



EVALUASI KEMAMPUAN BENDUNGAN JLANTAH DALAM MEREDUKSI BANJIR

Siti Robiatul Adawiyah^{1*}, Ignatius Sriyana², Suharyanto³

^{1*,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Soedarto S.H. Tembalang, Semarang, Indonesia
Telp (024) 76922650
Alamat E-mail: robbiaddawiyah@gmail.com

Info Artikel	Abstrak
<p><i>Sejarah Artikel:</i></p> <p>Diterima: Juli 2024 Disetujui: Agt 2024 Dipublikasikan: Des 2024</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i></p> <p><i>flood discharge; overtopping; HEC HMS; flood reduction; flood routing</i></p>	<p>Bendungan Jlantah merupakan bendungan multiguna yang dibangun mulai tahun 2019. Selain memiliki banyak manfaat, bendungan juga memiliki potensi bahaya jika terjadi banjir yang dapat mengakibatkan <i>overtopping</i>. Besarnya debit banjir dipengaruhi oleh curah hujan dan kondisi tutupan lahan. Tahun 2020 – 2022 BMKG mencatat terjadi fenomena La Nina yang dapat berdampak pada peningkatan intensitas hujan. Selain itu, dari Tahun 2017 – 2023 terjadi perubahan tutupan lahan di DTA Bendungan Jlantah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit banjir di Bendungan Jlantah dengan kondisi hujan dan tutupan lahan terkini dan mengevaluasi keamanan bendungan terhadap <i>overtopping</i> melalui penelusuran banjir HEC-HMS. Pemodelan banjir HEC-HMS menunjukkan hasil peningkatan debit banjir rata-rata sebesar $\pm 3,27\%$ dari Studi Tahun 2017. Berdasarkan hasil penelusuran banjir, tinggi jagaan bendungan pada debit rencana Q2 4,2 meter, Q5 3,9 meter, Q10 3,8 meter, Q25 3,5 meter, Q50 3,3 meter, Q100 3 m, Q1000 2,6 meter, dan PMF 0,9 meter. Pada debit PMF terjadi penurunan tinggi jagaan 0,35 m dari studi 2017 namun tetap aman terhadap <i>overtopping</i>. Besarnya reduksi banjir pada debit rencana Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, Q100, Q1000 tahun, dan PMF berurutan: 33%; 33%; 32%; 30%; 29%; 26%; 24%; dan 17%.</p>
	<p>Kata Kunci: debit banjir, <i>overtopping</i>, HEC HMS, reduksi banjir, penelusuran banjir.</p> <p>Abstract</p> <p><i>The Jlantah Dam is a multi-purpose dam that was built in 2019. Besides the benefits, the dam also has potential danger if it floods and cause overtopping. Flood discharge is influenced by rainfall and land cover conditions. BMKG noted that the La Nina phenomenon occurred in 2020 – 2022 which had an impact on increasing rain intensity and inflow discharge. Besides that, the land cover in the Jlantah Dam catchmen area has been chage during 2017 – 2023. This research aims to analyze flood discharge at Jlantah Dam with current rain conditions and land cover and evaluate the safety of the dam against overtopping through HEC-HMS flood routing. The HEC-HMS flood modelling show that there is an increase in average flood discharge of $\pm 3,27\%$ from the 2017 study. Based on the results of the flood routing, the dam's freeboard at Q2 4,2 meters, Q5 3,9 meter, Q10 3,8 meters, Q25 3,5 meters, Q50 3,3 meters, Q100 3 meters, Q1000 2,6 meters, dan PMF 0,9 meters. At the PMF discharge there was a decrease in the freeboard of 0,35 m from the 2017 study but it remained safe against overtopping. The flood reduction at Q2, Q5, Q10, Q25, Q50,</i></p>

Q100, Q1000 years, and PMF respectively: 33%; 33%; 32%; 30%; 29%; 26%; 24%; and 17%._____

© 2024

Universitas Abdurrah

✉ Alamat korespondensi:

Jalan Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang

E-mail: robbiaddawiyah@gmail.com

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Bendungan merupakan bangunan air yang memiliki banyak manfaat diantaranya untuk pengendali banjir, mengaliri irigasi, air baku, PLTA, pariwisata dan lain – lain. Namun selain itu bendungan juga dapat menjadi sumber bahaya baru yang dapat merugikan masyarakat jika terjadi banjir besar yang dapat mengakibatkan terjadi *overtopping* atau muka air waduk melebihi *dam top* [1]. Bendungan Jlantah merupakan bendungan di Kabupaten Karanganyar yang dibangun oleh Kementerian PUPR mulai tahun 2019. Salah satu manfaatnya adalah untuk mereduksi banjir sebesar 70,33 m³/detik atau $\pm 51,26\%$ dari debit banjir kala ulang 50 tahun. Perhitungan desain banjir Bendungan Jlantah dilakukan pada tahun 2016 dengan menggunakan data curah hujan pada Tahun 1990 sampai 2016 serta kondisi tata guna lahan pada saat itu [2].

