



Karakteristik Hidraulik Banjir Bendung Karet Sungai Juwana Kabupaten Pati

Gusfan Halik*, Abdillah Tirta Silmi Kaaffah, Saifurridzal

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Kabupaten Jember

**)gusfan.teknik@unej.ac.id*

Received: 7 Februari 2024 Revised: 16 Agustus 2024 Accepted: 19 Agustus 2024

Abstract

Pati Regency, Central Java Province is an area that frequently experiences floods, including tidal floods and flash floods during the rainy season. The Pemali-Juwana River Basin Center has planned the construction of a rubber weir which will be built in 2022-2024 to overcome this problem. It is hoped that this rubber weir will be a solution for controlling floods and as a water storage system during the dry season. This research aims to model the hydraulic characteristics of the flow in Karet Juwana Dam under flood conditions (Q10, 20, 25, 50, and 100 years). Modeling of flow hydraulic characteristics using HEC-RAS 5.0.3 software. The modeling results show that when the rubber weir expands, maximum backwater occurs for 2.26 km upstream of the weir. The water level above the rubber weir is 1.0 meters with flow speeds upstream and downstream of the weir threshold of 0.40 m/s and 0.66 m/s respectively. Controlling flood levels against overtopping can be optimal if the water level is 0.60 meters above the crest. Hydraulically, the simulation results show that a deflation speed of 0.2 meters/minute can control overtopping optimally.

Keywords: *Hydraulic analysis, flood, hec-ras modeling, juwana river*

Abstrak

Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah merupakan daerah yang sering mengalami banjir diantaranya banjir rob dan banjir bandang pada musim penghujan. Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juwana telah merencanakan pembangunan bendung karet yang telah dibangun pada tahun 2022 -2024 untuk mengatasi permasalahan tersebut. Bendung Karet ini diharapkan mampu menjadi solusi pengendalian banjir maupun sebagai sistem penyimpanan air pada saat musim kemarau. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan karakteristik hidrolis aliran di Bendung Karet Juwana pada kondisi banjir berbagai kala ulang (10, 20, 25, 50, dan 100 tahun). Pemodelan karakteristik hidrolis aliran menggunakan bantuan perangkat lunak HEC-RAS 5.0.3. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pada kondisi bendung karet mengembang maksimal terjadi aliran balik (backwater) sepanjang 2,26 km ke arah hulu bendung. Ketinggian muka air di atas bendung karet sebesar 1,0 meter dengan kecepatan aliran di hulu dan hilir ambang bendung masing-masing sebesar 0,40 m/dt dan 0,66 m/dt. Pengendalian tinggi muka banjir terhadap overtopping dapat optimal jika pada saat ketinggian muka air 0,60 meter diatas mercu. Secara hidraulik, hasil simulasi menunjukkan kecepatan pengempisan 0,2 meter/menit dapat mengontrol terjadinya overtopping secara optimal.

Kata kunci: *analisis hidraulik, banjir, pemodelan hec-ras, sungai juwana*

Pendahuluan

Banjir merupakan fenomena meluapnya air sungai melebihi kapasitas sungai hingga menggenangi daerah sekitar (Asyifa & Saputra, 2022). Banjir menjadi bencana yang sering terjadi dan menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan (Wang *et al.*, 2023). Banjir dapat berdampak pada

perekonomian masyarakat, mengganggu mobilisasi manusia, dan kerusakan infrastruktur (Dewayani, 2019). Banjir merupakan bencana hidrologi yang sering terjadi di Indonesia (Haq *et al.*, 2020).

Banjir di Kabupaten Pati terjadi karena kondisi ketinggian daerah yang rendah dan sungai yang ada tidak mampu menampung debit banjir (Ismail,

2022). Banjir tersebut juga disebabkan oleh peningkatan curah hujan yang tinggi akibat dampak perubahan iklim (Wicher-Dysarz *et al.*, 2020). Sementara itu, pada saat musim kemarau terjadi kekeringan sehingga menyebabkan banyak tanaman yang gagal panen. Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali-Juana berencana membangun bendung karet sebagai bangunan pengendali muka air (Wahyudi *et al.*, 2020), penahan luapan intrusi air laut (Alkhafaji *et al.*, 2023), dan penyimpanan cadangan air baku (*long storage*) pada musim kemarau (Sriyono *et al.*, 2020).

Perangkat lunak yang sering digunakan dalam analisis hidraulika dan pemodelan sungai adalah *Hydrologic Engineering Center River Analysis System*, HEC-RAS (Peker *et al.*, 2024). HEC-RAS mampu memodelkan aliran sungai dengan berbagai jenis bangunan air termasuk bendung gerak (Nathanael & Sejati., 2023). HEC-RAS juga mampu menganalisis pola operasi dari bendung gerak untuk mendapatkan sistem operasi yang paling optimal (Zainal & Abu Talib, 2024).

