

## Analisis Dampak Risiko Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Menggunakan *Software* HEC-RAS (Studi Kasus Bendungan Jlantah, Kabupaten Karanganyar dan Bendungan Gajah Mungkur, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah)

Supriatin<sup>1,\*</sup>, S. Kamilia Aziz<sup>1</sup>, Ismail Sa'ud<sup>1</sup>, Rizki Robbi R. A.<sup>1</sup>, Bagas Y. P.<sup>1</sup>, Made I. S<sup>1</sup>, Dwi Indriyani<sup>1</sup>, Hendra Wahyudi<sup>1</sup>

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [itssupriatin037@gmail.com](mailto:itssupriatin037@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	5 Agustus 2024	<i>Jlantah Dam and Gajah Mungkur Dam are located in Karanganyar Regency and Wonogiri Regency. Based on the analysis of flood tracing calculations in the reservoir, the Gajah Mungkur Dam is overtopping with a planned flood discharge QPMF of 15551,09 m<sup>3</sup> / second. The simulation used HEC-RAS 6.3.1 software. The collapse scenario is simulated when the reservoir is in flood stage conditions with a piping analysis of +632 m elevation at Jlantah Dam, at Gajah Mungkur Dam using the overtopping and piping scenario at +132 m elevation. The flood inundation area due to dam collapse with QPMF discharge is 1070,17 km<sup>2</sup>. Based on the determination of the dam hazard class by PUPR, the downstream area of the dam is in class 4 with a very high level of hazard. While the hazard classification according to BNPB, the areas with the highest level of hazard risk in Sukoharjo Regency and Surakarta City. The number of people at risk of flooding is 391.202 . The evacuation site must have a minimum area of 1.173.606 m<sup>2</sup>.</i>
Diperbaiki	22 November 2024	
Disetujui	28 November 2024	

*Keywords: dam break, overtopping, piping, flood*

**Abstrak**  
Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur terletak di Kabupaten Karanganyar dan Kabupaten Wonogiri. Berdasarkan analisa perhitungan penelusuran banjir di waduk, Bendungan Gajah Mungkur mengalami *overtopping* dengan debit banjir rencana QPMF sebesar 15551,09 m<sup>3</sup>/detik. Simulasi menggunakan *software* HEC-RAS 6.3.1. Skenario keruntuhan disimulasikan ketika waduk dalam kondisi muka air banjir dengan analisa *piping* elevasi +632 m pada Bendungan Jlantah, pada Bendungan Gajah Mungkur menggunakan skenario *overtopping* dan *piping* di elevasi +132 m. Luas genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dengan debit QPMF adalah 1070,17 km<sup>2</sup>. Berdasarkan penentuan kelas bahaya bendungan oleh PUPR, daerah hilir bendungan berada pada kelas 4 dengan tingkat bahaya sangat tinggi. Sedangkan klasifikasi bahaya menurut BNPB, daerah dengan tingkat risiko bahaya tertinggi pada Kabupaten Sukoharjo dan Kota Surakarta. Jumlah penduduk berisiko banjir adalah 391.202 jiwa. Lokasi pengungsian harus memiliki luas minimum 1.173.606 m<sup>2</sup>.

Kata kunci: keruntuhan bendungan, *overtopping*, *piping*, banjir

### 1. Pendahuluan

Bendungan adalah suatu struktur infrastruktur di bidang sumber daya air yang memiliki peran penting dan memberikan berbagai manfaat bagi masyarakat di sekitarnya. Namun bendungan juga menyimpan potensi bahaya besar yang dapat mengancam kehidupan dengan kerugian korban jiwa dan harta benda, apabila bendungan tersebut mengalami keruntuhan. Sebagai contoh, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Sunan Mukti Sriwibowowati, diketahui bahwa keruntuhan Bendungan Bajulmati dapat dimodelkan di *software* HEC-RAS. Kedalaman maksimum diperoleh 21,31 meter dan kecepatan aliran maksimum 76,68 m/s [1].

Hasil analisis dampak banjir akibat keruntuhan Bendungan Jlantah Kabupaten Karanganyar dan Bendungan Gajah Mungkur, Kabupaten Wonogiri diperlukan untuk

pemetaan dan untuk meminimalisir dampak korban jiwa serta harta benda. Karena kedua bendungan ini terletak di daerah pemukiman.

Keruntuhan bendungan sepanjang 1985, 34 persen terjadi disebabkan karena *overtopping*, 30 persen karena cacat pondasi, 28 persen terjadi karena *piping* atau *seepage*, dan 8 persen terjadi karena model kegagalan yang lain [1]. Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010 tentang Bendungan, menyatakan bahwa setiap bendungan harus dilengkapi dengan Dokumen Rencana Tindak Darurat (RTD) dalam rangka melakukan antisipasi penyelamatan jiwa dan harta benda, jika terjadi keruntuhan bendungan [2].