Seiring berkembangnya waktu maka akan terjadi perubahan karakter pada komponen – komponen hidrologi pada DAS yang dapat berdampak pada kondisi keseluruhan dari keseimbangan hidrologi dan dapat merubah karakter transformasi hidrologi pada DAS tersebut secara keseluruhan [3]. Faktor yang berpengaruh terhadap perubahan keseimbangan hidrologi adalah perubahan tata guna lahan. Berdasarkan peta tutupan lahan pada DTA Bendungan Jlantah, selama tahun 2017 sampai tahun 2023 terjadi perubahan berupa penurunan luas hutan tanaman $\pm 13\%$. Selain itu, di Indonesia pada tahun 2020 sampai 2022 telah terjadi fenomena La Nina [4]. Dampak dari fenomena La Nina salah satunya adalah meningkatnya intensitas hujan [5].

Berdasarkan kondisi hujan dan tutupan lahan saat ini maka akan dievaluasi kemampuan Bendungan Jlantah dalam mereduksi banjir. Kemampuan bendungan dalam mereduksi banjir dapat dianalisis dengan penelusuran banjir pada waduk dengan bantuan *software* HEC-HMS Penggunaan model HEC-HMS bertujuan agar mendapatkan nilai debit banjir dalam waktu yang lebih singkat dan dapat mengetahui pengaruh perubahan tampungan pada kondisi debit puncak banjir [6]

TINJAUAN PUSTAKA

Penelusuran Banjir

Pada pengendalian banjir di bendungan, perlu dilakukan penelusuran banjir untuk mendapatkan karakteristik hidrograf. Penelusuran banjir pada waduk dipengaruhi oleh karakteristik kolam tampungan, dimensi pelimpah, dan pengoperasian air di waduk untuk

pemenuhan kebutuhan air [7]. Pada penelusuran banjir prinsip yang digunakan adalah persamaan kontinuitas massa aliran sederhana yang disajikan pada persamaan berikut [8]:

$$I - O = \Delta S \quad (1)$$

Dimana I adalah inflow waduk, O adalah outflow waduk, dan ΔS adalah perubahan tampungan di waduk.

Persamaan kontinuitas pada periode interval waktu adalah sebagai berikut [9]:

$$\left(\frac{I_t+I_{t+1}}{2}\right) \Delta t - \left(\frac{O_t+O_{t+1}}{2}\right) \Delta t = S_t - S_{t+1} \quad (2)$$

Dimana I_t dan I_{t+1} adalah inflow waduk saat t dan t+1, O_t dan O_{t+1} adalah Outflow waduk saat t dan t+1, S_t dan S_{t+1} adalah perubahan tampungan waduk saat t dan t+1, dan Δt adalah interval waktu.

Pemodelan Debit Banjir HEC HMS

Perhitungan banjir rencana Bendungan Jlantah pada penelitian ini akan menggunakan bantuan software HEC-HMS (*Hydrologic Modelling System*). Pemodelan ini dikembangkan oleh *US. Army Corps Of Engineer* untuk keperluan analisis hidrologi. [10]. Berikut adalah komponen utama pada pemodelan banjir HEC-HMS:

Hujan dengan *model user hyetograph* untuk menginput intensitas hujan pada jam 1 sampai jam 6 [6].

Volume *runoff* menggunakan metode *SCS Curve Number* untuk menentukan hujan efektif dengan menghitung kehilangan akibat evaporasi, infiltrasi, intersepsi, dan limpasan [11]. Hujan efektif dengan metode *SCS Curve Number* dihitung dengan Persamaan (3).

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad (3)$$

Dimana P_e adalah besarnya hujan efektif saat t (mm), P adalah besarnya hujan pada waktu t (mm), I_a adalah nilai abstraksi awal (mm), dan S adalah potensi retensi maksimum (mm).

Nilai *initial abstraction* (I_a) dan *potential maximum retention* (S) dihitung dengan Persamaan (4) dan (5)

$$I_a = 0,2 \times S \quad (4)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ (mm)} \quad (5)$$

Dimana CN adalah nilai *Curve Number*.

Nilai *curve number* (CN) pada DAS dapat dihitung dengan persamaan CN komposit sebagai berikut:

$$CN \text{ komposit} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (6)$$

Dimana A_i adalah luas pada subdas i dan CN_i adalah nilai CN pada subdas i.

Direct Runoff dengan metode *SCS Unit Hydrograph* untuk memodelkan limpasan permukaan langsung [6]. Parameter yang diinput adalah *lag time* yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_L = \frac{L^{0.8} \left(\left(\frac{1000}{CN} - 1 \right) + 1 \right)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \tag{7}$$

Dimana t_L adalah *time lag* (Jam), L adalah panjang aliran DAS (ft), S adalah *potential maximum retention* (in), dan Y adalah kemiringan rata – rata DAS (%).

