

## ANALISIS SEBARAN BANJIR AKIBAT KERUNTUHAN BENDUNGAN BULANGO ULU KABUPATEN BONE BOLANGO

Fatmawati Abdul Razak\*, Aryati Alitu, dan Barry Y. Labdul

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo

\*fatmarazak116@gmail.com

Pemasukan: 11 Januari 2024 Perbaikan: 21 Mei 2024 Diterima: 24 Juni 2024

### Intisari

Bendungan merupakan salah satu bangunan infrastruktur bidang sumber daya air yang penting dan memberikan manfaat bagi masyarakat setempat. Selain banyaknya manfaat, bendungan juga dapat menimbulkan risiko yang besar pula. Di dalam Permen PU No. 27 Tahun 2015 tentang bendungan mendefinisikan kegagalan bendungan adalah keruntuhan sebagian atau seluruh bendungan atau bangunan pelengkapannya dan/atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan. Keruntuhan bendungan dapat menimbulkan banjir besar di daerah bagian hilir bendungan. Bencana dahsyat tersebut tidak hanya terjadi pada lokasi sekitar bangunan, tetapi mencakup area yang luas pada bagian hilir bendungan dan juga dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar yang dapat mengancam kehidupan manusia dengan kerugian materi serta jiwa manusia. Pemodelan genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dilakukan dengan HEC-RAS v6.0 dengan bantuan ArcGIS v10.3 dengan penyebab keruntuhan bendungan adalah akibat *overtopping* dan *piping* dengan studi kasus Bendungan Bolango Ulu yang berlokasi di Kabupaten Bone Bolango. Pada skenario *overtopping*, didapatkan bahwa genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 43% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,81 m, kecepatan rerata maksimum 1,83 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,50 jam. Pada skenario *piping*, didapatkan bahwa genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 42% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,33 m, kecepatan rerata maksimum 1,51 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,66 jam.

Kata Kunci: Bendungan, Keruntuhan, Overtopping, Piping, HEC-RAS.

### Latar Belakang

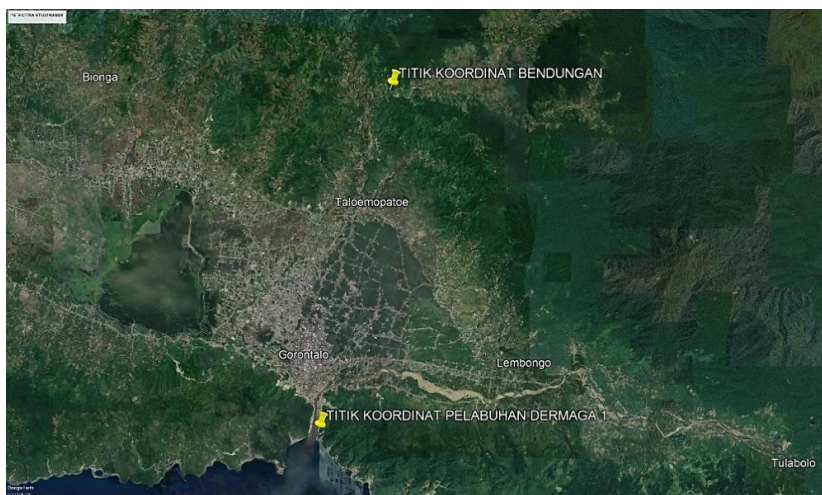
Pasokan air tidak akan berkurang saat musim penghujan tiba, namun sebaliknya pasokan air akan berkurang saat musim kemarau. Untuk itu, dibutuhkan waduk yang berfungsi menampung air pada musim penghujan dan menyimpan air di musim kemarau di waktu air sungai mengalir dalam debit yang kecil. Pembangunan bendungan dimaksudkan untuk memperoleh manfaat dari bendungan itu sendiri, seperti sebagai penyimpan cadangan air, mencegah banjir, menyediakan air untuk irigasi, menjadi tempat wisata, menyediakan energi untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA), dan sebagainya.

Bendungan merupakan salah satu bangunan infrastruktur bidang sumber daya air yang penting dan memberikan manfaat bagi masyarakat setempat. Selain banyaknya manfaat, bendungan juga dapat menimbulkan risiko yang besar pula (Aniskurlillah, et al., 2014). Di dalam Permen PU No. 27 Tahun 2015 tentang bendungan mendefinisikan kegagalan bendungan adalah keruntuhan sebagian atau seluruh bendungan atau bangunan pelengkapannya dan/atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan. Keruntuhan bendungan dapat menimbulkan banjir besar di daerah bagian hilir bendungan. Bencana dahsyat tersebut tidak hanya terjadi pada lokasi sekitar bangunan, tetapi mencakup area yang luas pada bagian hilir bendungan dan juga dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar yang dapat mengancam kehidupan manusia dengan kerugian materi serta jiwa manusia. Keruntuhan bendungan dapat terjadi akibat *overtopping* maupun *piping*.

Bendungan Bolango Ulu yang mencakup Desa Tuloa, Desa Owata, dan Desa Mongi'ilo terletak di Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo bertipe *Zonal* dengan timbunan batu dengan tinggi bendungan 75 m dan volume tampungan total 26,26 juta m<sup>3</sup>. Dengan tinggi dan volume tersebut, maka perlu dilakukan analisis sebaran banjir akibat keruntuhan Bendungan Bolango Ulu agar dapat diketahui risiko bahaya bendungan serta bencana pada wilayah-wilayah yang terkena dampak bencana.

