

Kajian Efektifitas *Early Release* dalam Mereduksi Banjir pada Bendungan Bagong

Muhamad Rizki Hantono^{1,*}, Sri Sangkawati¹, Suripin¹

Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang¹

Koresponden*, Email: Rizkihantono@students.undip.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	3 Oktober 2024	Bagong Dam has the main function as flood controler. One of the alternatives for reducing flood is by implementing early release operations, which lowers the reservoir water level to certain elevation before the flood peak comes. Therefore, it is necessary to analyze the effectiveness of early release in reducing flood of Bagong Dam. Flood discharge modeling and simulation of Control Water Level (CWL) determination as a basis for determining early release operations using HEC-HMS software version 4.10. Simulation of CWL determination with 4 scenarios of spillway and outlet operations. The simulation results of the scenario obtained CWL elevation for Q_{10} at elevation +324,5, Q_{25} elevation +323, Q_{50} elevation +322, Q_{100} elevation +320,9, Q_{200} elevation +320, and Q_{1000} elevation +317,9. From these results, simulations were carried out and it was found that the most effective Bagong Dam early release operation was carried out when the water drop was at elevations +320,9.
Diperbaiki	4 Desember 2024	
Disetujui	28 Januari 2025	

Keywords: *early release, control water level (CWL), bagong dam.*

Abstrak

Bendungan Bagong memiliki fungsi utama sebagai pengendali banjir. Salah satu alternatif dalam mereduksi banjir dengan penerapan operasi *early release*, yaitu menurunkan elevasi muka air waduk hingga elevasi tertentu sebelum puncak banjir datang. Oleh karena itu dibutuhkan analisis terhadap efektifitas *early release* dalam mereduksi banjir Bendungan Bagong. Pemodelan debit banjir dan simulasi penentuan *Control Water Level (CWL)* sebagai dasar dalam menentukan Operasi *early release* menggunakan software HEC-HMS versi 4.10. Simulasi penentuan CWL dengan 4 skenario operasi pelimpah dan *Outlet*. Hasil simulasi dari skenario tersebut di dapatkan elevasi CWL untuk Q_{10} pada elevasi +324,5, Q_{25} elevasi +323, Q_{50} elevasi +322, Q_{100} elevasi +320,9, Q_{200} elevasi +320, dan Q_{1000} elevasi +317,9. Dari hasil tersebut dilakukan simulasi dan didapatkan operasi *early release* Bendungan Bagong yg paling efektif dilakukan ketika penurunan air berada pada elevasi +320,9.

Kata kunci: *early release, control water level (CWL), bendungan bagong*

1. Pendahuluan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk [1]. Salah satu bendungan yang dibangun oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat adalah Bendungan Bagong. Bendungan yang terletak pada aliran Sungai Bagong pada ruas sekitar ± 5 km di hulu Bendung Bagong (Dam Bagong eksisting) di Sub-DAS Ngrowo-Ngasinan, di Desa Sumurup dan Desa Sengon, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Bendungan ini merupakan jenis *multipurpose* yang manfaat utamanya sebagai pengendali banjir. Selain itu juga bermanfaat untuk penyediaan air baku, irigasi dan mempunyai potensi menjadi tempat wisata bagi masyarakat Kota Trenggalek. Luas lahan sawah rencana yang diairi dari Bendungan Bagong berdasarkan peta dan data di lapangan untuk melayani irigasi sawah baru dan suplesi irigasi seluas 857 ha pada Kecamatan

Bendungan dan Kecamatan Trenggalek, Kabupaten Trenggalek. Layanan untuk air baku dengan keberhasilan 90% sebesar 153 l/dt [2].

Pemanfaatan utama pengendalian banjir pada Bendungan Bagong dikarenakan seringnya terjadi banjir di Kabupaten trenggalek. Seperti contoh pada peristiwa tanah longsor dan banjir yang terjadi di Kabupaten Trenggalek hari Selasa tanggal 18 Oktober 2022, terdapat 2.640 KK yang terdampak banjir yang tersebar pada 11 Kecamatan [3]. Guna mengatasi bencana tersebut telah direncanakan Bendungan Bagong yang memiliki kemampuan dalam mereduksi banjir debit Q_{25} inflow sebesar 181,4 m³/dt menjadi Outflow 154,16 m³/dt, atau mereduksi sebesar 15,02% pada Q_{25} . Nilai tersebut dianggap masih kurang dalam mereduksi banjir, terutama ketika musim penghujan datang dengan debit kala ulang yang lebih besar. Pada penelitian ini akan dibahas terkait penerapan *early release* yaitu strategi menurunkan elevasi muka air waduk hingga elevasi tertentu sebelum puncak banjir datang guna meningkatkan volume tampungan banjir sehingga debit outflow bendungan dapat ditampung oleh