Baseflow dengan metode *recession* untuk menentukan aliran dasar pada waktu tertentu. Debit awal *baseflow* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3]:

$$QB = 0,4751A^{0,6444}D^{0,9430} \tag{8}$$

Dimana QB adalah *baseflow* (m³/detik), A adalah luas (km²) dan D adalah kerapatan jaringan kurus (km/km²).

Kalibrasi Model HEC - HMS

Kalibrasi model bertujuan untuk mendapatkan hasil debit simulasi pada HEC nilainya mendekati debit observasi. Kalibrasi dilakukan dengan menginput kombinasi parameter model yang ditinjau [12]. Tingkat keakuratan model HEC-HMS dapat diperiksa berdasarkan nilai parameter statistiknya. Kriteria evaluasi model ditunjukkan pada Tabel 1 [13].

Tabel 1. Kriteria Performa Model HEC-HMS (Moriassi et al., 2007)

Tingkat Performa	Parameter Statistik		
	RSR	NSE	PBIAS
Sangat Baik	0 - 0,5	> 0,8	< ± 5%
Baik	0,5 - 0,6	0,7 - 0,8	± 5% - ± 10%
Cukup Baik	0,6 - 0,7	0,5 - 0,7	± 10% - ± 15%
Buruk	>0,7	< 0,5	> ± 15%

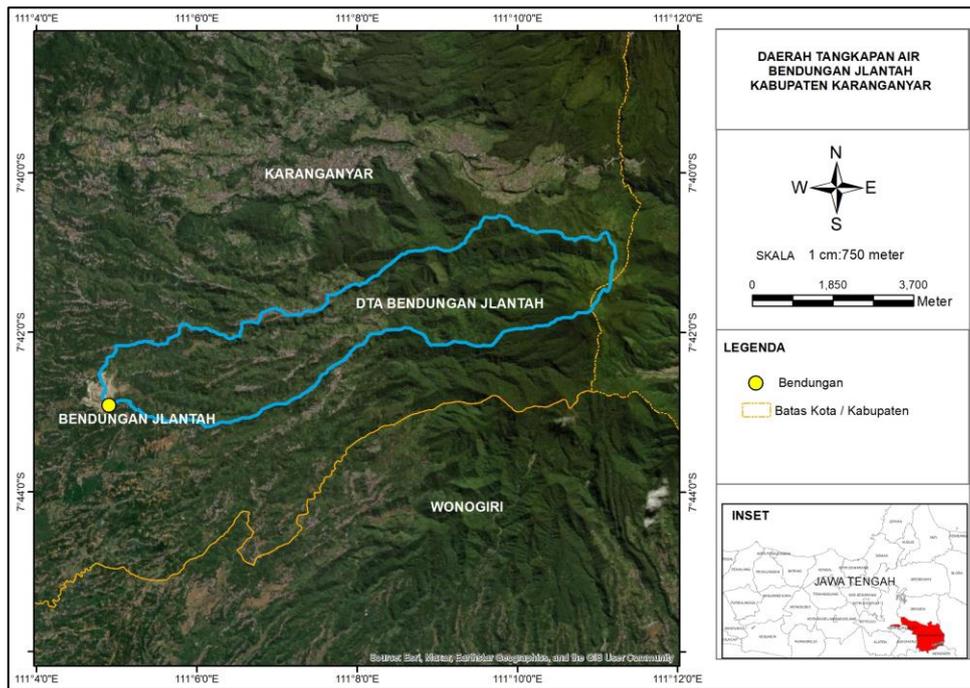
Hasil kalibrasi HEC HMS menunjukkan perbedaan nilai debit simulasi kecil [14]. Debit puncak pemodelan setelah dilakukan kalibrasi nilainya mendekati debit pengamatan. Sehingga parameter model setelah dikalibrasi dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi banjir pada DAS tersebut [15].

METODE

Lokasi Penelitian

Bendungan Jlantah secara Administrasi berada di Desa Tlobo dan Desa Karangari, Kecamatan Jatiyoso, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. Sedangkan secara geografis terletak pada 7° 42' 44,05" LS (Lintang Selatan) dan 111° 4' 47,51" BT (Bujur Timur). As Bendungan Jlantah dibangun di pertemuan Sungai Jlantah dan Puru. Waduk Jlantah menggenangi Desa Tlobo dan Desa Karangari. Luas daerah tangkapan air sebesar 22,47 km². Tipe Bendungan Jlantah adalah urukan random kerikil krakalan zonai inti tegak dengan panjang puncak 404 m dan

elevasi puncak terletak pada +690,0 m [2]. Peta DTA Bendungan Jlantah disajikan pada Gambar 1.