### Metodologi Studi

Lokasi pembangunan Bendungan Bolango Ulu secara astronomis terletak di antara 0°39'38.93" Lintang Utara dan 123° 5'42.70" Bujur Timur tepatnya di ruas Sungai Mongi'ilo (Gambar 1). Bendungan Bolango Ulu berlokasi di tiga Desa yaitu Desa Owata, Desa Tuloa, dan Desa Mongi'ilo yang berada di Kecamatan Bolango Utara, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Lokasi penelitian mencakup daerah hulu Bendungan Bolango Ulu hingga ke hilir, yaitu di daerah sekitar Pelabuhan Gorontalo. Daerah genangan meliputi 3 kabupaten/kota yaitu, Kabupaten Gorontalo, Kota Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango.



(Sumber: Google Earth)

Gambar 1. Lokasi penelitian

Metode analisis akibat keruntuhan bendungan akan dilakukan seperti diagram pada Gambar 1. Metode yang dilakukan dimulai dari pengumpulan data, kemudian dilanjutkan dengan menghitung parameter keruntuhan bendungan kemudian melakukan pemodelan keruntuhan bendungan menggunakan Software HEC-RAS v6.0 pada keadaan *overtopping* dan *piping* menggunakan aliran tak tetap (*unsteady flow*), dilanjutkan dengan pemetaan yang dibantu dengan Software ArcGIS v10.3. Output dari penelitian ini adalah peta genangan banjir khususnya daerah Kota Gorontalo. Analisis hasil simulasi keruntuhan bendungan mengenai luas genangan, kedalaman, kecepatan banjir, dan waktu tiba banjir.

## Hasil Studi dan Pembahasan

### Parameter Keruntuhan Bendungan

Karakteristik banjir yang terjadi akibat keruntuhan bendungan memiliki puncak banjir yang sangat tinggi serta waktu terjadinya banjir sangat singkat antara awal hingga ke puncak banjir. Keruntuhan bendungan diawali dengan rekahan (*breach*) yang berbeda bentuknya pada skenario keruntuhan akibat *overtopping* dan akibat *piping*. Bentuk rekahan akibat *overtopping* umumnya disimulasikan berbentuk persegi, segitiga, ataupun trapesium dengan trapesium merupakan pendekatan bentuk yang paling umum digunakan. Bentuk rekahan akibat *piping* umumnya disimulasikan berbentuk persegi. Slope rekahan merupakan kemiringan rekahan berdasarkan bentuk rekahan yang akan terjadi sebagai akibat dari pendekatan bentuk rekahan.

1. Bentuk rekahan dan *slope* rekahan akibat dua skenario keruntuhan bendungan adalah sebagai berikut:
  - a. Akibat *Overtopping*

Bentuk rekahan	= trapesium (bentuk umum)
Kemiringan (Z)	= 1,00
  - b. Akibat *Piping*

Bentuk rekahan	= persegi (bentuk umum)
Kemiringan (Z)	= 0,00
  
2. Kedalaman, Lebar, dan Waktu Terbentuknya Rekahan
  - a. Tinggi air ( $H_b$ )
 

$H_b = \text{Elevasi Muka Air Normal} - \text{Elevasi Dasar Sungai}$   
 $H_b = 95 - 48 = 47 \text{ m} = 154,199 \text{ ft}$
  - b. Lebar rekahan ( $B_{avg}$ )
 

Lebar rekahan merupakan lebar rekahan rata-rata ketika rekahan mulai terjadi hingga terjadinya keruntuhan bendungan.

$$B_{avg} = 8,239 K0V_W^{0,32} H_b^{0,04}$$

Akibat *overtopping*

$$B_{avg} = 8,239 \times 1,3 \times 68181,05^{0,32} \times 154,199^{0,04}$$

$$= 461,438 \text{ ft} = 140,646 \text{ m}$$

Akibat *piping*

$$B_{avg} = 8,239 \times 1 \times 68181,05^{0,32} \times 154,199^{0,04}$$

$$= 354,952 \text{ ft} = 108,190 \text{ m}$$

c. Waktu terbentuknya rekahan (Tf)

$$Tf = 3,664 \sqrt{\frac{Vw}{g H_b^2}} = 3,664 \sqrt{\frac{68181,05}{32,2 \times 154,199^2}} = 1,09 \text{ jam}$$

### 3. Waktu Keruntuhan

Waktu keruntuhan (t) = 0,5 jam

Diasumsikan pemicu keruntuhan terjadi akibat gempa bumi, dan dipilih waktu tercepat keruntuhan pada rentan diatas untuk alasan keamanan pada skenario keruntuhan terburuk. Berikut rekapitulasi parameter input yang akan digunakan dalam pemodelan keruntuhan pada aplikasi untuk skenario *overtopping* dan *piping* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi Paramater Input

