Analisa Keruntuhan Bendungan Gembong di Kabupaten Pati Dengan Menggunakan Program Zhong Xing HY21

Khofifah Endar Milleanisa^{1*}, Runi Asmaranto¹, Pitojo Tri Juwono¹

¹Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia

*Korespondensi Email: khofifahmilleanisa@gmail.com

Abstract: A dam is a structure built across a river to hold back water. Reservoirs created by dams not only suppress floods but also provide water for activities such as for water, irrigation, power generation, and flood control. But behind the benefits that can be obtained from dams, dams also have a large potential hazard in the form of the possibility of a dam break. The main causes of dam break are overtopping and pipping. So that analysis is needed related to dam break to minimize the impact. Based on the Zhong Xing HY21 software, the most severe impact of the break of the Gembong Dam was due to overtopping using the QInflow PMF design flood of 780,967 m³/s and resulted in an inundation area of 54,682 km² with a maximum inundation height of 5,129 m. As a result of the break of the Gembong Dam, 37 villages downstream of the Gembong Dam were flooded. There are 80,819 people affected by this risk and it is stated that all affected villages are at the 4th hazard classification level or very high hazard.

Keywords: gembong dam, overtopping, piping, Zhong Xing HY21

Abstrak: Bendungan adalah suatu struktur dibangun di sungai untuk menahan air. Waduk yang diciptakan oleh bendungan tidak hanya menekan banjir tapi juga menyediakan air untuk kegiatan seperti irigasi, pembangkit tenaga listrik, dan pengendali banjir. Namun di samping manfaatnya yang besar, pembangunan bendungan juga berpotensi membahayakan keselamatan masyarakat, yakni berupa keruntuhan bendungan. Penyebab utama dari keruntuhan bendungan adalah *overtopping* dan *pipping*. Sehingga diperlukan analisis terkait keruntuhan bendungan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan. Berdasarkan *software Zhong Xing HY21*, dampak keruntuhan Bendungan Gembong yang paling parah disebabkan karena *overtopping* dengan menggunakan *QInflow* banjir desain PMF sebesar 780,967 m³/det dan menghasilkan luas genangan

54,682 km² dengan tinggi genangan maksimum 5,129 m. Akibat keruntuhan Bendungan Gembong, 37 desa di hilir Bendungan Gembong terkena banjir. Terdapat 80.819 jiwa penduduk terkena risiko tersebut dan dinyatakan bahwa seluruh desa terdampak berada pada tingkat klasifikasi bahaya ke-4 atau bahaya sangat tinggi.

Kata kunci: bendungan gembong, *overtopping*, *piping*, *Zhong Xing HY21*

1. Pendahuluan

Setiap makhluk hidup membutuhkan air demi kelangsungan hidupnya. Akan tetapi krisis air bersih sedang melanda beberapa negara di dunia, termasuk Indonesia. Pembangunan gedung-gedung bertingkat dan pemukiman masyarakat yang tidak memperhatikan lingkungan, penebangan hutan secara liar dan tidak ada upaya untuk melakukan pengendalian kelestarian alam, serta pembuangan limbah pabrik dan sampah keluarga secara langsung ke sungai tanpa diolah terlebih dahulu merupakan aktivitas manusia yang membuat krisis air semakin parah [1].

Bendungan adalah salah satu bentuk upaya untuk melakukan konservasi atau perlindungan terhadap sumber daya air. Namun dibalik manfaat yang dapat diperoleh dari bendungan, bendungan juga memiliki potensi bahaya (*hazard*) yang besar berupa kemungkinan teradinya keruntuhan bendungan. Peraturan Menteri PUPR No. 27 Tahun 2015 mendefinisikan bahwa "Kegagalan bendungan adalah keruntuhan sebagian atau seluruh bendungan atau bangunan pelengkapannya dan/atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan" [2]. Bencana tersebut tidak hanya terjadi pada lokasi sekitar bangunan, tetapi mencakup area yang terdapat di bagian hilir bendungan dan dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar.

Oleh sebab itu, diperlukan adanya penelitian terkait analisis keruntuhan bendungan sebagai salah satu bentuk dari Rencana Tindak Darurat agar dapat diketahui resiko bahaya bendungan serta bencana pada wilayah-wilayah yang terkena dampak bencana. Sehingga apabila bencana ini terjadi dapat meminimalisir kerugiannya [3].