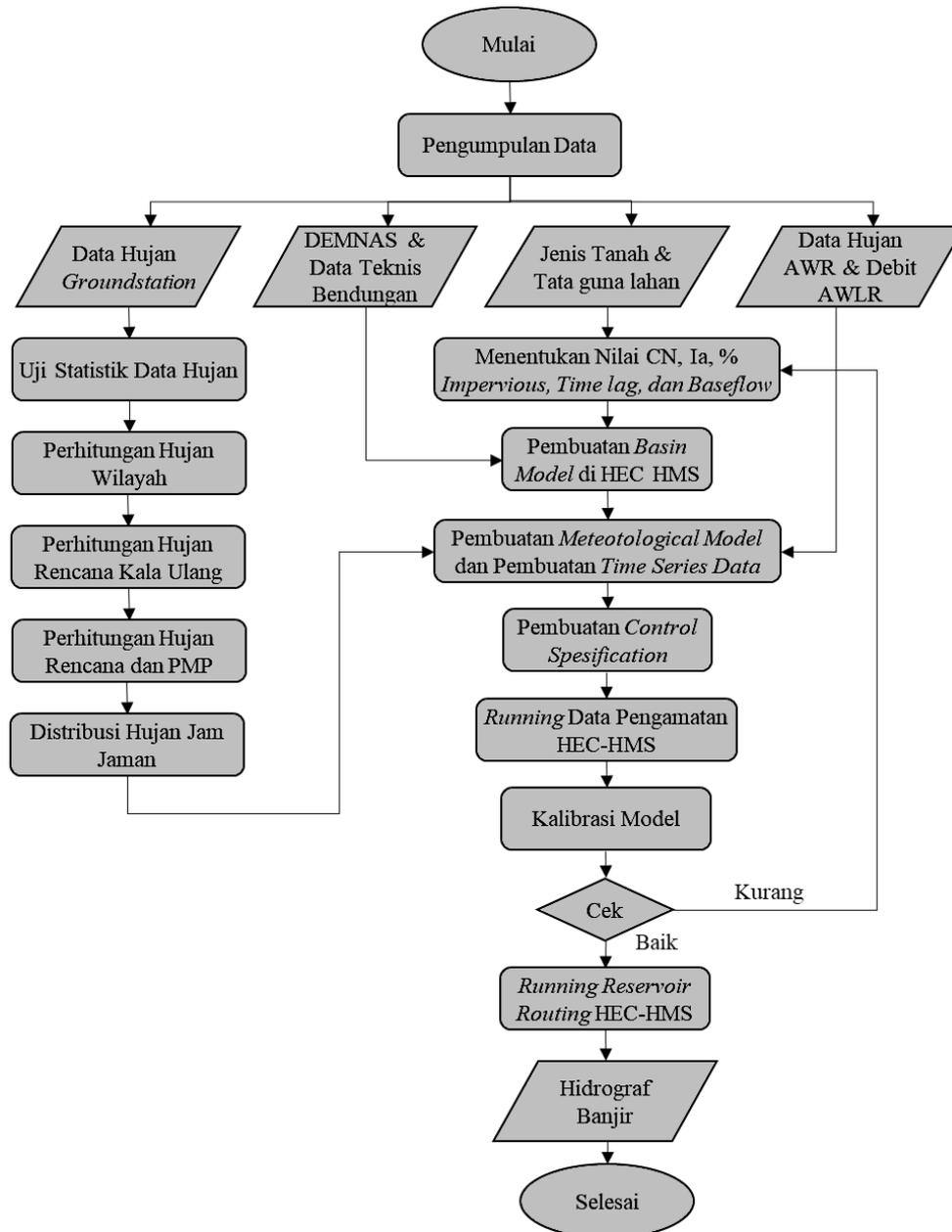
Gambar 1 Peta DTA Bendungan Jlantah

Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini diantaranya data teknis Bendungan Jlantah, lengkung elevasi – luas – volume waduk, curah hujan *groundstation* tahun 2002 - 2021, data debit pengamatan di Bendungan Jlantah tahun 2024, data tata guna lahan tahun 2017 dan tahun 2023, data jenis tanah yang diperoleh dari BBWS Bengawan Solo, dan peta topografi yang diunduh dari website Badan Informasi Geospasial.