Parameter	Skenario		Keterangan
	<i>Overtopping</i>	<i>Piping</i>	
Bentuk Rekahan	Trapesium	Persegi	
Kemiringan (Z)	1	0	
Koefisien Bentuk Rekahan	1,3	1	
<i>Piping Coefficient</i>	-	0,6	bendungan urugan
<i>Piping Elevation</i>	-	64	
Lebar Rekahan ( <i>Bavg</i> )	461,438	354,952	ft
	140,646	108,190	m
Waktu Terbentuknya Rekahan	1,09	1,09	jam
Tinggi Air (Hb)	47	47	m
	154,199	154,199	ft
Volume Waduk	84100000	84100000	m <sup>3</sup>
	68181,05	68181,05	acre-ft
Waktu Keruntuhan	0,5 s./d 4		jam

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

### Hasil Simulasi dan Pembahasan

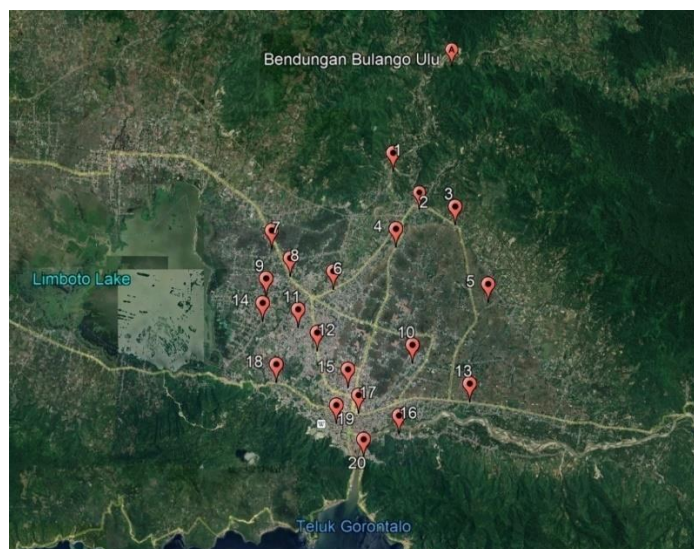
*Output* pemodelan dari HEC-RAS v6.0 untuk kedalaman banjir (*depth*), kecepatan banjir (*velocity*), dan waktu kedatangan banjir (*arrival time*) berupa peta dengan format *raster*. Untuk luas genangan banjir berupa peta dalam format *polygon*. *Polygon* tersebut dapat ditentukan luasnya untuk menentukan luas total genangan banjir dan kemudian *overlay* dengan *polygon* batas administrasi Kabupaten Gorontalo, Kota Gorontalo, dan Bone Bolango untuk ditentukan luas genangan yang terjadi pada masing-masing yang terdampak. Berikut adalah daerah genangan hasil pemodelan akibat keruntuhan ditunjukkan pada Gambar 2.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 2. Peta genangan dalam kondisi max profile depth

Berdasarkan peta daerah tergenang akibat keruntuhan bendungan di atas maka didapatkan lokasi terpilih di wilayah hilir waduk yang terdampak dikarenakan keruntuhan bendungan. Lokasi terpilih di hilir waduk akan digunakan untuk mengetahui parameter-parameter banjir di lokasi terdampak dapat ditunjukkan pada Gambar 3.

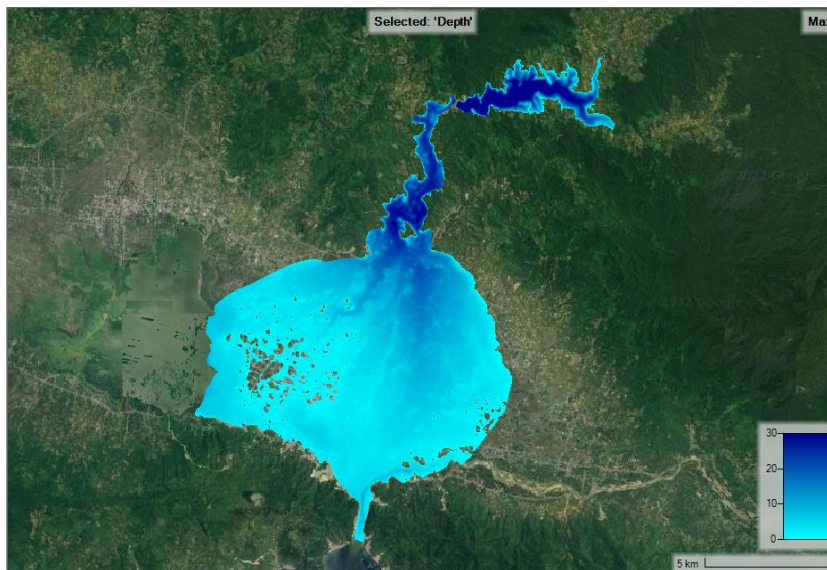


(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 3. Peta lokasi terpilih wilayah tergenang banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu