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

Data yang dibutuhkan guna menunjang studi ini adalah sebagai berikut:

a. Data Hujan

Data hujan yang digunakan selama 16 tahun mulai dari tahun 2004 – 2019. Data hujan ini selanjutnya akan digunakan untuk analisis hidrologi guna menghitung debit banjir rancangan pada Bendungan Gembong.

b. Data Teknis Bendungan

Data teknis Bendungan Gembong untuk mengetahui karakteristik bendungan berupa tinggi bendungan, kapasitas bendungan, dan dimensi bendungan.

c. Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk merupakan gambaran tampungan di Waduk Gembong yang digunakan dalam penelusuran banjir.

d. Peta Isohyet PMP Jawa Tengah

Peta Isohyet PMP digunakan sebagai kontrol dari hujan PMP yang didapatkan dari perhitungan. Kedua hujan PMP akan dibandingkan dan diambil nilai yang lebih besar.

e. Peta DEM

Digunakan untuk melakukan simulasi pada *software Zhong Xing HY21*.

f. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI)

Peta ini berguna untuk melakukan *overlay* saat *output* banjir dari *Zhong Xing HY21* sudah ada, sehingga dapat mengetahui desa mana saja yang terdampak oleh banjir dari hasil keruntuhan bendungan.

g. Data jumlah penduduk

Data ini berguna sebagai data acuan jumlah penduduk yang terdampak pada sebuah wilayah yang terdampak oleh banjir. Data yang digunakan adalah jumlah penduduk pada tahun 2020.

2.2 Metode

Dalam penelitian ini, menggunakan 2 stasiun hujan yaitu Stasiun Gembong dan Gunung Rowo. Sebelum data curah hujan digunakan dalam analisis hidrologi, terlebih dahulu dilakukan pengujian konsistensi data curah hujan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Sebelum mencari curah hujan rata-rata daerah, data ini harus diuji *outlier*. Kemudian dicari curah hujan rata-rata daerah dengan menggunakan metode *Aritmatic*. Selanjutnya melakukan perhitungan analisa frekuensi dengan metode Normal, Log normal, Log Pearson III dan Gumbel. Kemudian diuji kesesuaian distribusi dengan menggunakan 2 metode yaitu uji *Smirnov-Kolmogorov* dan uji *Chi-Square* untuk menentukan curah hujan rancangan yang akan dipakai [4].

Selanjutnya adalah menghitung debit banjir yang direncanakan menggunakan HSS Nakayasu dan HSS Gama I, setelah dilakukan perhitungan debit banjir, langkah selanjutnya adalah menghitung *flood routing* agar dapat mengetahui bendungan tersebut mengalami *overtopping* atau tidak [5]. Setelah dilakukan analisa perhitungan hidrologi, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan *software Zhong Xing HY21*. Hasil yang diperoleh berupa peta genangan banjir, waktu tiba, waktu puncak, kedalaman, kecepatan dan elevasi banjir serta dapat menghasilkan *cross section*. Dari sebaran genangan banjir dapat diketahui desa mana yang terdampak.

2.3 Persamaan

- Debit Banjir Rancangan

Hidrograf satuan digunakan dalam analisis menentukan banjir rancangan jika data yang tersedia merupakan data hujan. Metode ini relatif sederhana, mudah penerapannya, data

yang diperlukan sederhana, dan hasil rancangan yang di berikan cukup teliti [6]. Berikut persamaan puncak debit banjir pada satuan Unit Hidrograf (UH) dalam Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu [7]:

$$Q_p = \frac{A.R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad \text{Pers. 1}$$

$$T_p = t_g + 0,8t_r \quad \text{Pers. 2}$$

$$T_{0,3} = \alpha.t_g \quad \text{Pers. 3}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L, \text{ untuk } L > 15 \text{ Km} \quad \text{Pers. 4}$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7}, \text{ untuk } L < 15 \text{ Km} \quad \text{Pers. 5}$$

Dengan:

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)

R_0 = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak (jam)