### 2. Metode

Kegagalan bendungan adalah keruntuhan sebagian atau seluruh bendungan atau bangunan pelengkapannya dan/atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan [3]. Keruntuhan bendungan akibat *overtopping* adalah fenomena dimana bendungan runtuh akibat air melimpas melalui tubuh bendungan. Perhitungan penelusuran banjir dengan debit banjir rancangan *Probable Maximum Flood* (PMF) dilakukan untuk mengetahui apakah bendungan mengalami *overtopping*. Untuk mengetahui debit banjir PMF diperoleh dari curah hujan *Probable Maximum Precipitation* (PMP). Nilai PMP diperoleh dari data hujan selama 21 tahun metode perhitungan Hersfield menurut SNI 7746-2012 [4], dan peta isohyet PMP Jawa Tengah.

Fenomena *piping* terbentuk akibat terjadinya erosi internal pada struktur tubuh atau fondasi bendungan yang berasal dari tekanan gaya aliran air bawah tanah disebut juga aliran rembesan [5]. Keruntuhan bendungan akibat *piping* dapat disimulasikan dengan menentukan elevasi sumbu dari *pipingnya*. Ini disimulasikan sebagai rekahan lubang (*orifice*) berbentuk persegi panjang [6]. *Piping* dapat dianalisis menggunakan *software* GeoStudio. Untuk keamanan bendungan urugan terhadap *piping* dapat dihitung dengan Persamaan (1) dan (2).

$$FK = \frac{I_c}{I_e} \geq 4 \quad (1)$$

$$I_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (2)$$

dengan:

- FK = faktor keamanan
- $I_c$  = gradien keluaran kritis
- $I_e$  = gradien keluaran dari hasil analisis rembesan
- $\gamma'$  = berat isi efektif ( $t/m^3$ )
- $\gamma_w$  = berat isi air ( $t/m^3$ )
- $G_s$  = berat spesifik
- $e$  = angka pori

Data *terrain* pada RAS-Mapper 2D di HEC-RAS menggunakan DEMNAS yang telah dilakukan pendekatan kalibrasi dengan pengukuran topografi bendungan di lapangan. Metode keruntuhan bendungan berdasarkan rumus Froehlich 2008 [9]. Bendungan Jlantah disimulasikan runtuh dengan skenario *piping*, sedangkan Bendungan Gajah Mungkur disimulasikan runtuh akibat *overtopping* ketika masing-masing menerima debit banjir rencana PMF dan terjadi dalam satu waktu.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi pemodelan keruntuhan bendungan menggunakan *software* HEC-RAS akan menunjukkan hasil berupa luas genangan berdasarkan analisis hidrologi dan analisis *piping*.

#### A. Analisis Hidrologi

Pada perhitungan analisis hidrologi terdiri dari perhitungan debit banjir rancangan, dan penelusuran banjir di Waduk Jlantah dan Waduk Gajah Mungkur.

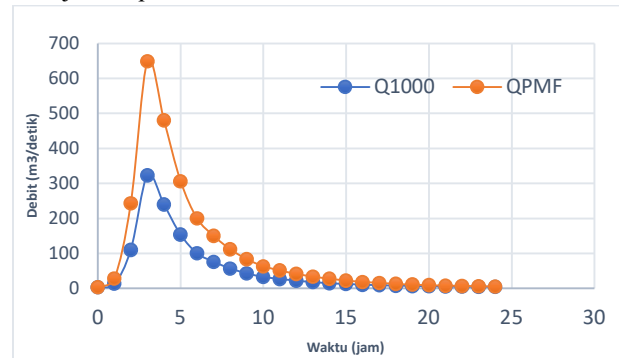
##### - Perhitungan Debit Banjir Rancangan

Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur dirancang dengan debit  $Q_{1000}$  dan  $Q_{PMF}$ . Pada DTA Jlantah curah hujan PMP dengan peta isohyet menghasilkan hujan sebesar 567,80 mm. Sedangkan nilai PMP dari hasil perhitungan metode Hersfield memperoleh hasil sebesar 651,50 mm. maka dipakai nilai PMP tertinggi karena curah hujan yang lebih tinggi memiliki potensi untuk menyebabkan debit banjir yang lebih besar pada kondisi ekstrim. Rekap curah hujan PMP pada DTA Gajah Mungkur ditunjukkan pada **Tabel 1**:

