

ANALISIS PENELUSURAN BANJIR AKIBAT KERUNTUHAN BENDUNGAN GONDANG

Sabda Kawedhar¹, Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi², Pradhipta Nandi Wardhana²

¹ Alumni Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

Email: 14511073@students.uui.ac.id

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

Email: 155111301@staf.uui.ac.id dan 1351111021@staf.uui.ac.id

ABSTRACT

The construction of a dam, aside from being useful for the life sustainability of people around the reservoir, also has the potential of great danger if it collapses. With the development of civil society in the downstream area, the impact will be even greater if there is a dam breach. This study aimed to analyze the water flow pattern downstream at Gondang Dam after the breach with the cause of piping. The dam breach analysis was conducted with the HEC-RAS program. This study simulated the dam breach with piping scenarios by inserting certain breach parameters to obtain flood hydrograph and water level hydrograph. Gondang Dam breach in one of piping scenario produces a maximum flow rate of 92,603.62 m³/s and the maximum water level is +557.251 m. Ganten village, Kerjo district is ±200 m from the dam which is used as a reference for flood routing. The maximum flood depth from the residential elevation is 27.5 m with a duration of 31 hours from the beginning of the flood until it runs out.

Keywords: Dam, Piping, Dam Breach Analysis, HEC-RAS

PENDAHULUAN

Sebuah bendungan disamping bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan bagi manusia, juga memiliki potensi bahaya yang besar. Seiring dengan berkembangnya masyarakat di daerah hilir menyebabkan semakin bertambahnya bahaya akibat keruntuhan bendungan. Salah satu syarat perencanaan sebuah bendungan adalah tidak boleh terjadi *overtopping*, sehingga jika tidak terjadi kesalahan ketika perencanaan maka bendungan akan aman dari keruntuhan bendungan akibat *overtopping*. Namun untuk keruntuhan akibat *piping* sebagian besar diakibatkan adanya kebocoran pada tubuh bendungan akibat akar pohon yang tumbuh di tubuh bendungan, juga karena kualitas tubuh bendungan itu sendiri. Sehingga ketebalan tubuh bendungan

berkurang yang menyebabkan jarak rembesan semakin pendek. Melihat dari kemungkinan *piping* dari sebuah bendungan lebih sulit dicegah dalam perencanaan, maka pada penelitian ini penulis hanya melakukan simulasi dan penelitian keruntuhan bendungan akibat *piping* saja. Pada penelitian ini simulasi banjir dilakukan dengan bantuan HEC-RAS 5.06. Penelitian yang dilakukan diharapkan mampu menghasilkan data-data aliran ketika terjadi keruntuhan bendungan akibat *piping* yang dapat digunakan oleh pengelola bendungan dalam rangka mitigasi bencana banjir akibat keruntuhan bendungan pada Bendungan Gondang.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pola aliran di hilir Bendungan Gondang

setelah terjadi keruntuhan bendungan akibat *piping*.

Hidrograf

Triadmodjo (2010) mengatakan bahwa, hidrograf banjir dapat digunakan sebagai acuan dalam mitigasi bencana. Pada suatu hidrograf dapat mengandung informasi sebagai berikut:

1. Lamanya banjir, atau hubungan antara debit dan waktu,
2. data besar debit dengan ketinggian muka air banjir untuk waktu-waktu tertentu,
3. waktu mulai banjir,
4. waktu yang diperlukan banjir mencapai banjir maksimum, dan
5. waktu yang diperlukan banjir maksimum sampai banjir habis sama sekali atau sampai banjir surut.

Keruntuhan Bendungan

Costa (1985 dalam Brunner 2014) melaporkan bahwa semua keruntuhan bendungan pada tahun 1985, 34% disebabkan oleh *overtopping*, 30% disebabkan oleh kegagalan pondasi, 28% disebabkan oleh *piping*, dan 8 % sisanya disebabkan oleh penyebab lain keruntuhan bendungan. Untuk tipe bendungan urugan tanah sendiri, 35% disebabkan oleh *overtopping*, 38% disebabkan oleh *piping*, 21% disebabkan oleh kegagalan pondasi, dan 6% sisanya oleh penyebab keruntuhan bendungan lainnya.

Model keruntuhan

Piping, *overtopping*, dan kegagalan pondasi adalah yang paling banyak menyebabkan keruntuhan pada bendungan. Dalam penelitian ini faktor penyebab keruntuhan yang ditinjau adalah *piping* saja.