A = Luas daerah tangkapan sampai outlet (km^2)

t_g = *Time lag* yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam).

t_r = Lama hujan efektif yang bernilai 0,5 t_g sampai dengan 1 t_g (jam)

α = Konstanta karakteristik DAS atau parameter hidrograf

- Keruntuhan Bendungan

Gambar 1 : Overtopping dan erosi pada puncak tubuh bendungan

Gambar 2 : Ilustrasi rekahan pada bendungan akibat overtopping

Gambar 3 : Ilustrasi *piping* dan pelemahan struktur bendungan akibat erosi

Sebelum bendungan mengalami keruntuhan total, didahului oleh terjadinya rekahan (*breaching*). Persamaan regresi Froeichlich (1987) untuk lebar rata-rata rekahan dan waktu keruntuhan adalah sebagai berikut:

$$B_BAR = 9,5 \cdot K_0 \cdot ((V_r \cdot h_d)^{0,25}) \quad \text{Pers. 6}$$

$$TIME_BF = 0,8 \cdot ((V_r / h_d^2)^{0,5}) \quad \text{Pers. 7}$$

Dengan:

Bave = lebar rata-rata rekahan (m)

K_0 = konstanta (1,3 untuk keruntuhan *overtopping* , 1,0 untuk *piping*)

V_r = volume tampungan saat keruntuhan (m^3)

H_d = tinggi akhir rekahan (m)

T_f = waktu keruntuhan (det)

Froeichlich menyatakan bahwa lereng sisi rata-rata seharusnya 1.0H: 1V untuk keruntuhan *overtopping* dan 0,7H : 1V untuk keruntuhan lainnya (seperti *piping*) [8].

- *Software Zhong Xing HY21*

Software Zhong Xing HY21 adalah sebuah perangkat lunak Windows yang dapat menggabungkan susunan sebuah jaringan, mesin perhitungan, grafis komputer dan visualisasi aliran melalui antar muka pengguna grafis. *Software Zhong Xing HY21* adalah sebuah program yang tercipta pada tahun 2011 oleh “*Sinotech Engineering Consultant, Taiwan*” [9]. Aplikasi ini merupakan salah satu yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah-masalah seperti aliran *Unsteady Flow*. Aplikasi ini dapat untuk mensimulasikan banjir ke arah hilir (*downstream*) yang diakibatkan oleh keruntuhan bendungan.

Keruntuhan bendungan yang akan disimulasikan bersifat khusus, karena mempunyai besar energi potential akibat beda tinggi elevasi di bagian hulu dan bagian hilir bendungan. Oleh karena itu menimbulkan kecepatan aliran yang tinggi dan debit yang besar keluar dari

waduk ke hilir bendungan dengan tiba-tiba, maka waktu tiba banjir ke arah hilir relatif lebih cepat dari waktu yang ditentukan.

- **Klasifikasi Tingkat Bahaya Bendungan**

Penetapan kelas atau tingkat kelas berdasarkan pada jumlah PenRis (penduduk terkena risiko, yaitu penduduk atau orang-orang yang berada di daerah yang terdampak genangan banjir). PenRis merupakan seluruh penduduk di daerah hilir bendungan yang terancam atau terdampak bahaya jika terjadi keruntuhan bendungan. PenRis dapat diidentifikasi dari peta genangan hasil studi dari keruntuhan bendungan. Tingkat bahaya bendungan didapatkan dari hubungan antara jumlah PenRis dalam jiwa atau KK (1 KK = 5 orang) dan jarak lokasi PenRis dari bendungan [10].

Tabel 1 : Kriteria penetapan tingkat bahaya banjir akibat keruntuhan bendungan

Jumlah Penduduk Terkena Resiko (Penris)	Jarak dari Bendungan (km)				
	0 - 5	0 - 10	0 - 20	0 - 30	0 - > 30
0	1	1	1	1	1
1 – 100	3	3	2	2	2
101 – 1000	4	4	4	3	3
>1000	4	4	4	4	4

Keterangan:

klasifikasi bahaya 1 = bahaya rendah
 klasifikasi bahaya 2 = bahaya sedang
 klasifikasi bahaya 3 = bahaya tinggi
 klasifikasi bahaya 4 = bahaya sangat tinggi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hidrologi

Berdasarkan nilai Peta PMP Isohyet Jawa Lembar 2, PMP yang terjadi di lokasi Bendungan Gembong sebesar 750 mm/hari. Dalam perhitungan selanjutnya digunakan nilai PMP tertinggi, yaitu dari PMP hitung sebesar 944,75 mm/hari.