**Tabel 1.** Rekap Curah Hujan PMP DTA Gajah Mungkur

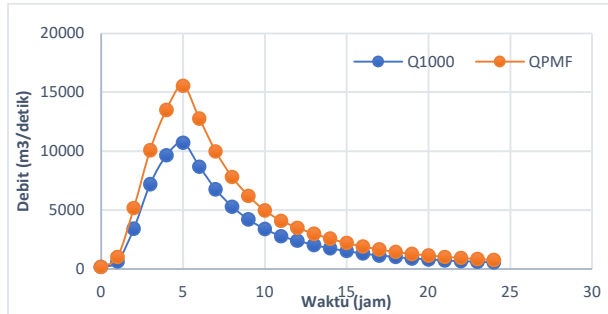
No.	Nama DAS	CH PMP Hersfield	CH PMP Peta Isohyet
1	DAS Keduang	326,93 mm	412,88 mm
2	DAS Tirtomoyo	456,84 mm	419,18 mm
3	DAS Upper Solo	548,22 mm	514,33 mm
4	DAS Temon	477,67 mm	513,73 mm
5	DAS Alang	373,49 mm	523,98 mm
6	DAS Ngunggahan	638,86 mm	537,54 mm
7	DAS Wuryantoro	606,50 mm	601,33 mm
8	DAS Remnant	491,92 mm	592,28 mm

Perhitungan debit banjir rancangan menggunakan Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) Nakayasu. Pada Bendungan Jlantah dengan luas *catchment area* 22,54 km<sup>2</sup>, panjang sungai utama 21,2 km, dan debit aliran dasar sungai sebesar 3,34 m<sup>3</sup>/detik. Didapatkan debit rancangan 1000 tahun adalah 323,64 m<sup>3</sup>/detik dan PMF sebesar 648,97 m<sup>3</sup>/detik yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Grafik Debit Banjir Rancangan 1000 Tahun dan PMF Bendungan Jlantah

Pada Bendungan Gajah Mungkur dengan debit aliran dasar sungai kumulatif adalah 164,17 m<sup>3</sup>/detik dan diperoleh kumulatif debit banjir rancangan dari delapan DAS pada Q<sub>1000</sub> adalah sebesar 10706,89 m<sup>3</sup>/detik serta Q<sub>PMF</sub> 15551,09 m<sup>3</sup>/detik sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Grafik Debit Banjir Rancangan 1000 Tahun dan PMF Bendungan Gajah Mungkur

#### - Penelusuran Banjir di Waduk

Bendungan Jlantah memiliki tipe pelimpah OGEE dengan panjang 25 meter dan tinggi 3 meter dengan elevasi puncak pelimpah +685 m. Pelimpah didesain dengan debit banjir Q<sub>1000</sub> tahun. Dari hasil perhitungan penelusuran banjir kondisi muka air ketika datang debit Q<sub>1000</sub> di elevasi +687,48 m dan ketika debit Q<sub>PMF</sub> datang elevasi muka air di +689,20 m. artinya Bendungan Jlantah tidak mengalami *overtopping* karena elevasi puncak Bendungan Jlantah berada di elevasi +690 m.

Sedangkan pada Bendungan Gajah Mungkur memiliki pelimpah tipe OGEE, mempunyai panjang 30 meter dan tinggi pelimpah 29 meter elevasi puncak +131 m. Berdasarkan perhitungan penelusuran banjir, muka air waduk ketika debit Q<sub>1000</sub> adalah pada elevasi +138,23 m, dan ketika debit Q<sub>PMF</sub> elevasi muka air pada +151,96 m. Hal ini berarti Bendungan Gajah Mungkur mengalami *overtopping* pada saat debit rancangan PMF datang, karena tinggi muka air melebihi elevasi puncak Bendungan yaitu +142 m. Selanjutnya skenario keruntuhan Bendungan Gajah Mungkur disimulasikan terjadi *overtopping* pada saat Q<sub>PMF</sub>.

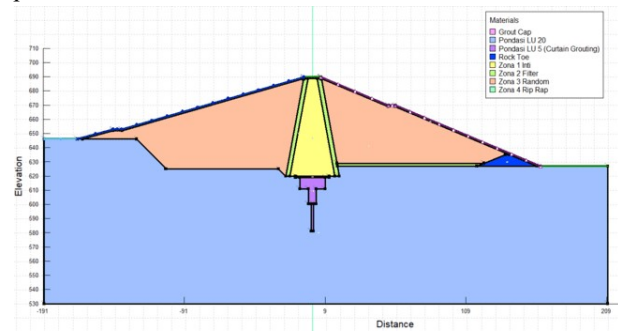
#### B. Analisis Keamanan Bendungan terhadap Piping

Pemeriksaan piping pada struktur bendungan dilaksanakan untuk menentukan ketinggian pada area bendungan yang terkena fenomena piping.