Tahapan Penelitian

Berikut ini adalah bagan alir tahapan penelitian evaluasi kemampuan bendungan Jlantah dalam reduksi Banjir:



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hujan Rencana dan Intensitas Hujan Rencana

Hujan rencana di DTA Bendungan Jlantah didapat dengan Analisa frekuensi terhadap data hujan tahun 2002 sampai 2021. Metode yang digunakan adalah Normal, Log Normal, Log Pearson III, dan Gumbel. Dalam perhitungan banjir rencana, diperlukan input berupa hujan rencana yang didistribusikan ke dalam hujan jam-jaman (hyetograph). Durasi hujan terpusat di Indonesia berdasarkan hasil pengamatan tidak lebih dari 6 jam [8]. Pada penelitian ini, pola

distribusi hujan akan menggunakan metode mononobe. Hasil intensitas hujan pada tiap kala ulang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Intensitas Hujan Bendungan Jlantah Metode Mononobe

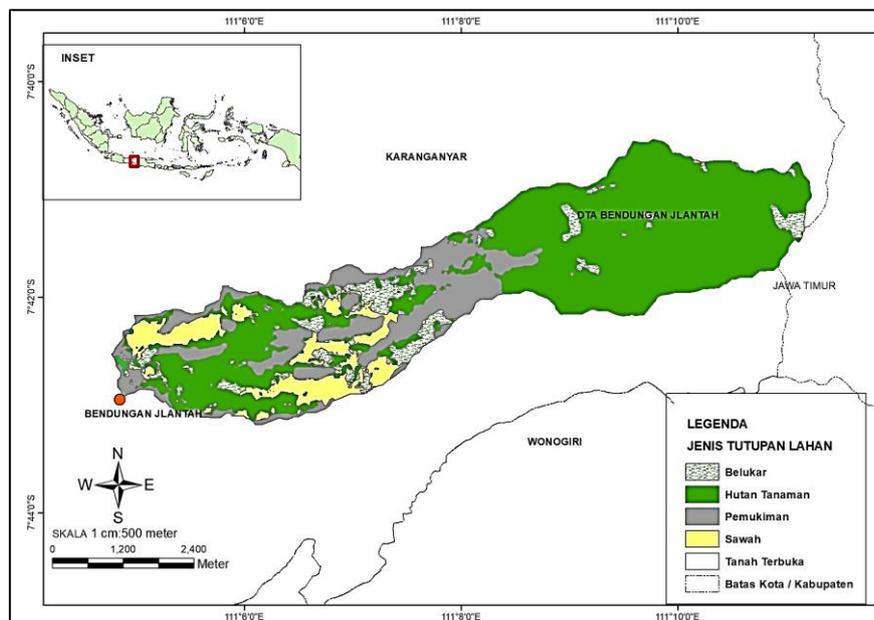
Jam ke	% Hujan Jam Ke-	Kala Ulang (Tahun)								
		2	5	10	25	50	100	500	1000	PMP
1	55,0%	41,9	54,5	64,4	78,9	91,3	105,1	144,2	164,6	296,3
2	14,3%	10,9	14,2	16,7	20,5	23,7	27,3	37,5	42,8	77,0
3	10,0%	7,6	9,9	11,7	14,4	16,6	19,2	26,3	30,0	54,0
4	8,0%	6,1	7,9	9,3	11,5	13,2	15,3	20,9	23,9	43,0
5	6,7%	5,1	6,7	7,9	9,7	11,2	12,9	17,7	20,2	36,3
6	5,9%	4,5	5,8	6,9	8,5	9,8	11,3	15,4	17,6	31,7
Hujan Rencana (mm)		76,2	99,0	117,0	143,4	165,9	191,0	262,0	299,2	538,4

Pemodelan Banjir HEC-HMS

Berikut adalah Tahapan pada pemodelan banjir dengan perangkat lunak HEC-HMS:

Penentuan parameter model

Parameter yang perlu diinput adalah nilai CN, *Initial abstraction*, *% Impervious*, *Time lag*, dan *Baseflow*. Parameter model didapatkan dengan melakukan overlay peta jenis tanah dan tata guna lahan dengan bantuan perangkat lunak Arc Gis. Jenis tanah di DTA Bendungan Jlantah termasuk ke dalam klasifikasi kelas hidrologi tanah C dan D. Sedangkan tata guna lahannya DTA Bendungan Jlantah disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Peta Tata Guna Lahan DTA Jlantah

Hasil analisis pada Tabel 3 menunjukkan terjadi perubahan tutupan lahan dari tahun 2017 sampai tahun 2023 yaitu penurunan luas hutan tanaman dan peningkatan luas belukar,

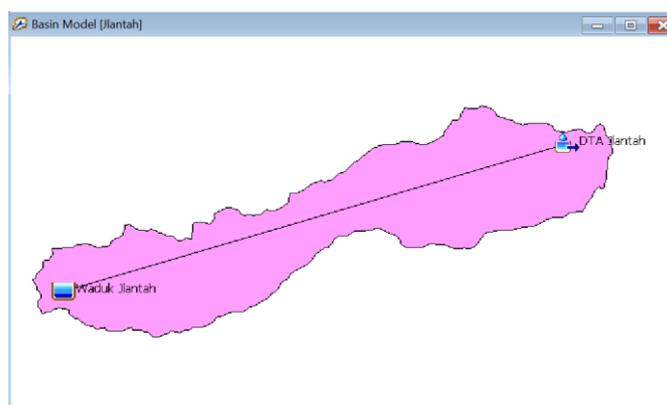
pemukiman, sawah, dan tanah terbuka. Perubahan tata guna lahan berpengaruh terhadap besarnya nilai parameter model.