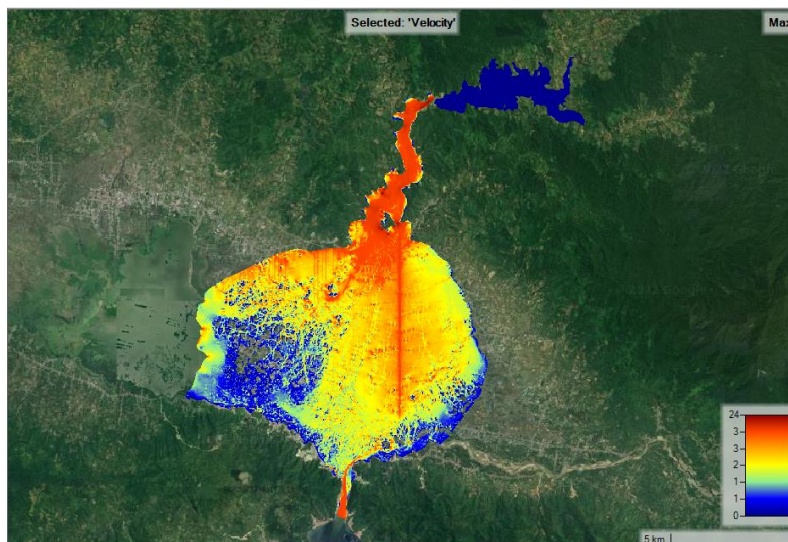
**Karakteristik Banjir Akibat Keruntuhan Overtopping**

Berdasarkan Gambar 4 hasil simulasi genangan banjir keruntuhan *overtopping* didapatkan rata-rata di bagian hulu (radius 0-9 km) 18 m, di bagian tengah (radius 9-13 km) 3 m, dan di bagian hilir (radius >13 km) 4 m.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

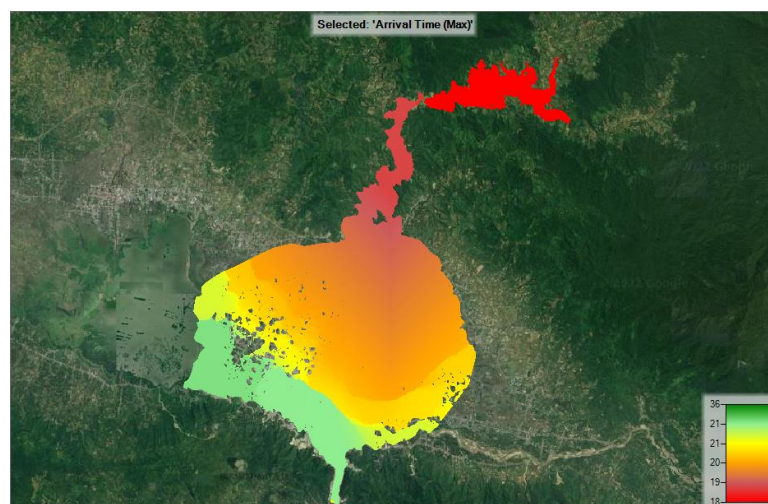
Gambar 4. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario overtopping (profil – max depth)



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 5. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario overtopping (profil – max velocity)

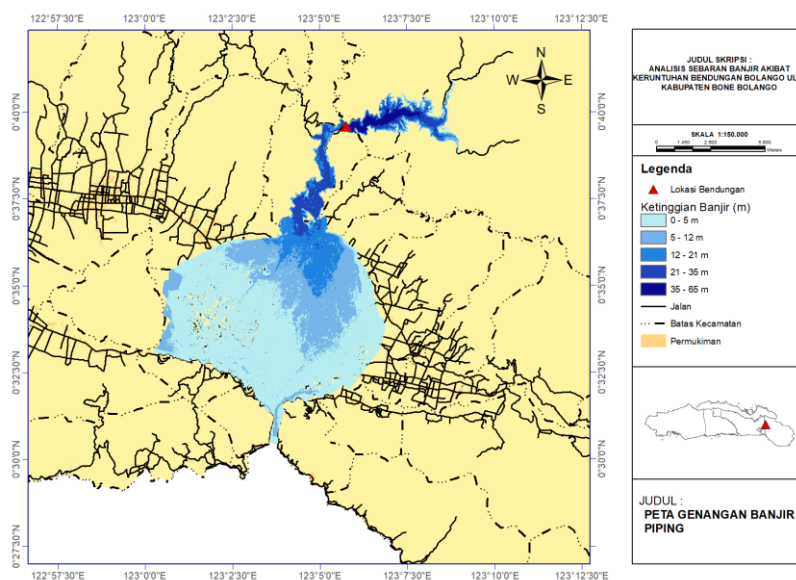
Dari Gambar 5 didapatkan kecepatan aliran maksimum yang dihasilkan akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu untuk skenario overtopping cenderung besar di bagian hulu, yaitu di daerah bagian Bulango Utara sebesar 7,04 m/detik hingga Tapa sebesar 3,45 m/det dan berkurang setelah mencapai hilir di daerah Dumbo Raya sebesar 1,57 m/detik dan Hulonthalangi sebesar 1,14 m/det.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 6. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario overtopping (profil – max time arrival)

Berdasarkan Gambar 6 didapatkan waktu kedatangan banjir rata-rata di bagian dekat bendungan < 1 jam, rentang jarak 5 - 10 km dengan waktu 1-2 jam, rentang jarak 10 – 15 km dengan waktu 2 - 3 jam, lebih dari 15 km dengan waktu > 3 jam.