Penelitian terdahulu terkait bendung gerak telah dilakukan oleh Mahdi dan Hillo (2021) pada Sungai Tigris, Iraq. Penelitian tersebut menggunakan HEC-RAS dengan analisis aliran tak tunak. Hasil yang didapatkan adalah debit yang disyaratkan pada saat musim hujan dan debit pada saat musim kemarau. Penelitian terkait bendung karet telah dilakukan oleh Roehman *et al.* (2019). Penelitian tersebut berbasis percobaan di laboratorium. Karet yang digunakan disesuaikan dengan kondisi sebenarnya, sehingga didapatkan model yang sesuai. Hasil yang didapatkan menunjukkan adanya manfaat dari pembangunan bendung karet dalam menanggulangi banjir rob. Penelitian terkait bendung gerak juga telah dilakukan oleh Nugroho (2021) menggunakan HEC-RAS, dan menghasilkan analisis pola operasional bendung gerak.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan banjir pada bendung karet Sungai Juwana dengan memanfaatkan perangkat lunak HEC-RAS. Karakteristik hidraulik yang ditinjau berupa profil aliran sungai pada saat banjir dan sistem operasi pengempisan mercu bendung. Penelitian ini menganalisis hubungan antara kecepatan pengempisan bendung dengan penurunan tinggi muka air banjir dalam bentuk grafik yang belum dikaji pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Metode

Penelitian dilaksanakan di Sungai Juwana, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pemodelan hidraulik

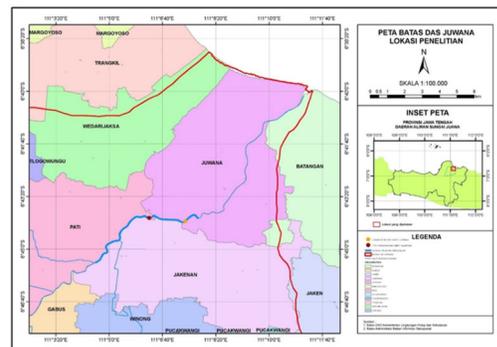
banjir ini menggunakan pendekatan metode *unsteady flow* (analisis aliran tak permanen) dalam perangkat lunak HEC-RAS. Persamaan yang digunakan dalam analisis aliran tak permanen adalah hukum kekekalan massa dan momentum sebagai dalam Persamaan 1 sampai dengan 3.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2)$$

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^3} \quad (3)$$

Dengan, Q adalah debit aliran (m³/det), A adalah luas penampang saluran (m²), x adalah jarak (m), t adalah waktu (detik), q_l adalah debit per satuan panjang (m³/det), z adalah elevasi muka air (m), S_f adalah kemiringan garis energi, n adalah kekasaran manning, R adalah jari-jari hidraulik (m).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (DAS Juwana)

Data yang digunakan adalah data curah hujan dari tahun 2012-2021, data geometrik sungai, data gambar detail bendung karet, dan data historis banjir. Data diperoleh dari beberapa pihak instansi terkait, seperti : konsultan perencana, BMKG dan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juana.

Pengolahan data dimulai dari analisis hidrologi atau banjir rencana. Berdasarkan curah hujan, kemudian dianalisis besarnya debit banjir pada berbagai kala ulang. Debit banjir kala ulang terdiri dari kala ulang Q₁₀, Q₂₀, Q₂₅, Q₅₀, dan Q₁₀₀ tahun. Perhitungan debit banjir kala ulang menggunakan metode Nakayasu yang diverifikasi dengan debit banjir observasi. Data geometri sungai dan dimensi bendung karet merupakan parameter utama dalam memodelkan kinerja hidrolis bendung karet. Pembuatan model hidrolis bendung karet disesuaikan dengan format input modle HEC-RAS. Pendekatan nilai-nilai koefisien disesuaikan dengan kondisi sebenarnya. Hasil simulasi bertujuan untuk menganalisis kondisi hidrolis aliran pada berbagai kala ulang banjir rencana. Luaran pemodelan ini berupa: karakteris hidrolis dan profil aliran pada bendung

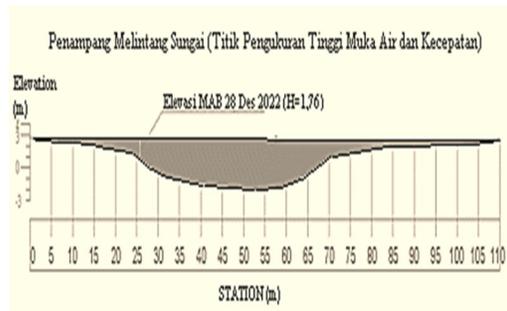
karet Sungai Juwana ketika mengalami banjir, operasi pengempisan yang efisien, waktu dan kecepatan pengempisan yang paling efektif dalam mengendalikan banjir atau *overtopping*.

