuasi elevasi muka air Waduk Wonogiri pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa elevasi muka air dengan pola operasi optimum lebih mengikuti pada kebijakan operasi waduk aktual dan dapat mempertahankan elevasi agar di atas elevasi aman +127 m, walaupun masih di bawah *normal water level*, sedangkan elevasi muka air waduk dengan kebijakan operasi optimum berada di bawah elevasi aman untuk *dead storage* yaitu +126,64 m. Sementara itu, POW 2014 pada bulan tertentu ada yang sesuai dengan kebijakan operasi aktual dan ada yang tidak. Hal

tersebut menunjukkan POW 2014 belum bisa menjadi acuan kebijakan yang konsisten, dan perlu adanya perbaikan agar tidak terjadi kondisi ekstrem kering seperti yang terjadi pada tahun 2014.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Alasan terjadinya kondisi ekstrem kering dengan elevasi muka air berada di bawah elevasi *dead storage* +126,64 m pada Bulan Oktober disebabkan kebijakan operasi aktual yang diterapkan Waduk Wonogiri pada bulan-bulan tertentu tidak sesuai dengan POW 2014 yang seharusnya berada pada elevasi aman yaitu +127,63 m.
2. Perlunya perbaikan dalam pembuatan pola operasi sebagai acuan dalam pembuatan kebijakan operasi waduk agar sesuai dengan kondisi di lapangan dengan memaksimalkan faktor k yang artinya sebisa mungkin kebutuhan irigasi dapat terpenuhi.
3. Optimasi waduk dengan program dinamik stokastik dapat menghasilkan pola operasi optimum yang hasilnya mengikuti kebijakan pola operasi aktual dan juga lebih baik karena faktor k dengan penerapan pola operasi optimum

didapatkan nilai sama dengan 1 yang artinya kebutuhan air irigasi terpenuhi 100% serta dapat mempertahankan elevasi pada level aman di atas elevasi *dead storage* +132,595 m.

Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk menyempurnakan penelitian lanjutan adalah sebagai berikut ini.

1. Perlunya perbaruan data baik data kebutuhan air, data monitoring elevasi muka air waduk dan *outflow*, dan lain-lain untuk menyempurnakan pola operasi yang lebih baik.
2. Mempertimbangkan kelas *inflow* dengan distribusi yang lebih baik mengingat di penelitian ini hanya dibatasi tiga kelas *inflow* saja.
3. Penelitian dapat dikembangkan dengan meninjau fungsi tujuan lain seperti keuntungan secara ekonomi, pengaruh sedimentasi, pengendalian banjir dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Hilmi, M., Masrevanah, A. and Soetopo, W. (2012). Optimasi Pola Operasi Waduk Pelaparado Di Kabupaten Bima. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3, pp. 132–142.
- Mays, L. W., & Tung, Y.-K. (1992). *Hydrosystems Engineering and Management*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Perum Jasa Tirta I. (2015). *Presentasi Kunjungan Lapangan 15 April 2015: Pola Operasi Waduk Wonogiri*. Sukoharjo: Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.
- PT Asana Citra Yasa. (2011). *Rencana Pengelolaan SDA Wilayah Sungai Bengawan Solo Tahap I dan II*. Sukoharjo: Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.
- PT Gracia Widyakarsa. (2013). *Laporan Akhir (Final Report) : Pekerjaan Kaji Ulang Jaringan Irigasi DI. Colo*. Sukoharjo: Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.
- Sudjarwadi, dkk. 2008. *Pengembangan Sumber Daya Air*. Yogyakarta: Biro Penerbit JTS FT UGM
- Suen Eheart, J., Herricks, E., and Chang, F.J, J. (2009). Evaluating the Potential Impact of Reservoir Operation on Fish Communities. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(6), pp. 475–483. doi: doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:6(475).
- Wesli. (2013). Pengoperasian Waduk Melalui Model Optimasi Linear Programming (Studi Kasus Waduk Keuliling Aceh Besar). *Teras Jurnal* 3(2), pp. 85–94.