(Sumber : ArcGIS v10.3)

Gambar 7 Peta genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu (overtopping)

Setelah mendapatkan lokasi terpilih di hilir waduk akibat keruntuhan, maka dapat dilihat karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Kecamatan Bulango Utara pada jarak 4850 m dengan kedalaman banjir 27,51 m, kecepatan aliran banjir 7,04 m/detik, dan waktu tiba banjir 0,78 jam dengan luas genangan sebesar 573,37 ha dari total genangan 8444,96 ha. Dapat disimpulkan bahwa 20 kecamatan yang berada di 3 kabupaten/kota, yaitu Kota Gorontalo, Kabupaten Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango akan tergenang banjir yang diakibatkan

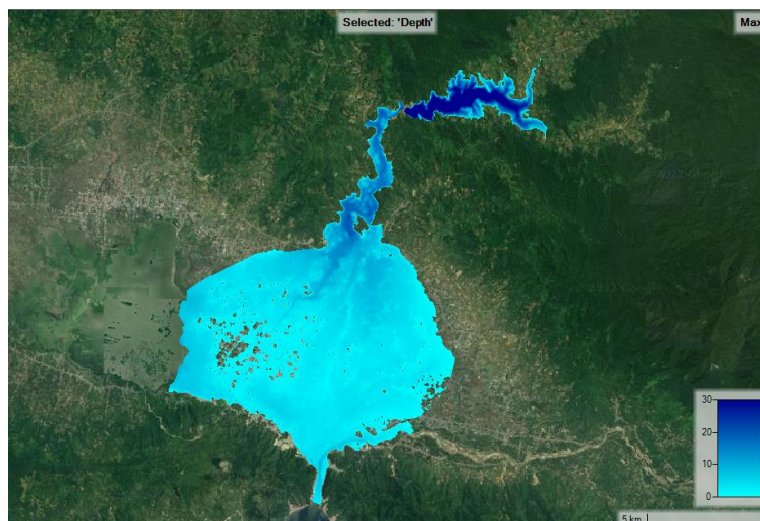
oleh keruntuhan bendungan. Hasil Analisis karakteristik banjir akibat keruntuhan bendungan yang terdapat dimasing-masing lokasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis *overtopping* karakteristik banjir.

No	Kecamatan	Kota/Kabupaten	Jarak dari Bendungan (m)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)	Elevasi (m)	Waktu Tiba (jam)	Luas Genangan (ha)	Luas Kecamatan (ha)	Persentase Tergenang
1	Bulango Utara	Kabupaten Bone Bolango	4850	27,51	7,04	54,01	0,78	573,37	5366	11%
2	Tapa	Kabupaten Bone Bolango	5489	20,07	3,45	49,18	0,82	222,68	1344	17%
3	Bulango Timur	Kabupaten Bone Bolango	6846	11,72	1,93	33,36	1,11	352,76	1191	30%
4	Bulango Selatan	Kabupaten Bone Bolango	7292	13,58	3,43	34,33	1,1	562,29	981	57%
5	Tilongkabila	Kabupaten Bone Bolango	9721	3,60	2,45	17,88	1,55	590,89	3942	15%
6	Sipatana	Kota Gorontalo	9988	3,84	2,21	19,58	1,55	452,28	639	71%
7	Telaga Biru	Kabupaten Gorontalo	10121	4,01	2,22	16,22	1,61	245,77	10884	2%
8	Telaga	Kabupaten Gorontalo	10462	3,94	2,42	16,96	1,83	858,80	2816	30%
9	Telaga Jaya	Kabupaten Gorontalo	11643	2,42	1,38	14,18	2,15	466,63	641	73%
10	Kota Utara	Kota Gorontalo	11767	6,18	3,54	15,58	1,52	836,57	1015	82%
11	Dungingi	Kota Gorontalo	11922	4,15	1,33	13,87	2,3	380,38	591	64%
12	Kota Tengah	Kota Gorontalo	12368	2,70	1,87	12,13	2,3	437,51	609	72%
13	Kabila	Kabupaten Bone Bolango	12453	3,55	1,66	12,75	2,08	663,06	1263	52%
14	Tilango	Kabupaten Gorontalo	12469	1,42	0,82	12,59	2,9	472,10	604	78%
15	Kota Selatan	Kota Gorontalo	13239	3,03	2,57	10,21	3,11	278,90	356	78%
16	Botupinge	Kabupaten Bone Bolango	14031	4,54	1,03	10,42	2,62	43,55	3120	1%
17	Kota Timur	Kota Gorontalo	14066	4,50	1,58	10,07	3,09	499,85	673	74%
18	Kota Barat	Kota Gorontalo	14167	2,95	0,63	10,19	2,67	285,74	2541	11%
19	Hulonthalangi	Kota Gorontalo	14678	3,34	1,14	9,96	3,15	101,09	1801	6%
20	Dumbo Raya	Kota Gorontalo	15658	3,57	1,57	9,05	2,77	120,73	1404	9%