Tabel 3. Tata Guna Lahan DTA Bendungan Jlantah Tahun 2017 dan 2023

Tata Guna Lahan	Tahun 2017		Tahun 2023	
	Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%
Belukar	1,30	6%	1,76	8%
Hutan Tanaman	16,69	74%	14,3	64%
Pemukiman	2,45	11%	3,93	17%
Sawah	2,04	9%	2,44	11%
Tanah Terbuka	0	0%	0,04	0%
Total	22,47	100%	22,47	100%

Pembuatan *basin model*

Pada penelitian ini DTA Bendungan Jlantah dimodelkan dalam satu subbasin karena luas DTA yang tidak terlalu besar yaitu 22,47 km². Basin model Bendungan Jlantah disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Basin Model Bendungan Jlantah

Pengisian *Time Series Data*

Pada tahapan ini akan diinput hasil intensitas hujan pada Tabel 2. Selain itu untuk kalibrasi akan diinput hujan pada pencatatan AWR Jlantah dan debit pada AWLR Jlantah untuk periode 6 Januari 2024 sampai 29 Februari 2024.

Pembuatan *Meteorologic Model*

Data *Specified Hyetograph* yang telah diinput kedalam *time series data* akan dimasukkan ke subbasin pada komponen *meteorologic models*.

Pembuatan *control specifications*

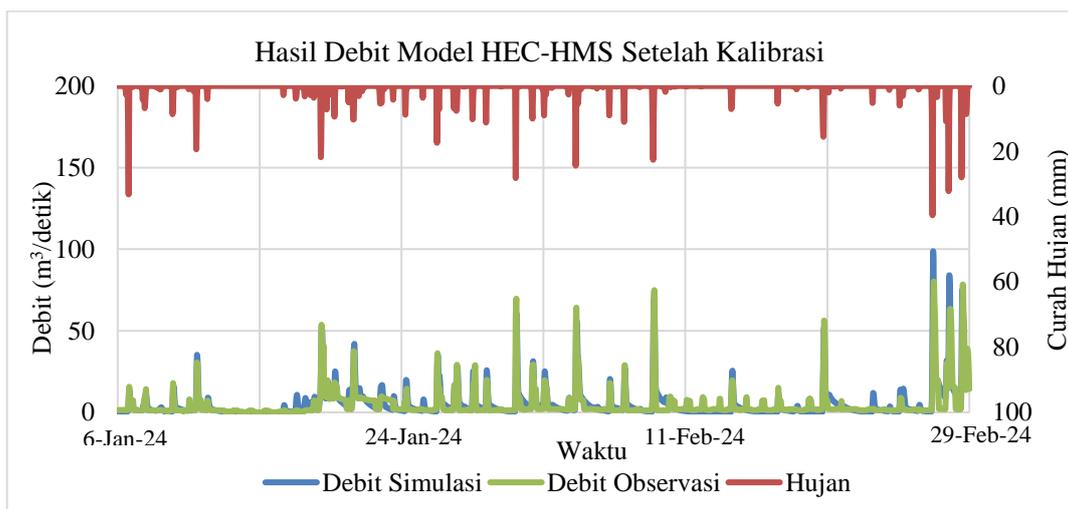
Pada komponen ini akan ditentukan waktu simulasi dengan menentukan jangka waktu dan langkah waktu.

Pembuatan komponen *paired data*

Pada komponen ini akan diinput data elevasi dan kapasitas tampungan waduk untuk selanjutnya digunakan dalam *reservoir routing*.

Kalibrasi Model HEC-HMS

Kalibrasi model HEC-HMS Bendungan Jlantah bertujuan untuk mendapatkan kombinasi parameter model yang sesuai dengan kondisi DTA Bendungan Jlantah. Kalibrasi dilakukan dengan cara coba – coba (*trial and error*) memasukkan kombinasi parameter model. Parameter yang dilakukan kalibrasi adalah *nilai curve number, initial abstraction, % impervious, time lag, dan baseflow*. Data yang digunakan adalah debit pengamatan pada AWLR yang berlokasi di jalan akses 4 Bendungan Jlantah dan data hujan pada AWR Bendungan Jlantah. Data yang digunakan dari 6 Januari 2024 sampai 29 Februari 2024. Debit simulasi setelah dilakukan kalibrasi disajikan pada Gambar 5. Setelah dilakukan kalibrasi, didapatkan hasil RMSE 0,5 (sangat baik), PBIAS 7,43% (baik), dan NSE 0,73 (baik). Parameter model DTA Bendungan Jlantah setelah kalibrasi adalah nilai CN 69,82, Ia 6,75 mm, % *impervious* 22,47%, dan *time lag* 99,02 menit.