Keruntuhan Bendungan Akibat *Piping*

Keruntuhan bendungan akibat *piping* secara umum terjadi karena terdapat rembesan atau aliran air melalui lubang tubuh bendungan.

Peristiwa ini jika berkelanjutan akan berpotensi membawa material tubuh bendungan yang mengakibatkan erosi kecil yang dipastikan semakin membesar dan tak terkendali yang akan meruntuhkan bendungan.

Rekahan Akibat *Piping*

Rekahan adalah lubang yang terbentuk pada tubuh bendungan dan terjadi sebelum bendungan mengalami runtuh total. Untuk memperkirakan banjir pada bagian hilir akibat keruntuhan bendungan biasanya dianggap bahwa bendungan runtuh secara total dan mendadak (Pradipta, 2014).

Parameter Keruntuhan

Perhitungan letak rekahan, besar rekahan, dan waktu rekahan adalah hal yang krusial dalam semua bagian penelitian potensi bencana akibat keruntuhan bendungan. Parameter rekahan akan berdampak langsung terhadap nilai debit puncak, begitu juga dengan waktu untuk melakukan evakuasi di hilir bendungan. Namun kenyataannya penentuan parameter-parameter tersebut adalah hal yang paling tidak pasti dalam analisis keruntuhan bendungan (Brunner, 2014).

HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi model satu dimensi aliran permanen maupun tidak permanen (*steady and unsteady one dimension flow model*) yang terjadi pada suatu sungai atau saluran yang lain. Pada prinsipnya HEC-RAS memiliki 4 komponen model satu dimensi, yaitu hitungan profil muka air aliran permanen, simulasi aliran tak permanen, hitungan transport sedimen, dan hitungan kualitas air.

Kondisi Batas

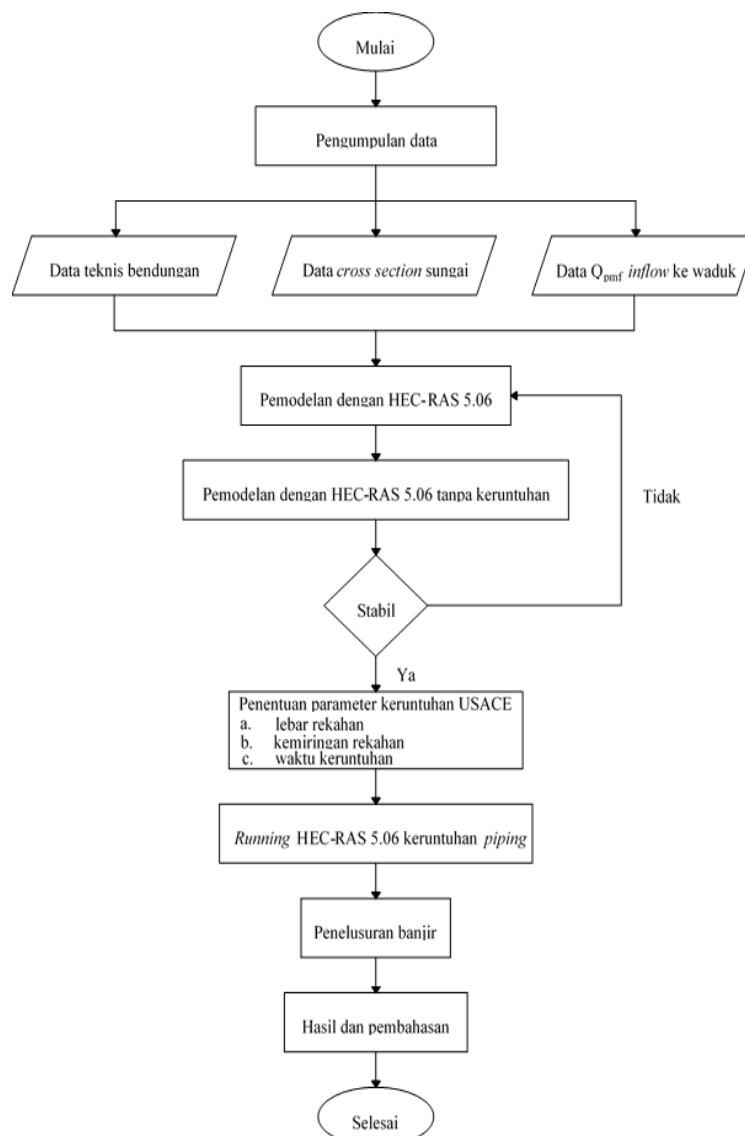
Aliran banjir yang disebabkan keruntuhan bendungan merupakan aliran tidak mantab (*unsteady flow*), sehingga dalam penelitian ini analisis terhadap profil muka air banjir yang terjadi dilakukan berdasarkan aliran tidak mantab (*unsteady flow*), sehingga

kondisi batas yang digunakan dalam analisis menggunakan program HEC-RAS merupakan kondisi batas pada aliran tidak mantab (*unsteady flow*).