sungai di hilir bendungan [4]. Pada Bendungan Bagong guna menunjang operasi *early release* maka pada saat pelaksanaan pembangunan bendungan, dilakukan perubahan desain pelimpah yaitu dengan menambahkan pelimpah berpintu.

Salah satu contoh pola operasi pelimpah kombinasi (pelimpah tanpa pintu dan berpintu) yang telah ada yaitu pada Bendungan Delingan di Provinsi Jawa Tengah, bendungan tersebut mempunyai dua pelimpah tidak berpintu dan delapan pelimpah berpintu [5]. Pola operasi pelimpah tersebut guna pengendalian banjir pada hilir tanpa memperhitungkan penerapan *early release*. Berdasarkan data perencanaan Bendungan Bagong Tahun 2018 telah disusun pola operasi dengan pelimpah tanpa pintu untuk kondisi normal, kering dan basah, dari hal tersebut perlu disusun pola operasi pelimpah berpintu guna mendukung operasi banjir dengan *early release*. Pada perencanaan bendungan perhitungan debit rencana menggunakan data hidrologi dari Tahun 1990 sampai 2016 yang bersumber dari Dinas Bina Marga dan Pengairan Kabupaten Trenggalek. Sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang dengan data terkini agar didapatkan hasil yang lebih akurat.

Debit banjir rencana berpengaruh dalam penerapan operasi *early release*, yaitu untuk menentukan *Control Water Level* (CWL) setiap debit kala ulang. Penentuan CWL di pengaruhi oleh kapasitas sungai pada hilir bendungan. Selain dari hal tersebut durasi dalam operasi *early release* juga mempertimbangkan lamanya perkiraan hujan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yaitu 7 hari. Dalam melaksanakan penurunan elevasi juga memperhatikan laju penurunan yang disarankan yaitu 1 meter/hari [6].

2. Metode

Tahapan dan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Mengumpulkan data pendukung Studi yang berupa data peta DTA Bendungan Bagong, tutupan lahan, curah hujan, debit harian dan teknis bendungan,
- b) Analisa Hidrologi,
- c) Menghitung debit banjir rencana menggunakan software Hec-HMS.
- d) Penentuan operasi *early release* Bendungan Bagong.
- e) Mengkaji efektifitas penerapan *early release* dalam mereduksi banjir di hilir Bendungan Bagong.

A. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi ini bertujuan untuk meramalkan hujan dan debit banjir paling maksimum yang tertampung di waduk beserta perilakunya terhadap bendungan [7]. Proses

pengerjaannya membutuhkan data curah hujan harian maksimum tahunan yang mempresentasikan DTA waduk. Tahapan dalam menganalisis hidrologi meliputi [8]:

- a. Menguji data curah hujan harian maksimum tahunan dari hujan rerata daerah dengan ketentuan kriteria statistik.
- b. Mengitung Hujan Rerata Wilayah menggunakan Metode Poligon Thiessen agar didapat data hujan harian maksimum tahunan yang bersifat setempat.
- c. Mengisi Kesesuaian Distribusi Frekuensi hasil curah hujan rancangan dari masing-masing distribusi menggunakan metode Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov untuk memilih distribusi frekuensi yang memiliki simpangan kesalahan yang relatif terkecil [9].
- d. Analisis Frekuensi untuk meramalkan besar Curah Hujan Rancangan dengan Metode Gumbel dan Log Pearson Type III [10] untuk Kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, dan 1000 tahun.
- e. Menghitung Curah Hujan Maksimum Yang Mungkin Terjadi (PMP) dengan menggunakan metode Statistik Hershfield [11].