Gambar 5. Hasil debit model setelah Kalibrasi

Debit Banjir Rencana

Parameter model yang telah dikalibrasi digunakan sebagai input pemodelan banjir rencana pada setiap kala ulang. Hasil hidrograf banjir rencana Bendungan Jlantah disajikan pada Gambar 6. Pada Tabel 4 disajikan perbandingan debit banjir rencana studi 2017 dan hasil analisis 2024. Pada kala ulang 2 sampai 10 tahun cenderung terjadi penurunan debit banjir namun tidak terlalu besar. Sedangkan pada kala ulang 25, 50, 100, 1000, dan PMF terjadi kenaikan debit banjir. Jika dirata – rata terjadi peningkatan debit sebesar 3,27 %.

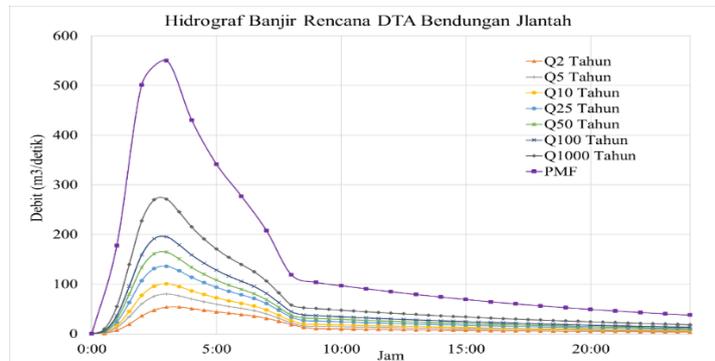
Reservoir Routing

Metode penelusuran banjir yang digunakan adalah *Outflow Structure*. Metode ini dipilih karena pada Bendungan Jlantah data yang diketahui hanya elemen struktur dan dimensi outlet.

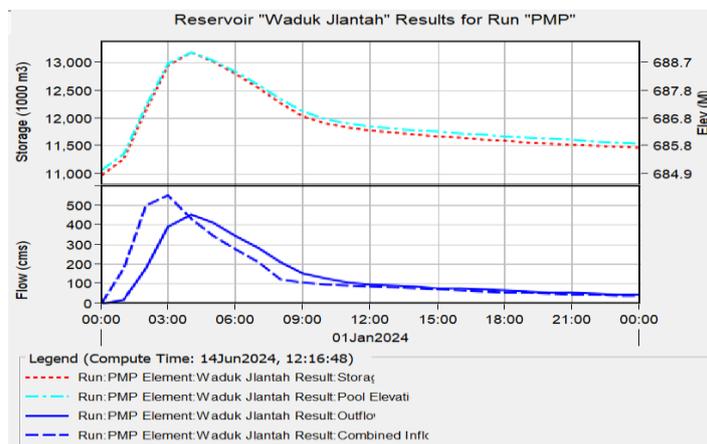
Pada pemodelan reservoir routing, dilakukan input data teknis bendungan, outlet, spillway, dan dam top [6]. Tipe *spillway* Bendungan Jlantah adalah free overflow dengan elevasi puncak berada pada +685,0 m. Hasil Penelusuran banjir pada QPMF disajikan pada Gambar 7.

Tabel 4. Perbandingan Debit Banjir Rencana Studi 2017 dan HEC HMS 2024

No	Kala Ulang (Tahun)	Studi 2017 (m ³ /detik)	HEC HMS 2024 (m ³ /detik)
1	2	70,31	54,10
2	5	88,90	80,20
3	10	103,73	101,00
4	25	125,57	136,20
5	50	144,29	164,60
6	100	165,30	195,30
7	1000	256,61	271,30
8	PMF	477,69	550,20



Gambar 6 Hidrograf Banjir Rencana Bendungan Jlantah



Gambar 7 Penelusuran Banjir Bendungan Jlantah QPMF

Pada QPMF elevasi puncak banjir berada pada +689,1 m dimana terjadi penurunan tinggi jagaan dibandingkan studi 2017 yaitu dari 1,25 m menjadi 0,9 m. Namun bendungan masih dalam kondisi aman dari *overtopping*. Berdasarkan hasil penelusuran pada tiap kala ulang, didapatkan nilai rata – rata kemampuan reduksi Bendungan Jlantah adalah 28%. Rekapitulasi hasil

penelusuran banjir pada tiap kala ulang untuk Studi Tahun 2017 dan analisis HEC-HMS 2024 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Penelusuran Banjir Bendungan Jlantah