METODE PENELITIAN

Simulasi dalam penelitian ini menggunakan program HEC-RAS versi 5.06 yang berupa

simulasi aliran air satu dimensi dengan analisis aliran tidak mantap (*unsteady flow*) tanpa meninjau adanya bangunan melintang di sungai serta mengabaikan simulasi transport sedimen dalam aliran. Tahapan penelitian dapat dilihat dalam bagan alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Tanpa Keruntuhan

Dalam mengetahui stabilitas model untuk perhitungan hidrolis, perlu dilakukan pemodelan atau simulasi tanpa keruntuhan terlebih dahulu. Data-data yang diperlukan untuk *input* dalam pemodelan ini adalah *initial condition* berupa *initial flow* pada hulu sungai serta *initial elevation* pada *storage area*, dan *boundary condition* pada sungai serta *storage area*.

Penentuan Parameter Keruntuhan

Dalam penelitian ini keruntuhan *piping* menggunakan variasi parameter keruntuhan yang ditentukan dengan penyesuaian geometri Bendungan Gondang menurut prediksi yang dikeluarkan oleh *U.S Army Corp of Engineering (USACE)*. Untuk lebar rerata rekahan (B_{av}) yaitu antara 0,5 kali sampai 5,0 kali tinggi bendungan. Sedangkan kemiringan rekahan (z) antara 0 sampai dengan 1,0. Dan untuk waktu

keruntuhan (tf) antara 1,0 sampai dengan 4,0 jam yang dapat dilihat pada Lampiran Tabel 1. Skenario keruntuhan akibat *piping* dapat dilihat pada Lampiran Tabel 2. Lebar rekahan pada puncak dan dasar dapat ditulus dengan persamaan berikut.

$$B_t = B_{av} + z \times HD \quad (1)$$

$$B_b = B_{av} - z \times HD \quad (2)$$

dengan:

B_t : lebar rekahan pada puncak (m)

B_b : lebar rekahan pada dasar (m)

B_{av} : lebar rerata rekahan (m)

z : kemiringan rekahan (H:V)

HD : tinggi bendungan (m)

Parameter kemiringan rekahan (z) dan waktu keruntuhan (tf) ditetapkan sebesar 0,7 dan 3 jam dengan mempertimbangkan kestabilan pemodelan. Begitu pula pada pengali tinggi bendungan (HD) ditetapkan variasi-variasinya dengan mempertimbangkan kestabilan pemodelan.

Tabel 1 Rentang Kemungkinan Nilai Karakteristik Keruntuhan Bendungan

Tipe Bendungan	Lebar Rata-Rata Rekahan	H:1V	Waktu Keruntuhan	Lembaga
Timbunan Tanah/Batu	(0,5 – 3,0) HD	0 - 1,0	0,5 - 4,0	USACE 1990
	(1,0 – 5,0) HD	0 - 1,0	0,1 - 1,0	FERC
	(2,0 - 5,0) HD	0 - 1,0	0,1 - 1,0	NWS
	(0,5 - 5,0) HD*	0 - 1,0	0,1 - 4,0*	USACE 2007
Concrete Gravity	<i>Multiple Monoliths</i>	Vertikal	0,1 - 0,5	USACE 1980
	Biasanya $\leq 0,5 L$	Vertikal	0,1 - 0,3	FERC
	Biasanya $\leq 0,5 L$	Vertikal	0,1 - 0,2	NWS
	<i>Multiple Monoliths</i>	Vertikal	0,1 - 0,5	USACE 2007
Concrete Arch	Lebar Seluruhnya	Kemiringan dinding lembah	$\leq 0,1$	USACE 1998
	Lebar Seluruhnya	0 - Kemiringan dinding lembah	$\leq 0,1$	FERC
	(0,8 L) - L	0 - Kemiringan dinding lembah	$\leq 0,1$	NWS
	(0,8 L) - L	0 - Kemiringan dinding lembah	$\leq 0,1$	USACE 2007
Slag/Refuse	(0,8 L) - L	1,0 - 2,0	0,1 - 0,3	FERC
	(0,8 L) - L		$\leq 0,1$	NWS

*Keterangan: Bendungan dengan volume besar, dan Panjang puncak bendungan.