Penelitian dimulai dari pengumpulan data geometrik sungai, data gambar rencana bendung karet, data pengukuran debit banjir observasi, dan data hujan harian observasi (2012-2022). Data hujan kemudian diolah menjadi debit banjir kala ulang dan diverifikasi dengan debit banjir observasi. Sedangkan data geometrik sungai dan gambar rencana bendung karet di input ke dalam HEC-RAS untuk membuat model sungai. Tahap kalibrasi dan validasi model dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Selanjutnya dilakukan analisis hidraulika dari model sungai yang telah dibuat untuk menentukan pola operasi yang tepat dalam mengendalikan *overtopping*. Penyusunan pola operasi terdiri dari penentuan tinggi pembendungan sebelum bendung karet mengempis dan kecepatan pengempisan efektif yang didasarkan dari dimensi atau diameter pipa.

Hasil dan Pembahasan

Analisis hidrologi

Pemodelan dimulai dengan melakukan analisis hidrologi. Perhitungan debit banjir observasi dilakukan pada tanggal 28 Desember 2022 yang terletak di Jembatan Sampang Kabupaten Pati (lokasi pengukuran debit kalibrasi di Gambar 1). Diketahui berdasarkan pengukuran sungai eksisting, tinggi muka air adalah 1,76 m dengan kecepatan aliran rata-rata adalah 0,76 m/det. Selanjutnya penggambaran penampang sungai dan genangan banjir untuk mendapatkan pendekatan perhitungan debit banjir (Gambar 2).



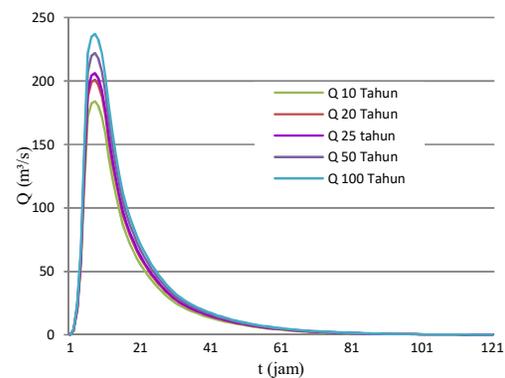
Gambar 2. Penampang melintang sungai pada banjir 28 Desember 2022

Dengan menggunakan persamaan $Q = A \times V$, maka diperoleh debit Q sebesar $153,15 \text{ m}^3/\text{det}$. Analisis hidrologi untuk mencari debit banjir berbagai kala ulang menggunakan metode Nakayasu. Hasil

verifikasi perhitungan debit kala ulang berdasarkan debit observasi, menunjukkan bahwa debit perhitungan telah sesuai dengan debit sebenarnya (observasi). Debit banjir rencana berbagai kala ulang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Debit banjir berbagai kala ulang

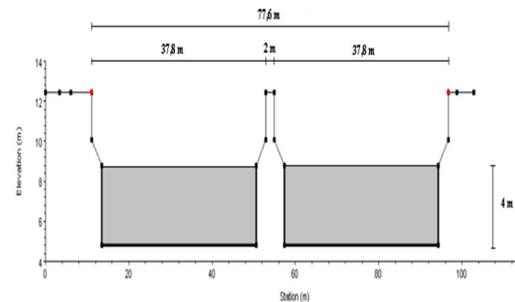
Periode ulang	Debit banjir (m^3/det)
Q_{10}	184,02
Q_{20}	201,03
Q_{25}	206,26
Q_{50}	222,01
Q_{100}	237,20



Gambar 3. Hidrograf Nakayasu berbagai kala ulang

Pemodelan bendung karet

Bendung Karet Sungai Juwana memiliki lebar 77,6 m, tinggi bendung (ketika mengembang) 4 m, terdiri dari dua buah bendung karet (lebar masing-masing 37,8 m) yang dipisahkan oleh pilar setebal 2 m. Sketsa pemodelan bendung karet dapat dilihat pada Gambar 4.

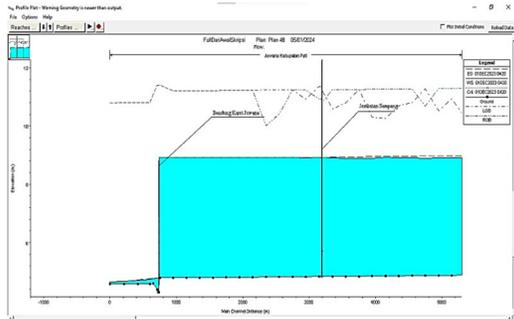


Gambar 4. Sketsa pemodelan bendung karet

Pemodelan aliran

Berdasarkan hasil simulasi kondisi bendung karet pada kapasitas maksimum menggunakan HEC-RAS didapatkan elevasi +4 meter dari dasar sungai,

dengan kecepatan aliran yang secara bertahap menurun akibat pengaruh pembendungan. Simulasi kondisi bendung karet Sungai Juwana dalam kondisi penuh dapat dilihat pada Gambar 5. Tipe profil aliran membentuk Kurva *Mild (MI)* karena aliran terkena pengaruh pembendungan dan tinggi muka air lebih dari tinggi muka air normal dan muka air kritis.