B. Menghitung Debit Banjir Rencana

Salah satu alat bantu untuk menghitung debit banjir rencana atau hidrograf banjir dengan menggunakan pemodelan Software HEC-HMS [12] dengan menggunakan metode perhitungan SCS Curve Number. Hasil perhitungan debit banjir tersebut perlu dilakukan kalibrasi agar di dapatkan nilai optimum pada parameter-parameter yang diinput ke dalam model sesuai dengan kondisi di lapangan[13]. Kalibrasi pada penelitian ini dengan menggunakan metode trial and error dengan membandingkan debit harian pengamatan dengan curah hujan harian yang didapat dari Bendung Bagong (hilir Bendungan Bagong), sehingga hasil hidrograf banjir pada pemodelan mendekati kondisi lapangan. Parameter inputan yang dikalibrasi sesuai dengan manual HEC-HMS yaitu Curve Number, Lag Time, Recession Constant dan Ratio to Peak [14]. Parameter hasil kalibrasi digunakan untuk menghitung debit banjir rencana berbagai kala ulang.

C. Penentuan Operasi *Early Release*

Penentuan operasi *early release* menggunakan software Hec-HMS dengan mensimulasikan 4 skenario seperti pada **Tabel 1**. Simulasi tersebut menghasilkan elevasi *Control Water Level* (CWL) untuk setiap debit kala ulang. Elevasi CWL adalah elevasi muka air tampungan banjir agar kapasitas tampungan waduk sebagai pereduksi banjir dapat terjaga dalam mengantisipasi datangnya banjir dengan debit banjir berbagai kala ulang [15]. Dalam penentuan elevasi

CWL perlu mempertimbangkan tampungan sungai bagian hilir, elevasi maksimum dan tinggi jagaan [16]. Kapasitas sungai di hilir bendungan di dapatkan dari pengukuran pada bendug bagong (hilir bendungan bagong) ketika terjadi banjir yaitu sebesar 166 m³/dt. Setelah elevasi CWL untuk setiap kala ulang di tentukan, dilakukan simulasi operasi *early release* dengan mengkombinasikan bukaan pintu pelimpah dan operasi *Outlet* baik itu *Buttom Outlet* dan *Intake*. Dalam menentuka operasi *early release* mempertimbangkan durasi maksimum 7 hari, sesuai dengan lamanya perkiraan hujan oleh BMKG. Di samping hal tersebut juga memperhatikan laju penurunan maksimum yang disarankan oleh Kementerian PUPR sebesar 1 meter/hari [6].

Tabel 1. Skenario Penentuan Elevasi *control water level* (CWL)

Skenario	Pelimpah Bebas	Pelimpah Berpintu		<i>Outlet (Intake dan Buttom Outlet)</i>
		Pintu 1	Pintu 2	
A	√	-	-	-
B	√	√	-	-
C	√	√	√	-
D	√	√	√	√

D. Mengkaji Efektifitas Penerapan *Early Release* Dalam Mereduksi Banjir

Dalam penelitian ini kajian efektifitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar reduksi banjir setelah penerapan *early release*. Efektifitas tersebut ditinjau dari seberapa besar pengurangan debit banjir pada setiap debit setiap kala ulang. Reduksi banjir berdasarkan Sertifikasi bendungan Bagong Tahun 2018 sebesar 15,02% pada Q₂₅. Dengan penerapan *early release* pada Bendungan Bagong diharapkan dapat memperbesar reduksi banjir yang telah direncanakan. Setelah di dapatkan operasi *early release* maka dapat dibandingkan besaran reduksi banjir sebelum dan setelah penerapan *early release*. Hasil perbandingan tersebut dapat dikatakan efektif apabila nilai reduksi hasil simulasi lebih besar dari nilai reduksi pada saat perencanaan bendungan.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Analisa Hidrologi

Analisis hidrologi pada penelitian ini menggunakan data hujan harian maksimum tahunan dari stasiun hujan Bendungan, Bagong dan Tugu dengan panjang data selama 33 tahun dari tahun 1990 – 2022. Sebelum data tersebut digunakan dilakukan uji kualitas data yaitu analisa pencilan

(*Outlier*), Analisis Kecenderungan (*trend*) dan Uji Konsistensi [17]. Hasil uji tersebut terlihat pada **Tabel 2**.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk perhitungan curah hujan wilayah yaitu metode Thiessen. Dari perhitungan tersebut didapatkan hujan harian maksimum tahunan DTA Bendungan Bagong. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan distribusi Log Pearson tipe III dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, dan 1000 tahun. Hasil tersebut dilakukan uji kesesuaian distribusi dengan menggunakan metode Chi Square dan Metode Smirnov-Kolmogorov dengan hasil dapat diterima pada kedua metode tersebut. Hasil perhitungan nilai PMP dengan menggunakan metode Hershfield yaitu 556,354 mm/hari. Dari hasil perhitungan curah hujan rencana tersebut dicari distribusi hujan jam-jaman dengan menggunakan metode PSA 007. Hasil distribusi Seperti terlihat pada **Tabel 3**. Dari hasil tersebut di dapatkan distribusi hujan tertinggi pada jam ke 3, sedangkan hujan terendah pada jam ke-1, ke-5 dan ke-6.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil Uji Kualitas Data