HD = Tinggi bendungan; L = Panjang puncak bendungan;

(Sumber: Brunner 2014)

Tabel 2. Nilai *Manning* pada Saluran Alam

Skenario	Parameter Keruntuhan					
	Lebar Rerata Rekahan B_{av} (m)		Lebar Puncak Rekahan B_t (m)	Lebar Dasar Rekahan B_b (m)	Kemiringan Rekahan z	Waktu Rekahan t_f (jam)
1	2,3xHD	142,14	185,4	98,88	0,7	3
2	2,46xHD	152,028	195,288	108,768	0,7	3
3	3,3xHD	203,94	247,2	160,68	0,7	3
4	3,45xHD	213,21	256,47	169,95	0,7	3
5	3,61xHD	223,26	266,52	180	0,7	3

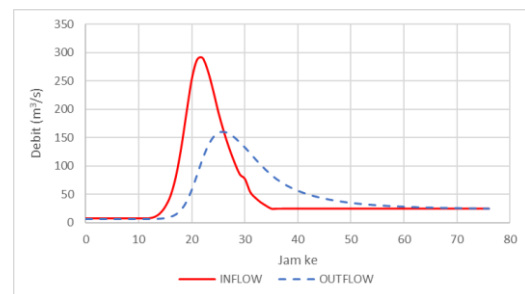
Pemodelan Keruntuhan *Piping*

Setelah melakukan pemodelan tanpa keruntuhan dengan stabil, langkah selanjutnya adalah pemodelan keruntuhan *piping*. Pada tahap ini setiap skenario keruntuhan yang telah ditentukan dimodelkan satu per satu dengan memasukkan parameter – parameter keruntuhan setiap skenario dengan *running* pemodelan satu per satu pula sehingga didapatkan hasil pemodelan setiap skenario yang dilakukan.

Hasil Pemodelan Tanpa Keruntuhan

Berikut merupakan hasil pemodelan hasil pemodelan tanpa keruntuhan pada Bendungan Gondang seperti yang terlihat pada Gambar 2.

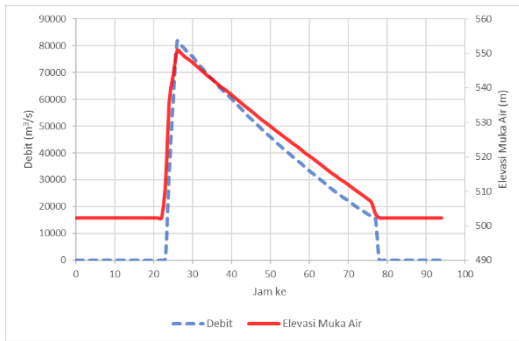
1. Debit *outflow* puncak terjadi pada jam ke-26 yaitu sebesar 159,9 m³/s.
2. Debit *inflow* tertinggi terjadi pada jam ke-22 yaitu sebesar 291,13 m³/s.
3. Selisih debit maksimum *inflow* dan *outflow* sebesar 131,23 m³/s, hal ini berarti terjadi peredaman banjir.



Gambar 2. Hidrograf *Inflow* dan *Outflow*

Hasil Pemodelan Keruntuhan Skenario 1

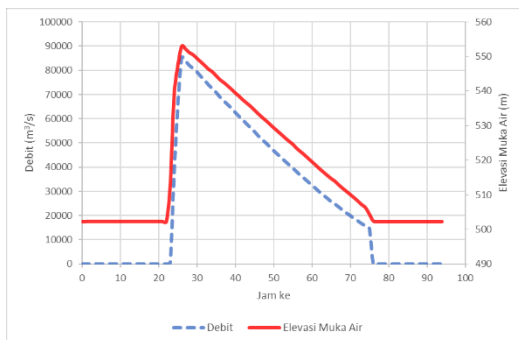
Debit maksimum skenario 1 pada Gambar 3 terjadi pada jam ke-26 yaitu sebesar 81.510,77 m³/s. Sedangkan debit minimum terjadi pada jam ke-82 sebesar 5,26 m³/s hingga akhir pemodelan. Elevasi maksimum pada waduk yaitu +559,825 m dengan *initial condition* muka air waduk adalah +560 m. Elevasi muka air maksimum pada *cross section* setelah bendungan adalah +550,85 m terjadi pada jam ke-26. Sedangkan elevasi muka air minimum adalah +502,2 m pada jam ke-79 hingga akhir pemodelan.