### Karakteristik Banjir Akibat Keruntuhan Piping

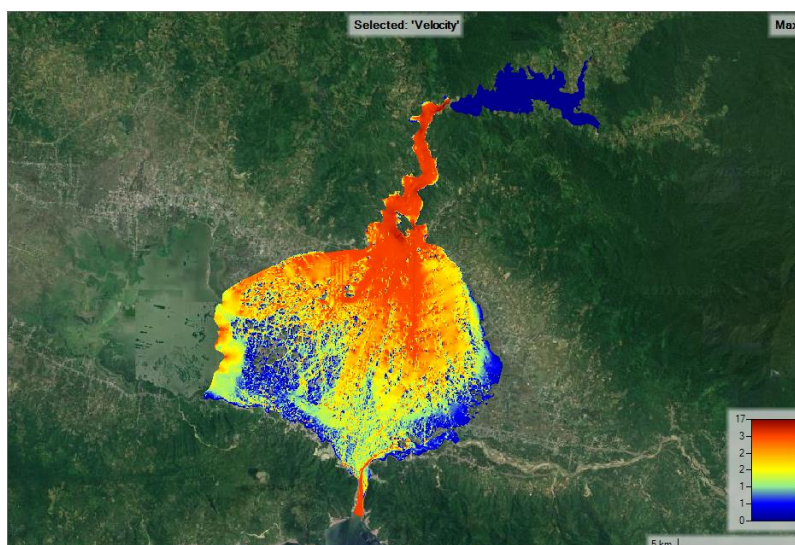
Berikut adalah *Output* pemodelan dari HEC-RAS v6.0 dalam bentuk raster dan polygon.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 9. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario piping (profil – max depth)

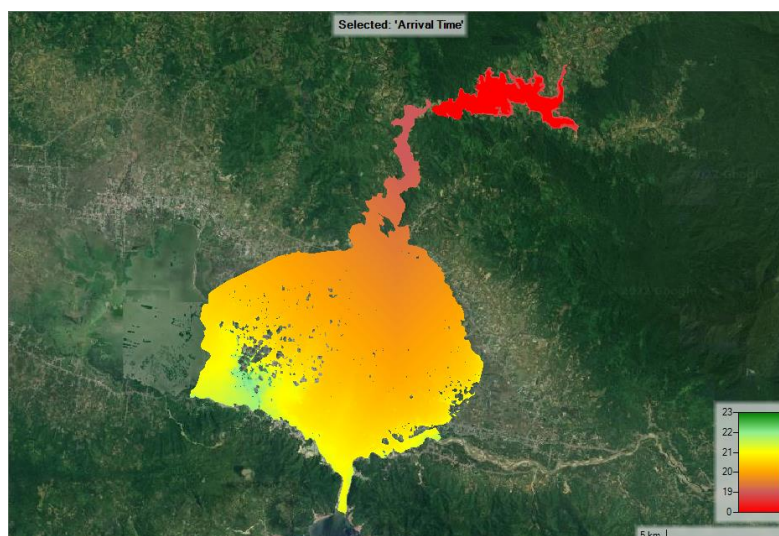
Berdasarkan Gambar 9 hasil simulasi genangan banjir keruntuhan *piping* didapatkan rata-rata di bagian hulu (radius 0-9 km) 10 m, di bagian tengah (radius 9-13 km) 3 m, dan di bagian hilir (radius >13 km) 3 m.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 10. Hasil simulasi genangan banjir akibat Keruntuhan Bendungan Bulango Ulu skenario *piping* (profil – *max velocity*)

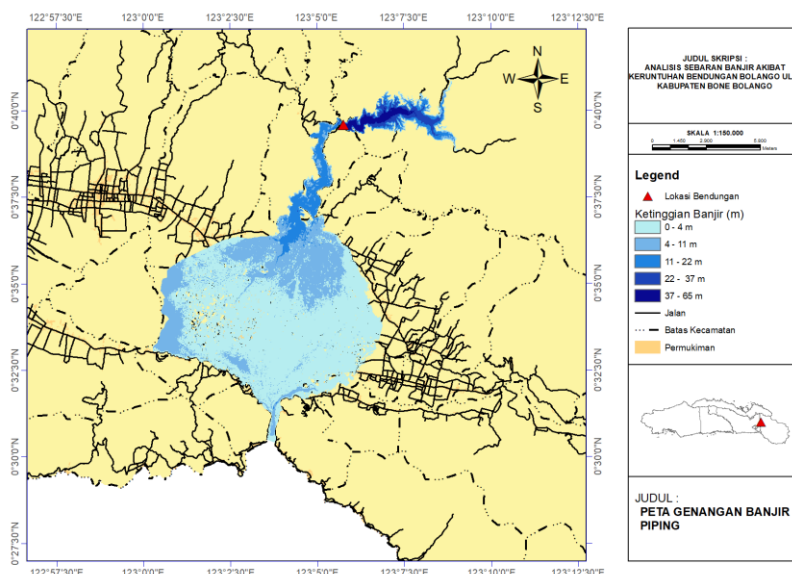
Dari Gambar 10 didapatkan kecepatan aliran maksimum yang dihasilkan akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu untuk skenario *piping* cenderung besar di bagian hulu, yaitu di daerah bagian Bulango Utara sebesar 6,84 m/detik hingga Tapa sebesar 3,67 m/det dan berkurang setelah mencapai hilir di daerah Dumbo Raya sebesar 1,44 m/detik dan Hulonthalangi sebesar 1,12 m/det.