Data Hujan	Uji <i>Outlier</i>	Uji <i>Trend</i>	Uji Konsistensi
Sta. Bendungan	Tidak ada <i>Outlier</i>	Tidak ada <i>trend</i>	Konsisten
Sta. Bagong	Tidak ada <i>Outlier</i>	Tidak ada <i>trend</i>	Konsisten
Sta. Tugu	Tidak ada <i>Outlier</i>	Tidak ada <i>trend</i>	Konsisten

B. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Sebelum dilakukan pemodelan debit banjir perlu dilakukan kalibrasi pemodelan, yang bertujuan untuk menentukan nilai optimum pada parameter- parameter yang diinput ke dalam model sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan [18]. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan antara debit hasil pemodelan curah hujan harian dan debit observasi pada Bendung Bendung (Hilir Bendungan Bagong) **Gambar 1**.

Kriteria performa dalam kalibrasi sesuai pada Software HEC-HMS adalah Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe dan Percent Bias. Nilai setiap parameter didapatkan dari *trial and error* sehingga menghasilkan nilai performa baik (Fadhilla & Lasminto, 2021) sesuai dengan yang tertera pada **Tabel 4**.

Hasil kalibrasi menunjukan RMSE 0,57, NSE 0,679 dan PBIAS 11,92%, nilai tersebut masuk dalam kategori baik. Sehingga nilai parameter pada DTA Bendung Bagong setelah kalibrasi dapat dipakai dalam perhitungan debit banjir rencana. Nilai parameter hasil kalibrasi model pada DTA Bendungan Bagong sesuai dengan **Tabel 5**.

Tabel 3. Hasil Distribusi Hujan Jam-jaman pada DTA Bendungan Bagong

Kala Ulang (Tahun)	Distribusi Hujan Jam-Jaman (mm)						Total (mm)
	Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4	Jam ke-5	Jam ke-6	
2	4,674	12,854	82,969	7,011	4,674	4,674	116,857
5	5,775	15,881	101,060	10,106	5,775	5,775	144,372
10	6,398	19,195	108,771	12,797	6,398	6,398	159,957
25	7,108	21,325	119,064	15,994	7,108	7,108	177,707
50	7,591	24,672	123,361	18,979	7,591	7,591	189,786
100	8,041	26,132	128,649	22,112	8,041	8,041	201,015
200	8,465	27,513	133,331	25,396	8,465	8,465	211,637
1000	9,382	32,839	143,083	30,493	9,382	9,382	234,562
PMP	22,254	89,017	311,558	89,017	22,254	22,254	556,354

**Gambar 1.** Pembagian Sub DTA Bendung Bagong**Tabel 4.** Kriteria Peforma dalam Kalibrasi [19]

Tingkat Performa	RMSE	Nash-Sutcliffe	Percent Bias
Sangat baik	$0 \leq N \leq 0,50$	$N > 0,80$	$N \leq \pm 5$
Baik	$0,50 < N \leq 0,60$	$0,70 < N \leq 0,80$	$\pm 5 < N \leq \pm 10$
	$0,60 < N \leq 0,70$	$0,50 < N \leq 0,70$	$\pm 10 < N \leq \pm 15$
Tidak Memuaskan	$N > 0,70$	$N < 0,50$	$N > \pm 15$

Perhitungan debit banjir pada DTA Bendungan Bagong di bagi menjadi 5 subdas (subbasin) dan terdapat 2 reach dengan Bendungan Bagong sebagai sink yang terdapat di hilir dari DTA seperti terlihat pada **Gambar 2**. Parameter yang diperlukan yaitu *Initial Abtraction/ InitLoss* (abstraksi awal), *Curve Number/CN* (bilangan kurva), *Persen Impervious/PctImp* dan *Lag Time*.