Gambar 3. Hidrograf Skenario 1

Hasil Pemodelan Keruntuhan Skenario 2

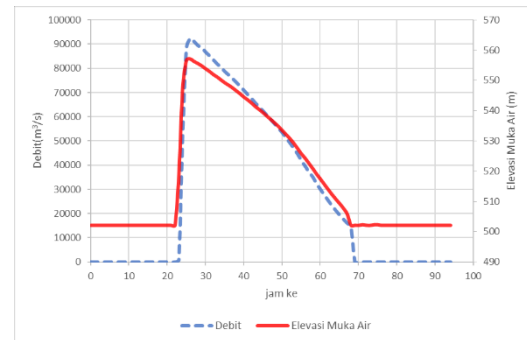
Debit maksimum pada Gambar 4 terjadi pada jam ke-26 yaitu sebesar 85.222,58 m³/s. Sedangkan debit minimum terjadi pada jam ke-78 sebesar 5,7 m³/s. Elevasi minimum pada waduk yaitu +559,825 m dengan *initial condition* muka air waduk adalah +560 m. Elevasi muka air maksimum pada *icross section* setelah bendungan adalah +552,97 m terjadi pada jam ke-26. Sedangkan elevasi muka air minimumnya adalah +502,2 m pada jam ke-77 hingga akhir pemodelan.



Gambar 4. Hidrograf Skenario 2

Hasil Pemodelan Keruntuhan Skenario 3

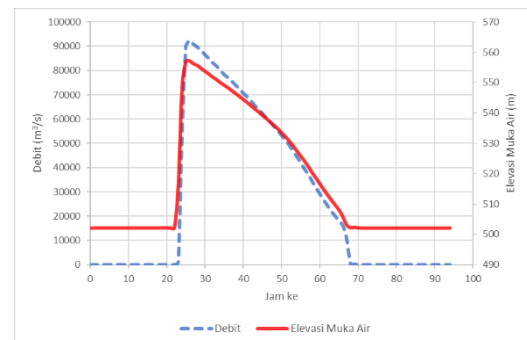
Debit maksimum pada Gambar 5 terjadi pada jam ke-26 yaitu sebesar 92.251,19 m³/s. Sedangkan debit minimum terjadi pada jam ke-76 sebesar 3,13 m³/s hingga akhir pemodelan.



Gambar 5. Hidrograf Skenario 3

Hasil Pemodelan Keruntuhan Skenario 4

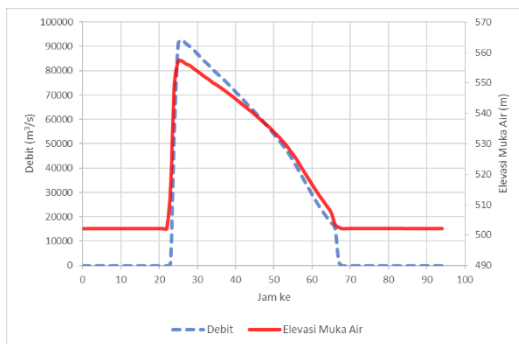
Debit maksimum pada Gambar 6 terjadi pada jam ke-26 yaitu sebesar 92.259,38 m³/s. Sedangkan debit minimum terjadi pada jam ke-71 sebesar 6,27 m³/s hingga akhir pemodelan. Elevasi maksimum pada waduk yaitu +559,825 m dengan *initial condition* muka air waduk adalah +560 m. Elevasi muka air maksimum pada *cross section* setelah bendungan adalah +557,04 m terjadi pada jam ke-26. Sedangkan elevasi muka air minimumnya adalah +502,2 m pada jam ke-71 hingga akhir pemodelan.