##### - Pemodelan Tubuh Bendungan Jlantah

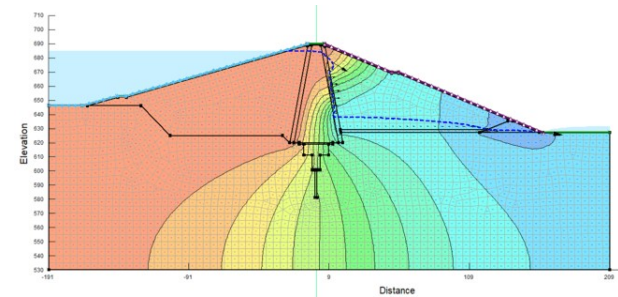
Potongan melintang pada struktur tubuh Bendungan Jlantah dipilih dan analisis rembesan dilakukan dengan menggunakan dua kondisi: muka air normal dengan ketinggian +685 dan muka air banjir Q<sub>PMF</sub> dengan ketinggian +688,75.

Pembagian zona tubuh Bendungan Jlantah ditampilkan pada **Gambar 3**.

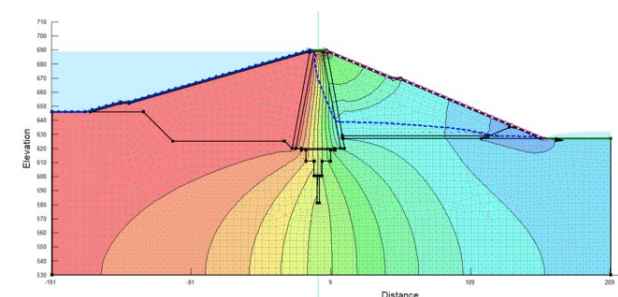


**Gambar 3.** Pembagian Zona Tubuh Bendungan Jlantah

Hasil dari analisis *piping* dengan GeoStudio akan menunjukkan garis rembesan yang terdapat nilai gradien hidraulik, digunakan untuk mencari angka keamanan tubuh bendungan terhadap *piping*. Dari pemodelan analisis *piping* menggunakan GeoStudio diperoleh elevasi akhir dari garis freatik Bendungan Jlantah adalah +632 m, ditunjukkan pada **Gambar 4** untuk kondisi MAN + 685 m dan **Gambar 5** untuk kondisi MAB + 688,75 m.



**Gambar 4.** Analisis Piping Kondisi MAN + 685 m



**Gambar 5.** Analisis Piping Kondisi MAB + 688,75 m

##### - Perhitungan Safety Factor Tubuh Bendungan

Pada titik akhir garis freatik di kaki *downstream* tubuh bendungan mempunyai nilai gradien yang digunakan untuk menganalisa nilai *safety factor* bendungan. Angka *specific gravity* (Gs) pada Zona 1 Bendungan Jlantah adalah 2,665 dan angka pori (e) adalah 1,326.

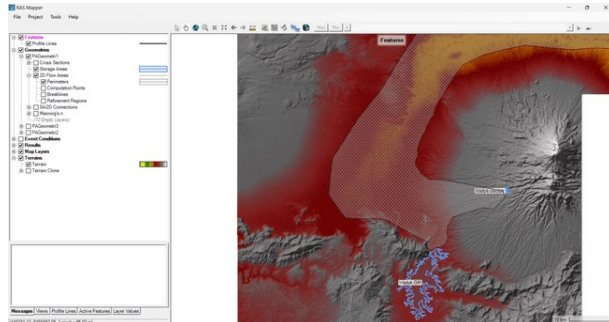
Berdasarkan hasil analisis tubuh Bendungan Jlantah terhadap risiko piping, diperoleh bahwa Bendungan Jlantah

tidak aman terhadap bahaya piping. Sehingga simulasi keruntuhan Bendungan Jlantah dilakukan pada bagian bawah bendungan di elevasi +632 m.

C. Pemodelan Keruntuhan Bendungan di RAS Mapper

Pemodelan keruntuhan dimulai dengan menggambar geometri pada RAS MAPPER, menggambar area genangan atau Waduk Jlantah dan Waduk Gajah Mungkur dengan menggunakan menu 2D Flow Area sebagai area yang akan digunakan sebagai batas aliran 2D.

Untuk menggambar batas tampungan waduk atau storage area dilakukan dengan mengidentifikasi kontur topografi elevasi puncak bendungan. Data topografi tampungan waduk ini kemudian didefinisikan dengan kurva hubungan elevasi dengan luas genangan dan volume waduk. Pemodelan geometri area hilir Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan Geometri

Mesh atau grid komputasi dibuat di batas area genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah mungkur menggunakan Computation Point Spacing = Spacing DX dan DY dengan ukuran 150 x 150. Identifikasi pada area genangan pada refinement region pada batas area pemukiman di bantaran sungai dengan cell size sebesar 30 x 30. Pada sepanjang aliran Sungai Bengawan Solo dan Sungai Jlantah breakline dengan ukuran 5 x 5. Untuk pemilihan angka computation point spacing, cell sice, dan breakline dimana semakin kecil angka yang dimasukkan maka semakin detail dan rapat hasil keluaran rambatan banjir.