Tabel 2 : Rekapitulasi nilai hidrograf satuan sintesis

Metode HSS	Debit Banjir Rancangan (m^3/det) dengan Kala Ulang Tertentu	
	1000 th	PMF
Nakayasu	550,308	780,967
Gama I	361,484	531,816

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan (Tabel : 2) dengan menggunakan dua metode yaitu metode hidrograf satuan sintesis Nakayasu dan metode hidrograf satuan sintesis Gama I didapatkan bahwa yang akan digunakan untuk analisis keruntuhan Bendungan Gembong ini adalah dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintesis Nakayasu karena debit banjir rancangan PMF yang dihasilkan lebih besar dari hasil debit banjir rancangan PMF metode Gama I dengan mempertimbangkan bahaya yang dihasilkan dari keruntuhan bendungan bendungan Gembong.

3.2 Penelusuran Banjir Melewati Pelimpah

Penelusuran banjir melalui pelimpah bertujuan untuk mengetahui tinggi muka air yang melimpas melalui mercu pelimpah saat suatu debit banjir melewati pelimpah. Dalam analisis keruntuhan Bendungan Gembong, hasil dari penelusuran banjir (*flood routing*) tersebut selanjutnya akan dijadikan dasar untuk penentuan kondisi suatu bendungan, apakah suatu bendungan mengalami *overtopping* atau tidak.

Gambar 4 : Grafik hubungan inflow dan outflow Q_{PMF} pada pelimpah

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh elevasi tertinggi saat $Q_{outflow}$ maksimal adalah sebesar +209,83 sedangkan elevasi puncak bendungan adalah +210. Kondisi *overtopping* adalah kondisi suatu bendungan dimana air melimpah di atas tubuh bendungan. Hal ini menunjukkan bahwa Bendungan Gembong tidak mengalami *overtopping* akibat debit PMF.

3.3 Output Simulasi *Software Zhong Xing HY21*

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan melalui proses *running* dengan menggunakan program *Zhong Xing HY21* didapatkan skenario *Overtopping* kondisi muka air banjir memiliki dampak terluas yaitu 54,682 km² dan mengeluarkan debit *outflow* yang tertinggi pada saat 11.564,861 m³/dt dibanding dengan skenario dan kondisi lain. Kondisi lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 : Perbandingan hasil output setiap skenario dari program *Zhong Xing HY21*

Skenario Keruntuhan	Jumlah Desa Terdampak	Luas (km ²)	Total Debit Outflow Puncak Saat Keruntuhan Terjadi (m ³ /det)
<i>Piping Atas MAB</i>	37	53,164	7.897,762
<i>Piping Tengah MAB</i>	37	53,562	9.942,340
<i>Piping Bawah MAB</i>	37	54,039	10.375,790
<i>Overtopping</i>	37	54,682	11.564,861

Proses simulasi yang dilakukan sesuai dengan parameter dan skenario yang telah ditentukan dengan memasukkan semua data yang diperlukan. Adapun hasil dari proses

running dengan menggunakan *Software Zhong Xing HY21* didapatkan terdapat 37 desa yang terdampak banjir akibat keruntuhan Bendungan Gembong. Adapun data desa dan letak kordinat sebagai berikut:

Tabel 4 : Daftar desa terdampak akibat keruntuhan Bendungan Gembong

No	DESA	KECAMATAN	KAB	PROVINSI	X	Y
1	Wonosekar	Gembong	Kab. Pati	Jawa Tengah	496016,326	9260008,508
2	Pohgading	Gembong	Kab. Pati	Jawa Tengah	495600,400	9259935,483
3	Semirejo	Gembong	Kab. Pati	Jawa Tengah	497241,878	9259567,182
4	Tamansari	Tlogowungu	Kab. Pati	Jawa Tengah	501006,166	9257933,324
5	Mulyoharjo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	504058,141	9257800,439
6	Tambaharjo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	505326,556	9257488,019
7	Sidokerto	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	503652,269	9256783,167
8	Muktiharjo	Margorejo	Kab. Pati	Jawa Tengah	501151,105	9256443,442
9	Purworejo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	510521,425	9256352,845
10	Kutoharjo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	504779,744	9255877,864
11	Widorokandang	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	508759,085	9255352,930
12	Winong	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	502805,601	9255327,956
13	Sarirejo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	506363,014	9254878,795
14	Pati Lor	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	504491,877	9254760,262
15	Parenggan	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	505101,478	9254650,195
16	Geritan	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	507285,882	9254616,328
17	Tondomulyo	Jakenan	Kab. Pati	Jawa Tengah	510603,976	9254612,942
18	Puri	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	502427,687	9254344,586
19	Ngarus	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	503780,675	9254311,528
20	Sugiharjo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	508657,485	9254286,128
21	Karangrowo	Jakenan	Kab. Pati	Jawa Tengah	508895,822	9253781,090
22	Sidoharjo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	505897,346	9253778,127
23	Patiwetan	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	504864,411	9253524,126
24	Patikidul	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	503797,609	9253498,726
25	Ngastorejo	Jakenan	Kab. Pati	Jawa Tengah	508618,242	9253484,526
26	Dengkek	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	506639,155	9253447,484
27	Plangitan	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	502654,606	9253354,792
28	Semampir	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	505558,679	9253075,392
29	Blaru	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	503983,876	9252719,791
30	Kedungmulyo	Jakenan	Kab. Pati	Jawa Tengah	507644,573	9252537,315
31	Mustokoharjo	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	505887,736	9252293,898
32	Gajahmati	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	505324,173	9251990,156
33	Panjunan	Pati	Kab. Pati	Jawa Tengah	504407,210	9251940,856
34	Banjarsari	Gabus	Kab. Pati	Jawa Tengah	505519,965	9250450,278
35	Langenharjo	Margorejo	Kab. Pati	Jawa Tengah	504408,713	9250423,820
36	Babalan	Gabus	Kab. Pati	Jawa Tengah	504551,588	9249582,443
37	Tanjang	Gabus	Kab. Pati	Jawa Tengah	504218,212	9249428,984

Tabel 5 : Karakteristik banjir akibat keruntuhan Bendungan Gembong skenario *overtopping*

No	DESA	Jarak Dari Bendungan (km)	Kedalaman Banjir (m)	Kec. Banjir (m/dt)	Waktu Tiba Banjir (Jam Ke-)	Waktu Banjir Surut (Jam Ke-)	Durasi Banjir
1	Wonosekar	0,57	5,129	11,640	1	96	95
2	Pohgading	0,15	3,289	13,120	1	17	16
3	Semirejo	1,82	3,672	11,252	1	5	4
4	Tamansari	5,9	1,011	6,263	1	12	11
5	Mulyoharjo	8,86	0,821	0,457	3	4	1
6	Tambaharjo	10,17	0,677	0,149	2	3	1
7	Sidokerto	8,78	0,743	0,458	3	4	1
8	Muktiharjo	6,67	1,003	1,798	2	26	24
9	Purworejo	15,49	0,382	0,171	7	26	19
10	Kutoharjo	10,16	0,996	1,280	2	96	94
11	Widorokandang	14,07	1,186	0,680	3	96	93
12	Winong	8,67	1,105	0,145	3	4	1
13	Sarirejo	12,02	1,670	1,339	3	96	93
14	Pati Lor	10,41	0,056	0,183	3	3	0
15	Parenggan	10,99	0,735	0,039	3	96	93
16	Geritan	12,97	1,370	0,976	3	18	15
17	Tondomulyo	16,05	1,757	0,198	4	96	92
18	Puri	8,93	0,731	0,192	2	96	94
19	Ngarus	10,04	0,989	0,647	2	96	94
20	Sugiharjo	14,36	1,321	0,161	3	96	93
21	Karangrowo	14,78	1,541	0,255	3	96	93
22	Sidoharjo	12,11	1,209	1,385	2	96	94
23	Patiwetan	11,38	0,794	1,672	2	96	94
24	Patikidul	10,53	1,018	0,711	2	13	11
25	Ngastorejo	14,65	1,191	0,182	3	96	93
26	Dengkek	12,92	2,348	1,183	2	96	94
27	Plangitan	9,74	0,544	0,038	2	3	1
28	Semampir	12,2	0,364	0,217	2	3	1
29	Blaru	11,16	2,969	0,829	2	96	94
30	Kedungmulyo	14,25	2,370	0,136	3	96	93
31	Mustokoharjo	12,92	1,582	0,764	2	96	94
32	Gajahmati	12,66	1,582	0,764	3	23	20
33	Panjunan	11,99	0,627	1,324	2	22	20
34	Banjarsari	13,82	0,425	0,290	4	41	37
35	Langenharjo	13,05	0,074	0,047	4	8	4
36	Babalan	13,77	1,037	0,511	6	96	90
37	Tanjang	13,67	2,387	0,147	6	96	90