Gambar 6. Hidrograf Skenario 4

Hasil Pemodelan Keruntuhan Skenario 5

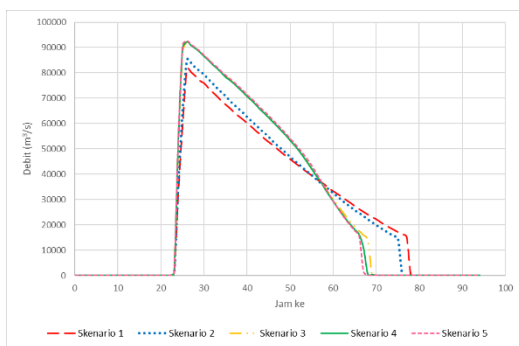
Debit maksimum pada Gambar 7 terjadi pada jam ke-26 yaitu sebesar 92.603,62 m³/s. Sedangkan debit minimum terjadi pada jam ke-94 sebesar 24,31 m³/s hingga akhir pemodelan. Elevasi maksimum pada waduk yaitu +559,825 m dengan *initial condition* muka air waduk adalah +560 m. Elevasi muka air maksimum pada *cross section* setelah bendungan adalah +557,25 m terjadi pada jam ke-26. Sedangkan elevasi muka air minimumnya adalah +502,25 m pada jam ke-85 hingga akhir pemodelan.



Gambar 7. Hidrograf Skenario 5

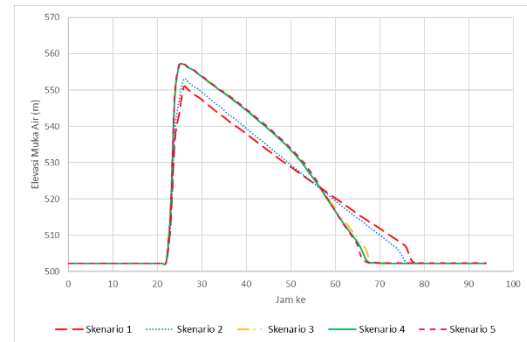
Perbandingan hasil Pemodelan

Berikut adalah perbandingan hidrograf banjir skenario 1, 2, 3, 4, dan 5.



Gambar 8. Perbandingan Hidrograf Banjir 1, 2, 3, 4, dan 5

Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan puncak debit mengikuti perbedaan lebar rekahan yang terjadi. Semakin besar lebar rekahan maka tinggi puncak debit juga semakin besar, dengan kemiringan dan waktu keruntuhan yang seragam tentunya.

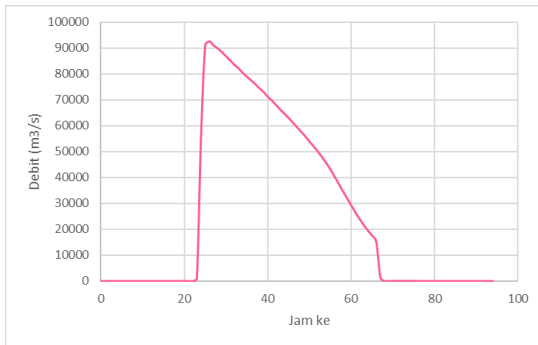


Gambar 9. Perbandingan Hidrograf Muka Air Skenario 1, 2, 3, 4, dan 5

Besar lebar rekahan juga menimbulkan pengaruh terhadap tinggi muka air. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa perbandingan elevasi muka air di hulu bendungan ketika terjadi keruntuhan akan semakin tinggi mengikuti lebar rekahan yang semakin besar meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan, dengan kemiringan dan waktu keruntuhan yang seragam tentunya.

Analisis Penelusuran Banjir

Dalam penelitian ini pemodelan dibatasi jarak maksimum dari bendungan hingga hilir sejauh 264,5 m. Skenario yang digunakan dalam penelusuran banjir akibat *piping* ini adalah skenario 5 yang didapati debit maksimum terbesar, dengan lebar rerata rekahan sebesar 223,36 m, dengan waktu keruntuhan 3 jam dan kemiringan rekahan 0,7 seperti terlihat pada gambar 10.