Tabel 5. Nilai Parameter setelah Kalibrasi pada DTA Bendungan Bagong

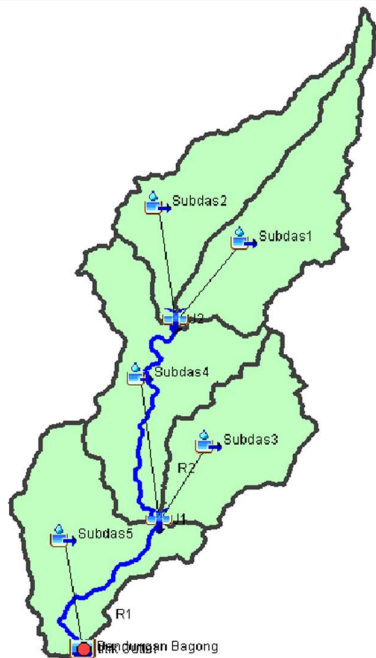
Subbasin/ Reach	Parameter			Ratio To Peak
	Curve Number	Lag Time	Recession Constant	
Subdas 1	72	157,16	0,1	0,2
Subdas 2	72	158,79	0,1	0,2
Subdas 3	71	92,14	0,1	0,2
Subdas 4	71	139,86	0,1	0,2
Subdas 5	74	100,283	0,1	0,2
Reach 1	95	110,16	0,1	0,2
Reach 2	95	127,21	0,1	0,2

Pada *time series data* dimasukan nilai distribusi hujan tiap kala ulang dari hasil perhitungan pada **Tabel 3**. Hasil dari pemodelan didapatkan debit banjir rencana di Bendungan Bagong seperti terlihat pada **Tabel 6**. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai masukan dalam penentuan operasi *early release* pada Bendungan Bagong.

b) Penentuan Operasi *Early Release*

Hasil simulasi dengan skenario A (**Tabel 1**) atau dengan operasi pelimpah bebas, didapatkan untuk debit dengan kala ulang 2 tahun dan 5 tahun debit *outflow* masih mencukupi untuk kapasaitas hilir sebesar $166 \text{ m}^3/\text{dt}$ seperti terlihat pada **Gambar 3** sehingga tidak memerlukan operasi *early release*.

Hasil dari simulasi B didapatkan CWL pada elevasi +324,5 dengan bukaan pintu 2,5 meter, $Q_{10\text{th}}$ debit *outflow* dapat tertampung kapasitas sungai di hilir. Sedangkan untuk $Q_{25\text{th}}$ debit *outflow* tidak dapat tertampung kapasitas sungai di hilir seperti terlihat pada **Gambar 4**. Penentuan CWL untuk setiap debit kala ulang menggunakan metode *trial and error*, dengan menurunkan asumsi elevasi atau dalam program HEC-HMS sebagai *Initial Elevation* untuk setiap skenario pada **Tabel 1**.



Gambar 2. Pembagian DTA Bendungan Bagong

Hasil dari simulasi B didapatkan CWL pada elevasi +324,5 dengan bukaan pintu 2,5 meter, Q_{10th} debit *outflow* dapat tertampung kapasitas sungai di hilir. Sedangkan untuk Q_{25th} debit *outflow* tidak dapat tertampung kapasitas sungai di

hilir seperti terlihat pada **Gambar 4**. Penentuan CWL untuk setiap debit kala ulang menggunakan metode *trial and error*, dengan menurunkan asumsi elevasi atau dalam program HEC-HMS sebagai *Initial Elevation* untuk setiap skenario pada **Tabel 1**. Hasil simulasi penentuan CWL dapat dilihat pada **Tabel 7**. Dari tabel tersebut untuk skenario D dengan operasi bukaan 2 pintu pelimpah setinggi 2,5 meter dan *Outlet* didapatkan CWL untuk debit kala ulang Q_{50} pada elevasi +322, Q_{100} pada elevasi +320,9, Q_{200} pada elevasi +320, dan Q_{1000} pada elevasi +317,9. Sedangkan untuk simulasi Q_{PMF} debit *outflow* tidak dapat tertampung dengan kapasitas sungai hilir sampai pada elevasi muka air rendah, sehingga dapat disimpulkan untuk Q_{PMF} tidak dapat dilakukan operasi *early release*

Tabel 6. Debit Banjir Rencana Bendungan Bagong

Kala Ulang	Debit Perhitungan (m ³ /dt)
2 th	140,93
5 th	163,07
10 th	189,18
25 th	207,33
50 th	227,27
100 th	246,05
200 th	263,97
1000 th	302,89
PMF	707,41