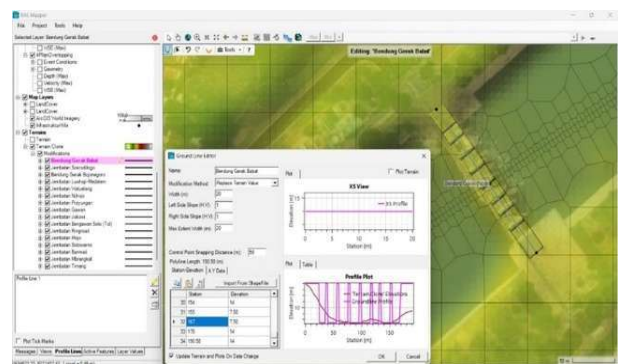
Pada terrain HE-RAS dilakukan pendekatan kekasaran berdasarkan jenis tutupan lahan dengan nilai tersaji pada Tabel 2 [7].

Tabel 2. Nilai Koefisien Manning pada Tutupan Lahan

Nilai n	Keterangan
0.10	Hutan Lahan Kering Campur
0.10	Hutan Lahan Kering Sekunder
0,025	Tanah Terbuka
0,025	Semak Belukar
0,02	Perkebunan
0,16	Pemukiman

Nilai n	Keterangan
0,025	Pertanian Lahan Kering
0,025	Pertanian Lahan Kering Campur
0,025	Sawah
0,025	Tambak
0,16	Bandara / Pelabuhan
0,16	Pertambangan

Bangunan infrastruktur melintang di sungai seperti bendungan dan jembatan juga digambarkan pada model, dengan pendekatan bendung gerak dalam kondisi pintu terbuka. Contoh pemodelan bangunan infrastruktur di hilir ditampilkan pada Gambar 7.

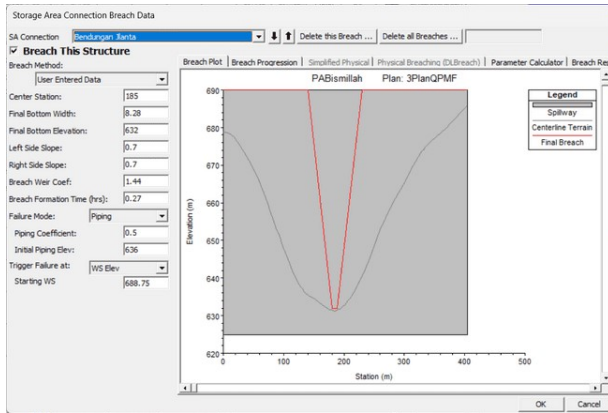


Gambar 7. Pemodelan Bangunan Infrastruktur Hilir

Untuk membuat skenario keruntuhan bendungan, maka perlu dilakukan analisis rekahan yang terbentuk akibat overtopping dan piping. Dalam hal ini menggunakan metode Froehlich (2008). Parameter pada Tabel 3 kemudian dimasukkan pada jendela HEC-RAS pada Gambar 8.

Tabel 3. Parameter Keruntuhan Bendungan

Parameter	Satuan	Skenario 1		Skenario 2	
		Piping Kondisi MAB		Piping MAB	Overtopping MAB
		Bend. Jlantah	Bend. Gajah Mungkur	Bend. Jlantah	Bend. Gajah Mungkur
Tampungan waduk (Vw)	x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10970	374059,98	10970	374059,98
Konstanta K0		1	1	1	1
Tinggi rekahan	m	70	40	70	40
Koefisien gravitasi	m/s <sup>2</sup>	9,81	9,81	9,81	9,81
Center Station		652	290	652	290
Final Bottom width	m	57,28	145,30	57,28	185,95
Final Bottom Elevation	m	632	102	632	102
Left Side Slope		0,7	0,7	0,7	0,7
Right Slide Slope		0,7	0,7	0,7	0,7
Breach Weir Coef		2,6	0,5	2,6	0,5
Breach Formation Time	jam	0,27	2,72	0,27	2,72
Failure Mode		Piping	Piping	Piping	Overtopping
Piping Coefficient		0,5	0,5	0,5	-
Initial Piping Elevation	m	632	112/122/132	632	
Trigger Failure at		WS Elev	WS Elev	WS Elev	WS Elev
Starting WS	m	688,75	139,1	688,75	139,1