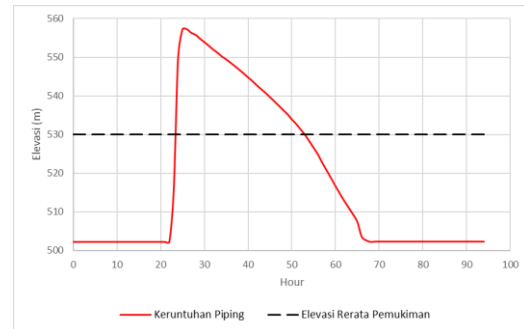
Gambar 10. Hidrograf Banjir Skenario 5

Keruntuhan bendungan dimulai jam ke-22, dimana terjadi debit aliran sebesar $6,57 \text{ m}^3/\text{s}$. Keruntuhan terjadi selama 3 jam hingga jam ke-25 dimana terjadi debit aliran sebesar $91.142,73 \text{ m}^3/\text{s}$. Kemudian debit aliran maksimum terjadi satu jam setelah rekahan terbentuk sempurna yaitu di jam ke-26, sebesar $92.603,62 \text{ m}^3/\text{s}$. Berdasarkan pemodelan yang dilakukan terdapat daerah di hilir yang berjarak $\pm 200 \text{ m}$ dari bendungan yaitu Desa Ganten, Kecamatan Kerjo seperti yang terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Kemungkinan Daerah Rawan Banjir

Penentuan waktu banjir di Desa Ganten, Kecamatan kerjo dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Penentuan Waktu Banjir di Desa Ganten

Rata-rata elevasi pemukiman Desa Ganten, Kecamatan kerjo berada pada $+530,00 \text{ m}$. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-22 yang diperkirakan menimbulkan mulainya banjir pada jam ke-24 hingga terjadi banjir tertinggi dengan elevasi muka air maksimum adalah $+557,25 \text{ m}$ yang terjadi pada jam ke-26. Kedalaman banjir maksimum dari elevasi pemukiman adalah $27,25 \text{ m}$. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Ganten selama 4 jam. Banjir akibat keruntuhan *piping* di Desa Ganten surut dalam durasi 28 jam, dari jam ke-27 hingga jam ke-55. Durasi banjir di Desa ganten terjadi selama 31 jam dari jam ke-24 dan berakhir pada jam ke-55.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat di ambil dari hasil analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Debit maksimum yang dihasilkan oleh keruntuhan bendungan akibat *piping* dipengaruhi oleh perubahan parameter, yaitu lebar rerata rekahan, waktu keruntuhan, dan kemiringan rekahan. Skenario-skenario keruntuhan yang dimodelkan menunjukkan bahwa semakin besar lebar rerata rekahan akan semakin memperbesar debit maksimum banjir yang dihasilkan.

2. Semakin ke hilir debit maksimum banjir mengalami penurunan, hal ini dikarenakan debit air yang tidak tertampung pemampang sungai akan keluar sistem sungai.
3. Dari 5 pemodelan yang dilakukan dalam penelitian dapat disimpulkan bahwa, semakin besar lebar rekahan maka tinggi puncak debit juga semakin besar, serta tinggi muka air di hilir bendungan ketika terjadi keruntuhan akan semakin tinggi mengikuti lebar rekahan yang semakin besar meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan, dengan kemiringan dan waktu rekahan yang seragam.
4. Perilaku banjir akibat keruntuhan *piping* pada Bendungan Gondang di Desa Ganden Kecamatan Kerjo adalah memiliki durasi perjalanan banjir di mulai keruntuhan hingga elevasi puncak adalah 4 jam dan kedalaman banjir maksimum dari elevasi pemukiman adalah 27,25 m.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran-saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data topografi yang diukur langsung di lapangan untuk diperolehnya hasil pemodelan yang lebih menyeluruh dan akurat.
2. Menambah skenario-skenario pemodelan keruntuhan tidak hanya bervariasi pada parameter lebar rerata rekahan, namun

juga pada waktu keruntuhan dan kemiringan rekahan.

3. Supaya diperoleh hasil yang lebih efektif dalam pendekatan keruntuhan bendungan akibat *piping* alangkah baiknya transport sedimen juga diperhitungkan.
4. Sistem peringatan dini (*early warning system*) sangat diperlukan demi meminimalisir dampak banjir yang ditimbulkan akibat keruntuhan bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brunner, G.W. (2014). "Using HEC-RAS for Dam Break Studies. USACE, Institute for Water Resources". Hydrologic Engineering Center. Davis. USA.
- Pradipta, W. (2014). "Analisis Penelusuran Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan (Studi Kasus: bendungan Gonggang, Kabupaten Magetan, Jawa Timur)". Tesis. Magister Pengolahan Bencana Alam. Program Pscasarjana Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. (2010). "Hidrologi Terapan", Cetakan Kedua. Beta Offset. Yogyakarta
- US Army Corps of Engineers. (2010). "HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Institute for Water Resources". Hydrologic engineering Center. Davis. CA.