Tabel 7. Elevasi *Control Water Level* (CWL) Bendungan Bagong

Debit	Elevasi CWL (m)	Debit <i>Outflow</i> (m ³ /dt)	Elevasi Muka Air Maksimum (m)	Keterangan
Q_{2th}	-	122,29	326,65	Tidak memerlukan <i>Early Release</i>
Q_{5th}	-	143,13	326,82	Tidak memerlukan <i>Early Release</i>
Q_{10th}	324,5	162,63	326,71	Skenario B bukaan pintu 2,5 meter
Q_{25th}	323	164,73	326,72	Skenario B bukaan pintu 2,5 meter
Q_{50th}	322	164,53	326,36	Skenario D bukaan pintu 2,5 meter
Q_{100th}	320,9	164,86	326,37	Skenario D bukaan pintu 2,5 meter
Q_{200th}	320	165,91	326,38	Skenario D bukaan pintu 2,5 meter
Q_{1000th}	317,9	164,56	326,36	Skenario D bukaan pintu 2,5 meter
Q_{PMF}	297	321,82	327,85	<i>Initial Elevation</i> pada MAR <i>outflow</i> tidak memenuhi kapasitas sungai hilir

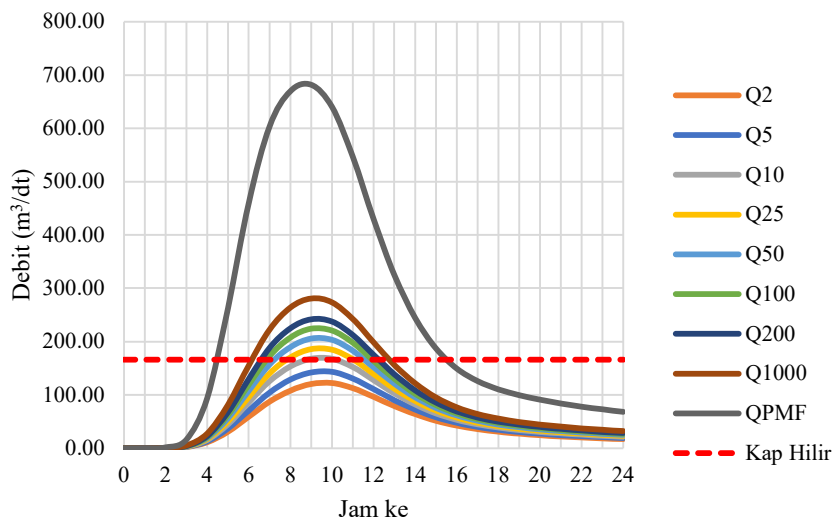
Operasi *early release* adalah menurunkan elevasi muka air waduk sebelum banjir datang sampai dengan *Control Water Level* (CWL) sesuai kala ulang hasil simulasi. Penurunan elevasi dilakukan dengan 2 tahap, yaitu dengan menggunakan pintu pelimpah dan *Outlet*. Dari hal tersebut dilakukan simulasi dengan tidak mempertimbangkan *inflow* dikarenakan ketika operasi *early release* dilakukan sebelum *inflow*/debit banjir datang Hasil simulasi operasi *early*

release penurunan elevasi tahap 1 menggunakan pintu pelimpah dengan bukaan 0,5 meter dan *Buttom Outlet* untuk elevasi +325 sampai dengan elevasi +323,5 laju penurunan 0,923 meter/hari. Sedangkan tahap 2 untuk elevasi di bawah elevasi +323,5 menggunakan operasi *Buttom Outlet* dan *Intake* dengan laju penurunan 0,56 meter/hari. Hal tersebut sesuai dengan Surat Edaran Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yaitu penurunan muka air waduk