Gambar 5. Simulasi bendung karet dalam kondisi maksimum

Selanjutnya simulasi dilakukan untuk menetapkan batas maksimum elevasi muka air di atas mercu pelimpah tepat sebelum bendung karet mengempis. Pada tahap ini elevasi muka air rencana di atas mercu bendung ditetapkan setinggi 1 meter, kondisi ini didasarkan pada pedoman operasional dan pemeliharaan bendung karet isi udara.

Hasil simulasi didapatkan kecepatan sebelum dan sesudah bendung yang ditunjukkan pada Tabel 2. Kecepatan aliran setelah mercu semakin meningkat seiring semakin besarnya debit banjir kala ulang yang terjadi. Penampang memanjang hasil simulasi dengan elevasi muka air diatas mercu 1 meter dapat dilihat pada Gambar 6.

Operasi pengempisan bendung karet

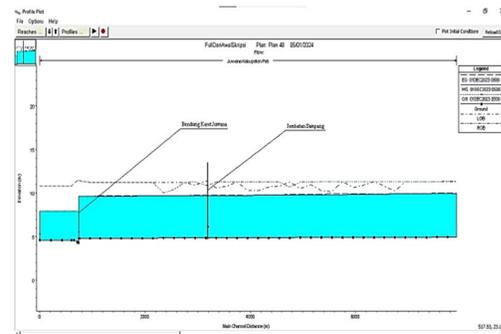
Simulasi pengempisan mercu bendung dilakukan menggunakan 3 skenario operasi pengempisan. Berdasarkan Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan Bendung Karet Isi Udara (2005) tinggi pembendungan adalah $0,25D$ di atas mercu bendung, dengan D adalah diameter bendung karet. Dengan diameter bendung 4 meter didapatkan tinggi pembendungan diatas mercu adalah 1 meter. Dalam praktiknya ketinggian pembendungan diatas mercu bendung tidak boleh melebihi 0,6 meter (Pedoman Operasi dan Pemeliharaan Bendung Karet Isi Udara, 2005). Selain itu, skenario pengempisan juga menggunakan tinggi pembendungan 0,3 meter untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat dengan tinggi pembendungan yang kecil. Tabel 3 menunjukkan beberapa jenis skenario dan tinggi pembendungan yang akan dimodelkan.

Tabel 2 Kecepatan aliran sebelum dan sesudah bendung pada berbagai kala ulang

Periode ulang	Kecepatan aliran (m/det)	
	Sebelum mercu	Setelah mercu
Q ₁₀	0,39	0,98
Q ₂₀	0,39	1,08
Q ₂₅	0,39	1,06
Q ₅₀	0,40	1,11
Q ₁₀₀	0,41	1,18

Tabel 3 Skenario pengempisan berdasarkan tinggi pembendungan

Skenario	Tinggi pembendungan sebelum bendung karet mengempis (m)
1	1,00
2	0,60
3	0,30



Gambar 6. Profil sungai dengan elevasi muka air banjir di atas mercu setinggi 1 m

Berdasarkan hasil simulasi hidraulik dengan mempertimbangkan ketinggian elevasi muka air banjir dan kecepatan aliran didapatkan tinggi pembendungan diatas mercu yang paling efisien dalam mengurangi luapan banjir adalah skenario 3 sampai skenario 2 (0,3 m - 0,6 m). Ketinggian pembendungan dibawah 0,6 m dinilai lebih efektif untuk menghindari terjadinya *overtopping*. Hasil simulasi pada berbagai skenario pengempisan dapat dilihat pada Tabel 4. Dari simulasi menggunakan 3 skenario, terdapat beberapa perbedaan karakteristik hidraulik.