(Sumber : HEC-RAS v6.0)

Gambar 11. Hasil simulasi genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan kuning skenario *piping* (profil – *max time arrival*)

Berdasarkan Gambar 11 didapatkan waktu kedatangan banjir rata-rata di bagian dekat bendungan > 1 jam, rentang jarak 5 - 10 km dengan waktu 1-2 jam, rentang jarak 10 – 15 km dengan waktu 2 - 3 jam, lebih dari 15 km dengan waktu > 3 jam.



(Sumber : ArcGIS v10.3)  
 Gambar 12 Peta genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu (piping)

Tabel 2. Hasil analisis *piping* karakteristik banjir.

No	Kecamatan	Kota/Kabupaten	Jarak dari Bendungan (m)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)	Elevasi (m)	Waktu Tiba (jam)	Luas Genangan (ha)	Luas Kecamatan (ha)	Persentase Tergenang
1	Bulango Utara	Kabupaten Bone Bolango	4850	17,29	6,84	43,79	1,31	529,57	5366	10%
2	Tapa	Kabupaten Bone Bolango	5489	8,82	3,67	37,93	1,38	204,04	1344	15%
3	Bulango Timur	Kabupaten Bone Bolango	6846	4,81	1,79	26,46	1,66	302,48	1191	25%
4	Bulango Selatan	Kabupaten Bone Bolango	7292	7,92	4,72	28,66	1,63	558,47	981	57%
5	Tilongkabila	Kabupaten Bone Bolango	9721	1,76	1,40	16,03	2,15	523,89	3942	13%
6	Sipatana	Kota Gorontalo	9988	3,65	2,17	19,39	2,08	444,85	639	70%
7	Telaga Biru	Kabupaten Gorontalo	10121	3,97	2,18	16,18	2,16	243,35	10884	2%
8	Telaga	Kabupaten Gorontalo	10462	4,09	2,28	17,12	2,20	851,84	2816	30%
9	Telaga Jaya	Kabupaten Gorontalo	11643	2,69	1,55	14,44	2,46	476,39	641	74%
10	Kota Utara	Kota Gorontalo	11767	2,76	2,23	12,17	2,10	813,83	1015	80%
11	Dungingi	Kota Gorontalo	11922	4,36	1,53	14,07	2,55	392,76	591	66%
12	Kota Tengah	Kota Gorontalo	12368	2,92	2,04	12,29	2,63	438,95	609	72%
13	Kabila	Kabupaten Bone Bolango	12453	2,67	0,78	11,87	2,48	594,12	1263	47%
14	Tilango	Kabupaten Gorontalo	12469	1,62	1,09	12,79	2,98	491,33	604	81%
15	Kota Selatan	Kota Gorontalo	13239	2,78	1,37	9,96	2,55	278,37	356	78%
16	Botupinge	Kabupaten Bone Bolango	14031	3,82	0,77	9,71	2,93	41,04	3120	1%
17	Kota Timur	Kota Gorontalo	14066	4,16	1,16	9,74	2,66	494,67	673	74%
18	Kota Barat	Kota Gorontalo	14167	3,33	0,53	10,36	3,23	291,36	2541	11%
19	Hulonthalangi	Kota Gorontalo	14678	2,90	1,12	9,65	2,91	98,93	1801	5%
20	Dumbo Raya	Kota Gorontalo	15658	3,15	1,44	8,64	3,20	117,99	1404	8%

(Sumber: Hasil Perhitungan,2022)

Setelah mendapatkan lokasi terpilih di hilir waduk akibat keruntuhan, maka dapat dilihat karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Kecamatan Bulango Utara pada jarak 4850 m dengan kedalaman banjir 17,29 m, kecepatan aliran banjir 6,84 m/detik, dan waktu tiba banjir 1,31 jam dengan luas genangan sebesar 529,57 ha dari total genangan 8188,26 ha. Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa 20 kecamatan yang berada di 3 kabupaten/kota yaitu Kota Gorontalo, Kabupaten Gorontalo, dan Kabupaten Bone Bolango diperkirakan akan tergenang banjir yang diakibatkan oleh keruntuhan bendungan.

Tabel 3. Perbandingan hasil analisis karakteristik banjir di lokasi terpilih (*overtopping* dan *piping*)

Kecamatan	Kota/Kabupaten	<i>Overtopping</i>		<i>Piping</i>	
		Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/det)
Bulango Utara	Kabupaten Bone Bolango	27,51	7,04	17,29	6,84
Tapa	Kabupaten Bone Bolango	20,07	3,45	8,82	3,67
Bulango Timur	Kabupaten Bone Bolango	11,72	1,93	4,81	1,79
Bulango Selatan	Kabupaten Bone Bolango	13,58	3,43	7,92	4,72
Tilongkabila	Kabupaten Bone Bolango	3,60	2,45	1,76	1,40
Sipatana	Kota Gorontalo	3,84	2,21	3,65	2,17
Telaga Biru	Kabupaten Gorontalo	4,01	2,22	3,97	2,18
Telaga	Kabupaten Gorontalo	3,94	2,42	4,09	2,28
Telaga Jaya	Kabupaten Gorontalo	2,42	1,38	2,69	1,55
Kota Utara	Kota Gorontalo	6,18	3,54	2,76	2,23
Dungingi	Kota Gorontalo	4,15	1,33	4,36	1,53
Kota Tengah	Kota Gorontalo	2,70	1,87	2,92	2,04
Kabila	Kabupaten Bone Bolango	3,55	1,66	2,67	0,78
Tilango	Kabupaten Gorontalo	1,42	0,82	1,62	1,09
Kota Selatan	Kota Gorontalo	3,03	2,57	2,78	1,37
Botupingge	Kabupaten Bone Bolango	4,54	1,03	3,82	0,77
Kota Timur	Kota Gorontalo	4,50	1,58	4,16	1,16
Kota Barat	Kota Gorontalo	2,95	0,63	3,33	0,53
Hulonthalangi	Kota Gorontalo	3,34	1,14	2,90	1,12
Dumbo Raya	Kota Gorontalo	3,57	1,57	3,15	1,44