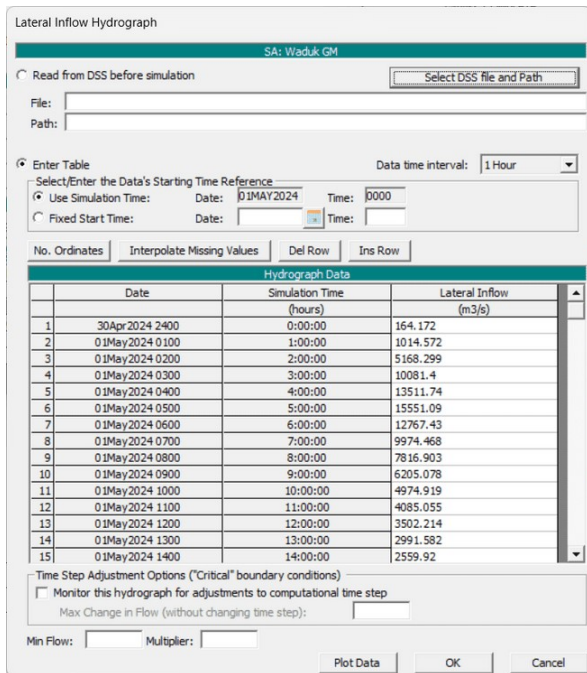


Gambar 8. Input Parameter Keruntuhan Bendungan

D. Simulasi Keruntuhan Bendungan di HEC-RAS

Simulasi dijalankan dengan menggunakan skenario *piping* pada Bendungan Jlantah elevasi + 632 m dan *overtopping* pada Bendungan Jlantah ketika debit PMF.

Pada *Unsteady Flow Data* diisi dengan memasukkan data hidrologi debit banjir rancangan PMF berdasarkan hasil analisis hidrologi seperti yang ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Jendela *Unsteady Flow Data, Lateral Inflow Hydrograph*

*Initial Condition* untuk menambahkan kondisi muka air eksisting pada saat terjadi keruntuhan bendungan di tampungan waduk. Pada skenario keruntuhan bendungan ini dimasukkan kondisi awal menggunakan elevasi muka air

banjir (MAB) pada Bendungan Jlantah +688,75 m dan +139,10 m pada Bendungan Gajah Mungkur. Pada simulasi keruntuhan bendungan juga mempertimbangkan 1 anak Sungai Bengawan Solo yang mengalir pada Sungai Utama, dengan menambah kondisi batas *Flow Hydrograph* dan diisi dengan nilai *base flow* yaitu 170,63 m<sup>3</sup>/detik. Pada hilir atau muara Sungai Bengawan Solo diberi *Boundary Condition* dengan menambahkan *Stage Hydrograph* dan mengisikan nilai *Mean Sea Level* (MSL) atau muka air laut normal setinggi 1,33 meter.

E. Analisis Dampak Keruntuhan Bendungan

Hasil simulasi keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur ditampilkan pada jendela RAS Mapper. Pada RAS Mapper dapat dilihat kedalaman, dan kecepatan genangan banjir sesuai interval waktu simulasi keruntuhan bendungan. Dari hasil simulasi keruntuhan banjir, ditunjukkan luas genangan banjir yang disebabkan keruntuhan Bendungan Gajah Mungkur dan Bendungan Jlantah pada Tabel 4.

Tabel 4. Luas Genangan Banjir Berdasarkan Kedalaman Banjir

No	Skenario	Luas km2	Luas Kedalaman Banjir (km2)		
			<0,76 m	0,76 - 1,5 m	>1,5 m
1	Jlantah Piping Bawah Q1000	969,93	208,21	183,83	577,9
	Gajah Mungkur Piping Q1000				
	Jlantah Piping Bawah PMF				
2	Gajah Mungkur Overtopping PMF	1070,2	222,55	199,06	648,6

Hasil simulasi analisis banjir akibat keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur dapat dilihat pada Gambar 10 dengan debit rancangan Q1000 dan Gambar 11 dengan QPMF. Sebaran genangan banjir dengan debit rancangan QPMF lebih luas daripada banjir dengan debit rancangan Q1000 terlebih daerah dibagian hilir dekat dengan muara sungai. Kedalaman banjir dengan QPMF juga lebih tinggi daripada Q1000 dilihat dari indeks tampilan pada HEC-RAS, dimana semakin pekat warna biru maka semakin tinggi pula kedalaman genangan banjir di daerah tersebut.