Skenario 3 memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi setelah melewati bendung karet. Kecepatan yang terjadi pada skenario 3 lebih tinggi dari skenario lainnya, sehingga mengakibatkan tingginya bilangan froude. Hal tersebut menyebabkan perlunya peredam energi yang baik agar tidak terjadi gerusan pada bagian downstream dasar sungai (Salmasi & Abraham, 2024). Perbedaan karakteristik hidraulika pada tiap skenario terletak pada kecepatan aliran dan elevasi muka air di hulu dan hilir. Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi perbandingan setiap skenario pengempisan terhadap kecepatan, dan elevasi muka

air banjir dalam waktu yang sama yaitu sesaat setelah bendung karet dikempiskan. Pertimbangan pemilihan waktu pengempisan didasarkan pada kemampuan peredam energi dalam menahan kecepatan aliran yang meningkat dari atas pelimpah, semakin kecil tinggi pembendungan maka semakin tinggi kecepatan setelah melewati mercu bendung karet (Riabenko *et al.*, 2024). Kondisi hidrolis bagian hilir bendung karet menjadi pertimbangan dalam menentukan waktu optimal pengempisan dan penurunan muka air agar peredaman hidrolis dapat dikendalikan dengan baik. Disamping itu, pengendalian muka air di bagian hulu perlu dimonitoring supaya tidak terjadi *overtopping*.

Kecepatan pengempisan

Berdasarkan hasil simulasi hidrolik di Tabel 4 dan Tabel 5, sistem pengempisan bendung karet selanjutnya dilakukan setelah tinggi muka air mencapai 0,5 meter atau di bawah skenario 2.

Penggunaan sistem tersebut karena masih berada dalam batas yang efektif. Setelah operasi pengempisan ditetapkan, selanjutnya menentukan kecepatan pengempisan yang paling efektif untuk menghindari terjadinya *overtopping*. Kecepatan pengempisan efektif didasarkan pada grafik hubungan antara waktu dan tinggi muka air banjir pada berbagai kala ulang banjir.

Penelitian yang dilakukan oleh Hendrawijaya (2020) menunjukkan bahwa waktu pengempisan bendung karet terjadi sekitar 10 menit dengan diameter pipa 15 cm dan tinggi bendung 2 meter. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syaendra, *et al.* (2022) dengan tinggi bendung 3 meter, waktu pengempisan digunakan 25 menit dengan kecepatan pengempisan 0,12 meter/menit. Berdasarkan penelitian sebelumnya, digunakan nilai pendekatan kecepatan pengempisan berdasarkan tinggi bendung dan ukuran pipa. Pendekatan kecepatan pengempisan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 4. Simulasi operasi pengempisan dengan debit kala ulang 10 tahun

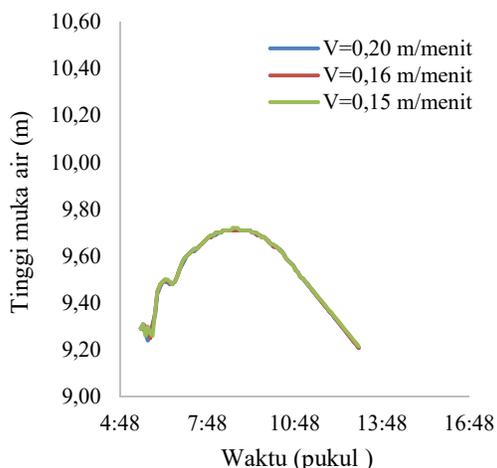
Debit Banjir Q_{10} tahun - sistem pengempisan 0,6 meter (Skenario I)						
Waktu	Sebelum	Mulai mengempis				
	mengempis	+ 1 jam	+ 2 jam	+ 3 jam	+ 4 jam	jam 10
	05:45:00	06:45:00	07:45:00	08:45:00	09:45:00	10:00:00
Kecepatan sebelum mercu (m/det)	0,45	0,44	0,45	0,44	0,43	0,43
Kecepatan sesudah mercu (m/det)	0,50	0,47	0,47	0,47	0,46	0,45
Elevasi diatas mercu (m)	9,81	10,02	10,12	10,11	10,01	9,97
Tanggul kanan dan kiri			11,40 dan 11,40			
Elevasi RS 2400 (m)	9,82	10,03	10,13	10,12	10,02	9,98
Tanggul kanan dan kiri			10,41 dan 11,23			
Elevasi RS 4400 (m)	9,85	10,06	10,15	10,15	10,04	10,00
Tanggul kanan dan kiri			11,27 dan 10,79			
Debit Banjir Q_{10} tahun - sistem pengempisan 0,6 meter (Skenario II)						
Waktu	Sebelum	Mulai mengempis				
	mengempis	+ 1 jam	+ 2 jam	+ 3 jam	+ 4 jam	jam 10
	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00
Kecepatan sebelum mercu (m/det)	0,24	0,43	0,44	0,45	0,44	0,43
Kecepatan sesudah mercu (m/det)	0,74	0,45	0,47	0,47	0,47	0,45
Elevasi diatas mercu (m)	9,43	9,80	10,01	10,10	10,08	9,96
Tanggul kanan dan kiri			11,40 dan 11,40			
Elevasi RS 2400 (m)	9,47	9,80	10,01	10,10	10,09	9,96
Tanggul kanan dan kiri			10,41 dan 11,23			
Elevasi RS 4400 (m)	9,53	9,83	10,04	10,13	10,11	9,99
Tanggul kanan dan kiri			11,27 dan 10,79			
Debit Banjir Q_{10} tahun - sistem pengempisan 0,3 meter (Skenario III)						
Waktu	Sebelum	Mulai mengempis				
	mengempis	+ 1 jam	+ 2 jam	+ 3 jam	+ 4 jam	jam 10
	04:45:00	05:45:00	06:45:00	07:45:00	08:45:00	10:00:00
Kecepatan sebelum mercu (m/det)	0,10	0,42	0,44	0,44	0,44	0,43
Kecepatan sesudah mercu (m/det)	0,82	0,45	0,47	0,47	0,47	0,45
Elevasi diatas mercu (m)	9,16	9,69	9,93	10,06	10,08	9,95
Tanggul kanan dan kiri			11,40 dan 11,40			
Elevasi RS 2400 (m)	9,19	9,69	9,94	10,07	10,09	9,96
Tanggul kanan dan kiri			10,41 dan 11,23			
Elevasi RS 4400 (m)	9,22	9,69	9,97	10,10	10,11	9,98
Tanggul kanan dan kiri			11,27 dan 10,79			