Kala Ulang	HEC-HMS 2024			
	Inflow	Outflow	Reduksi	Tinggi Jagaan
2	54,10	36,4	33%	4,20
5	80,20	53,7	33%	3,90
10	101,00	68,8	32%	3,80
25	136,20	95,8	30%	3,50
50	164,60	117,6	29%	3,30
100	195,30	143,7	26%	3,00
1000	271,30	205,4	24%	2,60
PMF	550,20	454,9	17%	0,90

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil kalibrasi didapatkan nilai performa model adalah RMSE 0,5 (sangat baik), PBIAS 7,43% (baik), dan NSE 0,73 (baik). Parameter model setelah kalibrasi adalah nilai CN 69,82, Ia 6,75 mm, % *impervious* 22,47%, dan *time lag* 99,02 menit.
2. Debit banjir rencana pada Q2 54,1 m³/detik, Q5 80,2 m³/detik, Q10 101 m³/detik, Q25 136,2 m³/detik, Q50 = 164,6 m³/detik, Q100 = 195,3 m³/detik, Q1000 = 271,3 m³/detik dan 550,2 = m³/detik.
3. Rata - rata peningkatan debit rbanjir rencana dari Studi Tahun 2017 adalah 3,27 %.
4. Berdasarkan hasil penelusuran banjir, tinggi jagaan pada debit rencana Q2 = 4,2 meter, Q5 = 3,9 meter, Q10 = 3,8 meter, Q25 = 3,5 meter, Q50 = 3,3 meter, Q100 = 3 m, Q1000 = 2,6 meter, dan PMF = 0,9 meter.
5. Pada debit PMF terjadi penurunan tinggi jagaan 0,35 m dari studi 2017 namun tetap aman terhadap overtopping.
6. Besarnya reduksi banjir pada Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, Q100, Q1000 tahun, dan PMF berurutan: 33%; 33%; 32%; 30%; 29%; 26%; 24%; dan 17% dengan rata – rata reduksi 28%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo Kementerian PUPR, khususnya SNVT Pembangunan Bendungan, PUSBANGKOM BPSDM Kementerian PUPR, serta kepada rekan Magister Operasi dan Instrumentasi Hidrometeorologi Bendungan Universitas Diponegoro.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mulyono, J. (2017). Konsepsi Keamanan Bendungan dalam Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan. *Jurnal Infrastruktur*, 3(1), 62–69.
2. BBWS Bengawan Solo. (2017). *Studi Investigasi Tambahan Untuk DD Waduk Jlantah*. Solo: BBWS Bengawan Solo
3. Harto, S. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia
4. BMKG. (2022). *Fenomena La Nina Triple Dip Jadi Ancaman Negara-negara di Dunia*. Diakses pada 30 Januari 2023. Dari <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=bmkg-fenomena-la-nina-triple-dip-jadi-ancaman-negara-negara-di-dunia&lang=ID&tag=pressrelease>.
5. Harahap, W. N., Yuniasih, B., & Gunawan, S. (2023). Dampak La Nina 2021 - 2022 terhadap Peningkatan Curah Hujan. *Agroista*, 7(1), 26–32.
6. Limbong, B., & Wulandari, D. A. (2022). Reservoir Routing di Waduk Greneng, Blora Dengan Model HEC-HMS. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 230-247
7. Siregar, G. G. P. (2022). Pengaruh Upgrading Bangunan Pelimpah Terhadap Tinggi Jagaan Eksisting Tubuh Bendungan Kedung Ombo. *Potensi*, 24(2), 68–77.
8. Triatmodjo, B. (2019). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
9. Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi*, Revisi. Yogyakarta: ANDI OFFSET
10. Rasyid, A. Z., Suharyanto, S., Kodoatie, R. J., & Satriyawan, Y. P. (2023). Analisis Debit Banjir Rencana Daerah Tangkapan Air Waduk Tugu Menggunakan HEC-HMS. *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(1), 45–54.
11. Ideawati, L. N., Limantara, L. M., & Andawayanti, U. (2015). Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit Banjir di DAS Lesti. *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol 6 No 1. hal. 37-45.
12. Fadhillah, I. N., & Lasminto, U. (2021). Pemodelan Hujan-Debit DAS Kali Madiun Menggunakan Model HEC-HMS. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(3), 361–369.
13. Moriasi, D. N., Arnold, J. N., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Colombia Medica*, 50(3), 885–900.
14. Wiliya., & Lasminto, U. (2022). Pemodelan Hujan-Debit Mmenggunakan Model HEC-HMS di DAS Bengawan Solo Hulu. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(2), 193–198.
15. Cahyono, C., Susetyo, D., Herawati, H., Juliastuti (2021). Evaluasi Kinerja Tampungan Waduk Selorejo Menggunakan Perangkat Lunak HEC-HMS. *Jurnal Sainstis*, 21(1), 11–20.