3.4 Klasifikasi Tingkat Bahaya Bendungan

Berikut hasil ketentuan penentuan tingkat klasifikasi bahaya banjir terhadap daerah terdampak akibat keruntuhan Bendungan Gembong, yang mana mengacu kepada hasil genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Gembong dengan skenario *Overtopping* kondisi muka air banjir yang memiliki dampak terburuk dengan menggunakan program *Zhong Xing HY21* dan penentuan tingkat klasifikasi bahaya.

Tabel 6 : Klasifikasi bahaya banjir berdasarkan penduduk terkena resiko

No	DESA	Jarak Dari As Dam (Km)	Jumlah Penduduk Terkena Resiko (Jiwa)	Tingkat Bahaya	Keterangan
1	Wonosekar	0,57	234	4	Bahaya Sangat Tinggi
2	Pohgading	0,15	71	4	Bahaya Sangat Tinggi
3	Semirejo	1,82	1881	4	Bahaya Sangat Tinggi
4	Tamansari	5,9	2905	4	Bahaya Sangat Tinggi
5	Mulyoharjo	8,86	1844	4	Bahaya Sangat Tinggi
6	Tambaharjo	10,17	320	4	Bahaya Sangat Tinggi
7	Sidokerto	8,78	4915	4	Bahaya Sangat Tinggi
8	Muktiharjo	6,67	5378	4	Bahaya Sangat Tinggi
9	Purworejo	15,49	830	4	Bahaya Sangat Tinggi
10	Kutoharjo	10,16	7031	4	Bahaya Sangat Tinggi
11	Widorokandang	14,07	1461	4	Bahaya Sangat Tinggi
12	Winong	8,67	5111	4	Bahaya Sangat Tinggi
13	Sarirejo	12,02	2669	4	Bahaya Sangat Tinggi
14	Pati Lor	10,41	6754	4	Bahaya Sangat Tinggi
15	Parenggan	10,99	1332	4	Bahaya Sangat Tinggi
16	Geritan	12,97	1379	4	Bahaya Sangat Tinggi
17	Tondomulyo	16,05	483	4	Bahaya Sangat Tinggi
18	Puri	8,93	5702	4	Bahaya Sangat Tinggi
19	Ngarus	10,04	2903	4	Bahaya Sangat Tinggi
20	Sugiharjo	14,36	1866	4	Bahaya Sangat Tinggi
21	Karangrowo	14,78	499	4	Bahaya Sangat Tinggi
22	Sidoharjo	12,11	2514	4	Bahaya Sangat Tinggi
23	Patiwetan	11,38	878	4	Bahaya Sangat Tinggi
24	Patikidul	10,53	4673	4	Bahaya Sangat Tinggi
25	Ngastorejo	14,65	111	4	Bahaya Sangat Tinggi
26	Dengkek	12,92	1857	4	Bahaya Sangat Tinggi
27	Plangitan	9,74	3057	4	Bahaya Sangat Tinggi
28	Semampir	12,2	1227	4	Bahaya Sangat Tinggi
29	Blaru	11,16	2672	4	Bahaya Sangat Tinggi
30	Kedungmulyo	14,25	19	4	Bahaya Sangat Tinggi
31	Mustokoharjo	12,92	1665	4	Bahaya Sangat Tinggi
32	Gajahmati	12,66	328	4	Bahaya Sangat Tinggi
33	Panjunan	11,99	3294	4	Bahaya Sangat Tinggi
34	Banjarsari	13,82	1169	4	Bahaya Sangat Tinggi
35	Langenharjo	13,05	1603	4	Bahaya Sangat Tinggi
36	Babalan	13,77	81	4	Bahaya Sangat Tinggi
37	Tanjang	13,67	103	4	Bahaya Sangat Tinggi