Tabel 5 Karakteristik hidrolis aliran di bendung karet pada berbagai skenario

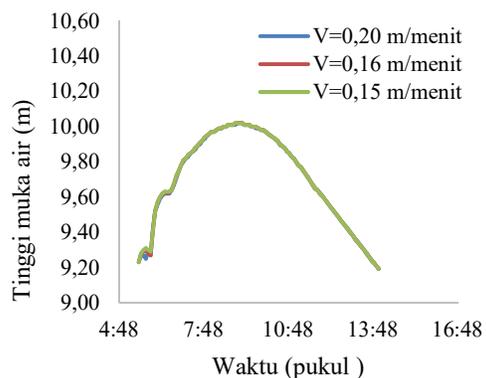
Skenario pengempisan muka air di atas mercu	V (m/det)		Elevasi muka air (m)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
0,30 m	0,47	2,42	8,96	5,38
0,60 m	0,45	1,96	9,25	5,51
1,00 m	0,44	1,35	9,41	5,82

Tabel 6 Pendekatan angka kecepatan pengempisan bendung karet berdasarkan praktek dan penelitian sebelumnya

Acuan penelitian	Tinggi bendung (m)	Waktu pengempisan (menit)	Diameter pipa (cm)	Kecepatan pengempisan (m/menit)
Syaelendra (2022)	3,00	25,00	-	0,12
Hendrawijaya (2020)	2,00	10,00	15,00	0,20
Pendekatan	4,00	20,00	15,00	0,20
Pendekatan	4,00	25,00	10,00	0,16
Pendekatan	4,00	27,00	8,00	0,15

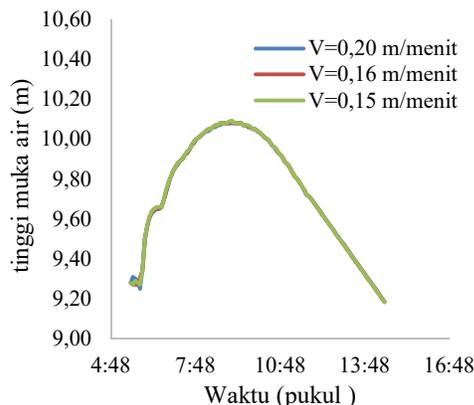


Gambar 7. Hubungan tinggi muka air dengan waktu pengempisan (Q_{10} tahun)

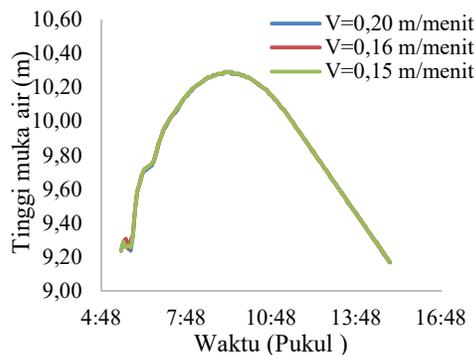


Gambar 8. Hubungan tinggi muka air dengan waktu pengempisan (Q_{20} tahun)

pipa dan kecepatan pengempisan merupakan variabel penting dalam menentukan waktu pengempisan. Disamping itu, waktu pengempisan secara hidrolis akan berpengaruh terhadap penurunan muka air. Hubungan antara waktu pengempisan dengan penurunan tinggi muka air pada berbagai periode ulang banjir selengkapannya ditunjukkan pada Gambar 7 sampai 11.