(Sumber: Hasil Perhitungan,2022)

Berdasarkan hasil analisis dengan HEC-RAS v6.0, diperoleh Tabel 4 berupa perbandingan nilai kedalaman maksimum dan kecepatan maksimum yang berbeda. Dapat dilihat pada kecamatan yang dekat dengan bendungan, diperoleh bahwa pada kondisi *overtopping* lebih tinggi 10 m dari pada *piping*. Untuk kecepatan maximum banjir, dapat dilihat bahwa kecepatan akibat *overtopping* lebih cepat daripada *piping*. Hal ini dikarenakan keruntuhan bendungan akibat *overtopping* terjadi secara serentak sedangkan keruntuhan akibat *piping* lebih perlahan.

### Kesimpulan dan Saran

#### Kesimpulan

Hasil pemodelan dan analisis terhadap simulasi keruntuhan Bendungan Bulango Ulu, dapat disimpulkan hal-hal berikut di bawah ini:

1. Sebaran banjir yang terjadi akibat keruntuhan Bendungan Bulango Ulu dengan skenario *overtopping* memiliki dampak yang lebih besar daripada skenario *piping*. Hal ini karena keruntuhan bendungan akibat *overtopping* secara serentak sedangkan keruntuhan akibat *piping* lebih perlahan. Pada skenario *overtopping*, genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 43% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,81 m, kecepatan rerata maksimum 1,83 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,50 jam.
2. Pada skenario *piping*, didapatkan bahwa genangan banjir di Kota Gorontalo mencapai 42% dari luas area 7959 ha, dengan kedalaman rerata maksimum banjir 3,33 m, kecepatan rerata maksimum 1,51 m/detik dan waktu tiba banjir rerata adalah 2,66 jam.

## Saran

Beberapa saran dari penelitian ini adalah:

1. Pemodelan aliran akibat keruntuhan sebaiknya menggunakan *terrain* yang berasal dari kontur lebih rapat atau DEM yang lebih akurat.
2. Sebaiknya dilakukan kajian zonasi bahaya pada hasil peta genangan, berikut dengan analisis kerugian ekonomi daerah hilir bendungan.
3. Rekomendasi dari hasil studi ini dapat digunakan dalam penyusunan dokumen rencana tindak darurat (RTD) Bendungan Bulango Ulu dan peta indeks resiko.
4. Untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan perlu adanya sistem peringatan dini (*early warning system*) untuk memberitahu akan timbulnya banjir bandang akibat keruntuhan bendungan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi II dan Direksi Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu yang telah membantu dalam pengambilan data dalam penelitian ini.

## Daftar Referensi

- Aniskurlillah, S. G., Juwono, P. T. & Asmaranto, R., 2014. Aplikasi Zhong Xing HY21 Untuk Analisa Keruntuhan Bendungan Muka Kuning, Batam. *Jurnal Teknik Pengairan*, 5(1), pp. 110-118.
- Arifin, M. & Budiyanto, M. A., 2021. Analisis Keruntuhan Bendungan (DAM Break Analysis) Dalam Upaya Mitigasi Bencana (Studi Kasus di Waduk/Bendungan Tempuran). *CivETech*, 3(1).
- Froehlich, D. C., 1988. *Analysis of On-site Measurement of Scours at Piers*. Hydraulics Engineering – Proceedings of 1988 National Conference, American Society of Civil Engineering, pp. 534-539.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022. *Percepat Pembangunan Bendungan Bolango Ulu di Gorontalo, Kementerian PUPR Jamin Suplai Air Baku dan Irigasi Saat Kemarau*. [Online] Available at: <https://pu.go.id/berita/percepat-pembangunan-bendungan-bolango-ulu-di-gorontalo-kementerian-pupr-jamin-suplai-air-baku-dan-irigasi-saat-kemarau#> [Accessed 24 Juni 2022].
- Riyanto, B. A., 2017. Teori Keruntuhan Bendungan (DAM-BREACH). *Fakultas Teknik Sipil, Universitas Parahyangan, Bandung*.
- Silvia, C. S. & Azwanda, 2020. Analisis Gerusan Lokal dengan Metode Colorado State University (CSU) Dan Metode Froehlich. *Jurnal Teknik Sipil*, 6 (2), pp. 20-29.
- Soedibyo, 2003. Teknik Bendungan. In: Jakarta: PT. Pradnya Paramita, p. 3.
- Taruna, D. A., Adityawan, M. B., Nugroho, J. & Harlan, D., 2020. Analisis Penelusuran Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Kuningan.
- US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center, 2014. Using HEC-RAS for Dam Break Studies. pp. 7-12.