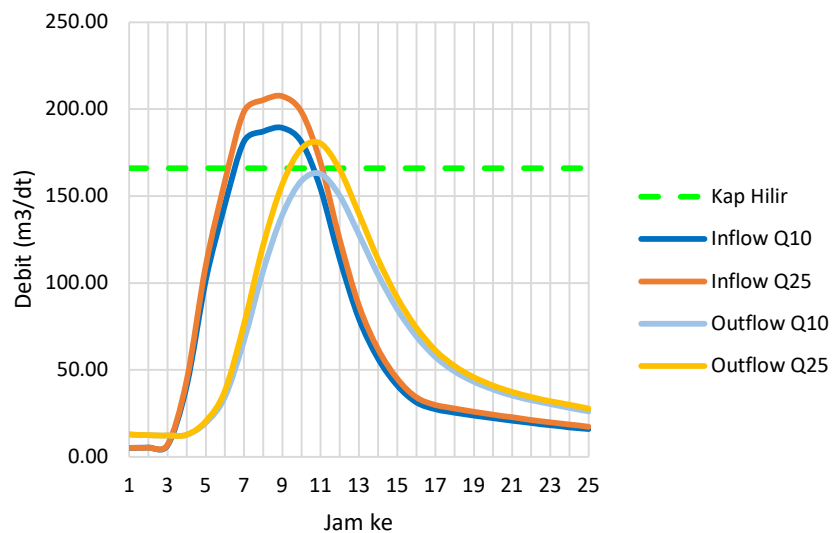
normal ke muka air waduk rendah, maksimum penurunan muka air waduk disarankan 1 meter/hari. Operasi *early release* dapat dilakukan untuk Q_{10} sampai Q_{100} , sedangkan untuk Q_{200} dan Q_{1000} tidak dapat dilakukan karena melebihi dari prediksi hujan yang dikeluarkan oleh BMKG yaitu selama 7 hari seperti terlihat pada **Tabel 8**.

c) Efektifitas Reduksi Banjir dengan *Early Release*

Besaran reduksi banjir pada Sertifikasi Bendungan Bagong sebesar 15,02% pada debit *inflow* Q_{25} . Penentuan efektifitas penerapan *early release* dalam mereduksi banjir dengan membandingkan reduksi banjir perencanaan dan hasil perhitungan. Besaran reduksi banjir pada elevasi +324,5 dengan menggunakan skenario B dapat dilihat pada **Tabel 9**.



Gambar 3. Debit *Outflow* Bendungan Bagong saat Simulasi Skenario A



Gambar 4. Hidrograf Banjir Q_{10} dan Q_{25} Buka-an Pintu Pelimpah 2,5 meter Skenario B Elevasi +324,5

Tabel 8. Durasi *Early Release* Bendungan Bagong

Kala Ulang	Elevasi CWL	Penurunan Muka Air (meter)	Bukaan Pintu (meter)				
			Lama penurunan (hari)				
			0,5	1	1,5	2	2,5
Q _{10th}	324,5	0,5	0,50	0,21	0,17	0,13	0,08
Q _{25th}	323	2	2,50	1,58	1,38	1,42	1,46
Q _{50th}	322	3	4,33	3,42	3,21	3,25	3,29
Q _{100th}	320,9	4,1	6,42	3,79	5,29	5,33	5,38
Q _{200th}	320	5	8,17	7,25	7,04	7,08	7,13
Q _{1000th}	317,9	7,1	11,96	11,04	10,83	10,88	10,92

Tabel 9. Reduksi Banjir Q₂₅

Elevasi <i>Early Release</i>	Bukaan Pintu (meter)				
	Reduksi Banjir Q ₂₅ (%)				
	0,5	1	1,5	2	2,5
324,5	12,429	12,782	13,182	13,534	13,105
323	20,639	21,092	21,106	20,938	20,547
322	32,870	33,083	32,904	32,205	30,869
320,9	46,231	46,100	45,377	43,872	41,446

Dari **Tabel 9** diketahui bahwa reduksi terbesar pada Q₂₅ dengan bukaan pintu 2 meter sebesar 13,534%, nilai reduksi dibawah pada Sertifikasi Bendungan Bagong Tahun 2018. Dari hasil tersebut bukaan pintu pelimpah untuk elevasi CWL +324,5 tidak efektif dalam mereduksi banjir. Berdasarkan simulasi tersebut didapatkan reduksi terbesar pada bukaan pintu pelimpah 1,5 meter dielevasi CWL +323 adalah 21,106%, bukaan pintu pelimpah 1 meter elevasi CWL +322 adalah 33,083%, dan bukaan pintu pelimpah 0,5 meter elevasi CWL +320,9 adalah 46,231%. dari hasil tersebut nilai reduksi banjir lebih besar dari reduksi saat perencanaan/tanpa operasi *early release*. Sehingga dapat disimpulkan untuk *operasi early release* dengan penurunan sampai elevasi CWL +320,9 paling efektif dalam mereduksi banjir pada hilir Bendungan Bagong.

4. Simpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

- Hasil simulasi 4 skenario dengan bukaan pada pintu pelimpah didapatkan elevasi CWL untuk debit kala ulang Q₁₀ pada elevasi +324,5, Q₂₅ elevasi +323, Q₅₀ elevasi +322, Q₁₀₀ elevasi +320,9, Q₂₀₀ elevasi +320, dan Q₁₀₀₀ elevasi +317,9.
- Hasil simulasi operasi *early release* Bendungan Bagong didapatkan penurunan sampai elevasi *Control Water Level* (CWL) +320,9 dengan bukaan pintu pelimpah 0,5

meter paling efektif dalam mereduksi banjir pada hilir Bendungan Bagong.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian PUPR, *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Indonesia, 2015.
- [2] M. Fachrurrozi, "Studi Optimasi Pemanfaatan Waduk Bagong Di Kabupaten Trenggalek Untuk Jaringan Irigasi , Kebutuhan Air Baku , Dan Potensi PLTA," 2017.
- [3] BNPB, "Bnpb.go.id." [Online]. Available: [https://bnpb.go.id/berita/sebelas-kecamatan-di-trenggalek-terendam-banjir-kepala-bnpb-tinjau-lokasi-terdampak-](https://bnpb.go.id/berita/sebelas-kecamatan-di-trenggalek-terendam-banjir-kepala-bnpb-tinjau-lokasi-terdampak)
- [4] N. Hidayah Ishak and A. Mustafa Hashim, "Dam pre-release as an important operation strategy in reducing flood impact in Malaysia," *E3S Web Conf.*, vol. 34, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20183402017.
- [5] A. Jonathan, D. Yudianto, and S. Sanjaya, "Penentuan Pola Operasi Pintu Pelimpah Dalam Rangka Pengendalian Banjir Bendungan Delingan, Jawa Tengah," *J. Tek. Hidraul.*, vol. 12, no. 2, pp. 93–106, 2021, doi: 10.32679/jth.v12i2.662.
- [6] K. PUPR, "Surat Edaran Tentang Pedoman Pengisian Awal Waduk," *JDIH Kementeri. PUPR*, p. 50, 2019.
- [7] A. N. Negoro and H. Pramawan, "Perencanaan Teknis Embung Silandak sebagai Pengendali Banjir Kali Silandak Semarang," 2008.

- [8] A. Setiawan, M. Taufik, and N. A. Larasati, "Analisis Hidrologi Penentuan Debit Banjir Bendung Tegalduren Kabupaten Purworejo," *J. Surya Bet.*, vol. 6, no. 2, pp. 53–62, 2022.
- [9] Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: NOVA, 1995.
- [10] L. M. Limantara, *Rekayasa Hidrologi*, Revisi., no. 1. Yogyakarta: Andi, 2018. doi: 10.31812/apd.v0i13.1822.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 7746*. Indonesia, 2012.
- [12] USACE, *HEC-HMS User ' s Manual*. US, 2022. [Online]. Available: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest/release-notes/v-4-12-0-release-notes>
- [13] W. S. Putra, Y. L. Handayani, and M. Fauzi, "Kalibrasi Parameter Terhadap Debit Banjir di Sub DAS Siak Bagian Hulu," 2016.
- [14] B. Limbong and D. A. Wulandari, "Reservoir Routing di Waduk Greneng, Blora Dengan Model HEC-HMS," *Siklus J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 230–247, 2022.
- [15] P. Wijayanti, I. Istiarto, and R. Jayadi, "Wonogiri reservoir operation pattern after the construction of new spillway for flood control," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 27, no. 2, pp. 268–276, 2021, doi: 10.14710/mkts.v27i2.35783.
- [16] A. Amalia and W. Wesli, "Penelusuran Banjir Menggunakan Metode Level Pool Routing Pada Waduk Kota Lhokseumawe," *Teras J. J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.29103/tj.v5i1.2.
- [17] Soewarno, *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: NOVA, 1995.
- [18] G. Tunas, "Kalibrasi Parameter Model Hec-Hms untuk Menghitung Aliran Banjir DAS Bengkulu," *MEKTEK*, vol. VII-No.1, pp. 20–27, 2005.
- [19] D. N. Moriasi, J. N. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith, "Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations," *Colomb. Med.*, vol. 50, no. 3, pp. 885–900, 2007.