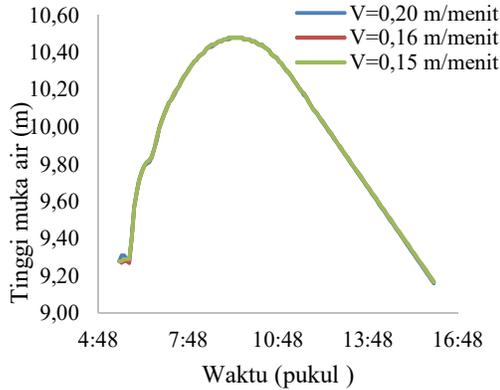


Gambar 9. Hubungan tinggi muka air dengan waktu pengempisan (Q_{25} tahun)



Gambar 10. Hubungan tinggi muka air dengan waktu pengempisan (Q_{50} tahun)

Diameter pipa 15 cm, 10 cm, dan 8 cm memberikan kecepatan pengempisan secara berturut-turut sebesar 0,20 m/menit, 0,16 m/menit, dan 0,15 m/menit. Kondisi ini menunjukkan bahwa diameter



Gambar 11. Hubungan tinggi muka air dengan waktu pengempisan (Q_{100} tahun)

Debit banjir yang besar menyebabkan tinggi muka air tetap meningkat meskipun bendung karet sudah mengempis. Berdasarkan tiga kecepatan pengempisan yang berbeda, terlihat perbedaan tinggi muka air yang identik. Perbedaan terletak pada ketinggian muka air banjir sesaat setelah bendung mulai mengempis, tinggi muka air pada kecepatan 0,20 meter/menit lebih rendah dibanding kecepatan lainnya, sehingga kecepatan 0,20 meter/menit merupakan kecepatan yang paling efektif dalam menurunkan tinggi muka air. Durasi penurunan tinggi muka air pada berbagai kala ulang ditunjukkan di Tabel 7.

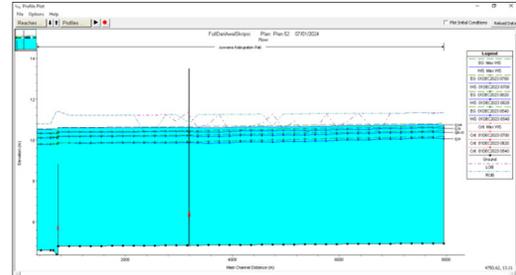
Tabel 7. Durasi penurunan tinggi muka air banjir dengan berbagai kala ulang

Kala Ulang	Durasi Penurunan
Q 10	7.5 jam
Q 20	8.5 jam
Q 25	9 jam
Q 50	9.5 jam
Q 100	10.5 jam

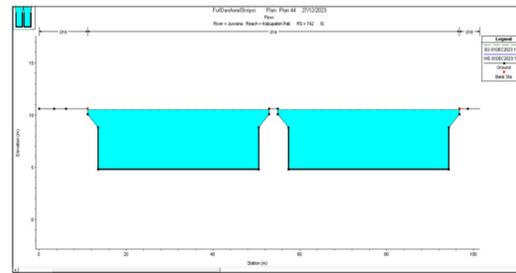
Hasil simulasi pada Gambar 12 menunjukkan kondisi sepanjang aliran sungai yang tidak mengalami *overtopping* dengan ketiga macam kecepatan pengempisan. Hasil simulasi juga menunjukkan tidak terjadinya *overtopping* pada bagian bendung karet. Gambar 13 merupakan gambar hasil simulasi penampang melintang di bagian bendung karet pada saat debit banjir maksimum kala ulang 100 tahun.

Penelitian sebelumnya oleh Syaelendra *et al.* (2022) merencanakan bendung karet dengan berfokus pada ukuran dimensi bendung karet. Penelitian tidak mempertimbangkan pola dan sistem pengempisan yang lebih detail. Sementara itu, penelitian oleh Hendrawijaya (2020) juga merencanakan bendung karet yang berfokus pada perencanaan lebar bendung karet dan panjang bentang. Penelitian ini tidak merencanakan hubungan antara kecepatan

pengempisan dengan tinggi muka air banjir. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan kajian mendalam dalam menentukan hubungan kecepatan pengempisan dengan penurunan tinggi muka air banjir yang paling optimal.



Gambar 12. Penampang memanjang sungai pada kondisi banjir



Gambar 13. Penampang melintang sungai (as bendung karet) pada Q_{100} tahun

Kesimpulan

Debit banjir pada Sungai Juwana yang besar perlu menjadi perhatian dalam pengendalian banjir agar tidak terjadi *overtopping* yang dapat merugikan masyarakat. Bendung karet perlu diperhatikan pola operasinya pada saat aliran tinggi. Secara hidraulik, kecepatan pengempisan 0,2 meter/menit dapat bekerja secara optimal dalam mengontrol tinggi muka air banjir. *Overtopping* dalam hal ini kemungkinan bisa saja terjadi karena keterlambatan pengempisan, kerusakan instalasi pengempisan, maupun tumpukan sedimen di sungai.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak yang telah membantu proses penelitian ini khususnya konsultan supervisi proyek pembangunan bendung karet Sungai Juwana dan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juana.