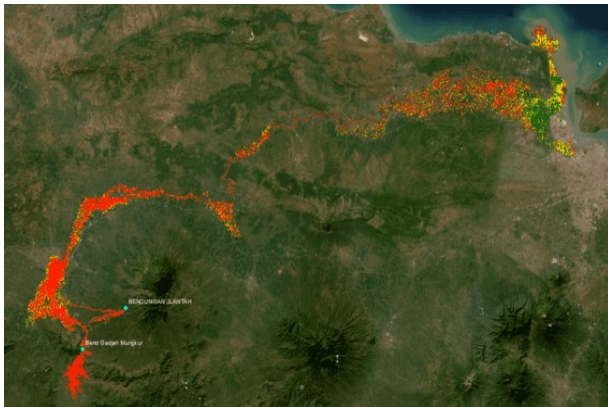


**Gambar 10.** Genangan Banjir Debit Rancangan Q1000



**Gambar 11.** Genangan Banjir Debit Rancangan QPMF

Analisis ancaman banjir berdasarkan kedalaman banjir menurut BNPB No. 02 Tahun 2012 dengan debit banjir rancangan PMF seperti pada **Gambar 12** [8]. Warna hijau menunjukkan ancaman bahaya rendah, warna kuning ancaman bahaya sedang, sedangkan warna merah ancaman bahaya tinggi.



**Gambar 12.** Ancaman Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

- Analisis Kerentanan

Dalam analisis kerentanan akibat keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur ini menggunakan indikator pendekatan kerentanan sosial dan kerentanan fisik.

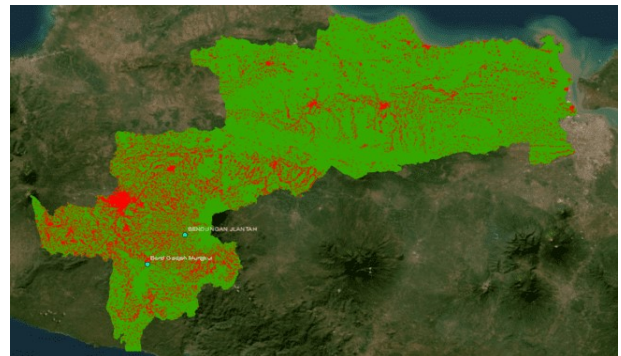
Komponen indikator penyusun kerentanan sosial sesuai dengan peraturan BNPB Nomor 02 Tahun 2012 antara lain kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur, rasio kemiskinan, dan rasio penyandang disabilitas seperti ditunjukkan pada **Gambar 13** dimana seluruh daerah dihilir bendungan termasuk dalam klasifikasi kerentanan sosial yang tinggi.



**Gambar 13.** Kerentanan Sosial Daerah Hilir Bendungan

Analisis Kerentanan fisik disusun oleh adanya kepadatan pemukiman atau fasilitas umum lain. Dalam penelitian ini pendekatan untuk area pemukiman digolongkan pada kelas bahaya tinggi dengan anggapan bahwa di dalam rumah atau fasilitas umum tersebut terdapat manusia dengan segala aktivitasnya karena datangnya banjir akibat keruntuhan bendungan tidak dapat diperkirakan dan dapat terjadi kapan pun [8].

Hasil analisis kerentanan fisik daerah hilir bendungan ditampilkan pada **Gambar 14**, dimana warna hijau menunjukkan klasifikasi kerentanan fisik rendah, sedangkan warna merah termasuk dalam klasifikasi tinggi.



**Gambar 14.** Kerentanan Fisik Daerah Hilir Bendungan

Penentuan kelas risiko bencana banjir menurut BNPB No. 02 Tahun 2012, berdasarkan perkalian indeks ancaman dikali dengan indeks kerentanan. Indeks kerentanan terdiri dari kerentanan sosial dan kerentanan fisik yang masing-masing memiliki bobot 50%. Dengan melakukan analisis spasial menggunakan program bantu ArcGIS, maka diperoleh hasil perkalian spasial raster ancaman dan raster kerentanan yaitu berupa risiko tingkat daerah yang terdampak banjir akibat keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur.

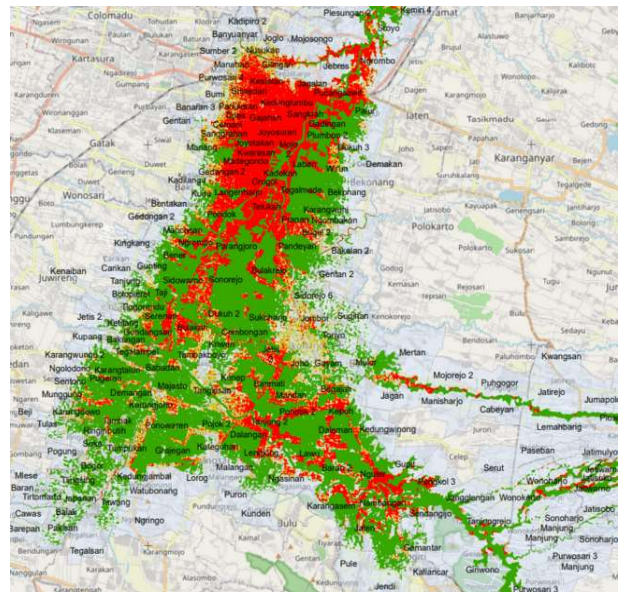
Hasil analisis tingkat risiko banjir akibat keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur ditunjukkan pada **Gambar 15**.