Gambar 5 : Genangan banjir keruntuhan bendungan gembong akibat *overtopping*

4. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya *Probability Maximum Precipitation* (PMP) untuk Daerah Tangkapan Air Waduk Gembong seluas 12,02 km² adalah 944,75 mm. Sedangkan untuk besarnya *Probable Maximum Flood* (PMF) adalah sebesar 780,967 m³/det dengan waktu puncak pada jam ke-3.
2. Karakteristik banjir yang terjadi dari hasil skenario keruntuhan Bendungan Gembong dengan menggunakan Program *Zhong Xing* terdapat 37 desa yang terdampak, didapatkan waktu tiba banjir tercepat adalah 1 jam dan yang terlama adalah 7 jam. Untuk waktu surut banjir yang tercepat adalah 3 jam sedangkan untuk waktu puncak banjir terlama adalah 96 jam. Kedalaman banjir maksimum terjadi di Desa Wonosekar setinggi 5,129 m dan kecepatan bajir maksimum yang terjadi 13,120 m/det.
3. Pada semua skenario keruntuhan bendungan (*piping* atas muka air banjir, *piping* tengah muka air banjir, *piping* bawah muka air banjir, dan *overtopping*) didapatkan peta genangan banjir dengan luas minimal sebesar 53,164 km² yang terjadi akibat skenario keruntuhan *Piping Atas* dan luas genangan maksimal sebesar 54,682 km² yang terjadi akibat skenario *Overtopping*. Terdapat 37 desa yang terdampak berdasarkan pemetaan genangan banjir pada wilayah terdampak akibat skenario keruntuhan Bendungan Gembong yang didapatkan dari *software Zhong Xing HY21* dan telah di-*overlay*-kan terhadap peta administrasi wilayah Kabupaten Pati.

4. Klasifikasi tingkat bahaya banjir hasil simulasi skenario keruntuhan Bendungan Gembong akibat *overtopping* pada wilayah terdampak menyatakan seluruh desa berada pada tingkat bahaya ke – 4, yang berarti 37 desa yang terdampak dengan jumlah 80.819 jiwa penduduk terkena resiko bahaya yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah penduduk tiap desa mayoritas lebih dari 1000 jiwa, sehingga mempengaruhi tingkat bahaya terhadap jumlah penduduk yang terkena resiko.

Daftar Pustaka

- [1] A. M. Hudha, Husamah, and A. Rahardjanto, *Etika ingkungan (Teori dan Praktik Pembelajarannya)*. 2019.
- [2] “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No.27/PRT/M/2015 tentang Bendungan,” p. 6, 2015.
- [3] L. C. Rachmadan, P. T. Juwono, and R. Asmaranto, “ANALISA KERUNTUHAN BENDUNGAN ALAM WAY ELA DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM ZHONG XING HY21 Lutfianto,” vol. 7, no. 2002, pp. 1–6, 2015.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *Tata cara perhitungan debit banjir rencana*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [5] S. C.D, *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional, 1987.
- [6] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2010.
- [7] L. M. Limantara, *Rekayasa Hidrologi*, Revisi. Yogyakarta: ANDI, 2018.
- [8] G. W. Brunner, “Using HEC-RAS for Dam Break Studies, TD-39,” *Us Army Corps Eng. Hydrol. Eng. Cent.*, no. August, p. 74, 2014.
- [9] E. V. Aryadi, P. T. Juwono, D. Priyantoro, and R. Asmaranto, “Analisa Keruntuhan Bendungan Gondang Dengan Menggunakan Program Zhong Xing Hy21,” vol. 5, pp. 110–118, 2014.
- [10] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, “Pedoman Teknis Klasifikasi Bahaya Bendungan.” p. 11, 2011.