Daftar Pustaka

Alkhafaji, H., Muttashar, W. R., & Al-Mosawi, W. M. (2023). Proposing an inflatable rubber dam on the Tidal Shatt Al-Arab River, Southern Iraq.

- Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 32(1).
- Asyifa, A., & Saputra, A. A. (2022). *analisis debit dan tinggi muka air banjir banjarsari daerah aliran sungai juwana dengan metode HSS SCS*. 8(1).
- Haq, T., Halik, G., & Hidayah, E. (2020). Flood routing model using integration of Delft3D and GIS (case study: Tanggul watershed, Jember). *AIP Conference Proceedings*, 2278.
- Hendrawijaya, R. (2020). Perencanaan Bendung Karet Sungai Blorong Kabupaten Kendal Jawa Tengah. *Teknika*, 187.
- Ismail, A. (2022). *Strategi Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Dalam Penanggulangan Pasca Bencana Banjir di Kabupaten Pati* [Institut Pemerintahan Dalam Negeri].
- Dewayani, E. K. U. (2019). Pengembangan Potensi Ekonomi Masyarakat Terdampak Bencana Untuk Meningkatkan Ketangguhan. *BERDIKARI: Jurnal Inovasi Dan Penerapan Ipteks*, 7(1), 62-79.
- Mahdi, T. W., & Hillo, A. N. (2021). Flood Control by Weir Design Using HEC-RAS Model: The Case of Al-Musandaq Escape. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 877(1).
- Nathanael, E., & Sejati, W. (2023). Effective Government Management of Flood Discharge in Drainage Channels using HEC-RAS 6.3.1 Application. *APTISI Transactions on Management (ATM)*, 7(3), 210–220.
- Peker, İ. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping. *Sustainability (Switzerland)*, 16(3).
- Pedoman Operasi dan Pemeliharaan Bendung Karet Isi Udara, Departemen Pekerjaan Umum 4 (2005).
- Nugroho, E. P. (2021). *Analisa Pola Operasional Pada Bendung Gerak Kanal Banjir Barat Di Kota Semarang* (Master's thesis, Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia)).
- Riabenko, O., Nowak, P., Bilkova, E., & Halych, O. (2024). Modelling of Undular Jump Characteristics. *Environmental and Climate Technologies*, 28(1), 221–229.
- Roehman, F., Imam Wahyudi, S., & Faiqun Niam, M. (2019). Analysis of Physical Model Rubber Weir Contain Water as Motion Weir for Flood and Rob Handling. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(04), 219–227.
- Salmasi, F., & Abraham, J. (2024). New Perspectives on the Design of Stilling Basins. In *Theory and Applications of Engineering Research Vol. 6*.
- Sriyono, E., Purnomo, I., Bhakty, T. E., & Azhari. (2020). Control of Upstream Bekasi River Floods by Building a Dry Dam Series in Cikeas River and Cileungsi River, West Java. *Advances in Engineering Research*, 198(Issat), 415–421.
- Syaelendra, M. S., Suprijanto, H., & Sisinggih, D. (2022). Studi Perencanaan Tanggul (Turap Beton dan Urugan Tanah) Sebagai Upaya Pengendalian Banjir pada Sungai Bremlu Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(1), 1–437.
- Wahyudi, S. I., Nurcahyani, I., & Adi, H. P. (2020). Hydraulics simulation of rubber dam for operational and emergency respond guidelines in West Flood Canal, Semarang, Indonesia. *22nd Congress of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research-Asia Pacific Division, IAHR-APD 2020: "Creating Resilience to Water-Related Challenges"*, 1–7.
- Wang, W., Tian, W., Chau, K., Zang, H., Ma, M., Feng, Z., & Xu, D. (2023). Multi-Reservoir Flood Control Operation Using Improved Bald Eagle Search Algorithm with ϵ Constraint Method. *Water (Switzerland)*, 15(4).
- Wicher-Dysarz, J., Szalkiewicz, E., Jaskula, J., Dysarz, T., & Rybacki, M. (2020). Possibilities of controlling the river outlets by weirs on the example of notéc Bystra River. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6).
- Zainal, N. N., & Abu Talib, S. H. (2024). Review paper on applications of the HEC-RAS model for flooding, agriculture, and water quality simulation. *Water Practice & Technology*, 19(7), 2883–2900.