**Gambar 15.** Indeks Risiko Bencana Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

Pada **Gambar 15**, warna hijau menunjukkan klasifikasi tingkat risiko bahaya rendah, warna kuning menunjukkan klasifikasi sedang dan warna merah merupakan klasifikasi risiko bahaya tinggi. Meninjau dari sebaran tingkat risiko bahaya genangan banjir yang disebabkan keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur, terdapat tingkat risiko paling tinggi ada pada mayoritas desa yang terdapat pada Kabupaten Sukoharjo dan Kota Surakarta. Risiko tinggi lainnya terdapat di daerah bantaran Sungai Utama Bengawan Solo yang notabene adalah daerah pemukiman padat. Indeks risiko juga dipengaruhi oleh kondisi kontur atau kemiringan lereng yang menyebabkan aliran banjir menggenangi di daerah tersebut. Selain itu parameter jarak juga menjadi salah satu faktor yang menentukan karena semakin dekat jarak suatu daerah dengan bendungan akan mempengaruhi variabel waktu tiba banjir sehingga akan semakin berisiko pula daerah tersebut.

Apabila diperbesar maka tampilan daerah yang paling berisiko terhadap bahaya banjir akibat keruntuhan Bendungan Jlantah dan Bendungan Gajah Mungkur dapat dilihat pada **Gambar 16**.



**Gambar 16.** Daerah yang Paling Berisiko Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

#### 4. Simpulan

Simulasi Keruntuhan Bendungan dilakukan dengan skenario *piping* elevasi +632 pada Bendungan Jlantah dan *overtopping* pada Bendungan Gajah Mungkur dengan debit PMF dengan metode Foehtlich 2008. Dampak banjir yang dihasilkan dari simulasi keruntuhan bendungan adalah sebanyak 13 kabupaten/kota, 105 kecamatan, dan 976 desa/kelurahan yang tersebar di sekitar Sungai Utama Bengawan Solo.

Klasifikasi bahaya akibat keruntuhan bendungan dalam Peraturan BNPB Tahun 2012 bahwa daerah dengan tingkat risiko tinggi paling luas tersebar pada desa/kelurahan di Kabupaten Sukoharjo dan Kota Surakarta.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. M. Sriwibowowati dan D. Sisinggih, "Analisa Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Bajulmati Dengan Program Hec-Ras," *J. ...*, 2018, [Online]. Available: <http://pengairan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmtp/article/view/245>
- [2] 2004 Undang-Undang RI No 29, "Presiden Republik Indonesia Peraturan Presiden Republik Indonesia," *Demogr. Res.*, no. 2, pp. 4–7, 2004.
- [3] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, "Peraturan Menteri PUPR Nomor 27 Tahun 2015," vol. 36, no. June, p. 5860, 2015.
- [4] SNI 7746:2012, "Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan Metode Hersfield," 2012.

- [5] R. A. M. Putra, "Analisis Rembesan terhadap Bahaya Piping pada Bendungan Way Sekampung," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 20, no. 4, p. 439, 2022, doi: 10.12962/j2579-891x.v20i4.11845.
- [6] A. Murdhianti, T. Juwono, and R. Asmaranto, "Mitigasi Bencana Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Berdasarkan Dambreak Analysis Pada Bendungan Benel di Kabupaten Jembrana," *J. Tek. Pengair.*, vol. 7, no. 2, pp. 193–204, 2016.
- [7] G. Brunner, "Using HEC-RAS for Dam Break Studies," *U.S. Army Corps Eng. Inst. Water Resour. Hydrol. Eng. Cent.*, no. August, p. 74, 2014, [Online]. Available: [https://www.scopus.com/inward/record.](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.084876361807&partnerID=40&md5=dfcbf4adad65f78943b9945d7689f84d)
- [8] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, "Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana," *Bnpb*, pp. 1–67, 2012, [Online]. Available: <https://www.bnpb.go.id/uploads/24/peraturan-kepala/2012/perka-2-tahun-2012-tentang-pedoman-umum-pengkajian-resiko-bencana.pdf>
- [9] D. C. Froehlich, "Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 134, no. 12, pp. 1708– 1721, Dec. 2008, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:12(1708)