

Analisis Perilaku Banjir Bandang Akibat Keruntuhan Bendungan Alam pada Daerah Aliran Sungai Krueng Teungku Provinsi Aceh

Azmeri

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111
E-mail: azmeri@unsyiah.ac.id, fian_7anur@yahoo.com

Alfiansyah Yulianur

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
E-mail: fian_7anur@yahoo.com

Vina Listia

Alumni Magister Teknik Sipil FT Universitas Syiah Kuala
E-mail: pipin_0809@yahoo.co.id

Abstrak

Selama lima belas tahun terakhir telah terjadi tiga kejadian bencana banjir bandang (Tahun 1987, 2000, dan 2013) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Teungku. Kejadian tanggal 2 Januari 2013 menimbulkan dampak besar pada Desa Beureuneut Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku banjir bandang akibat keruntuhan bendungan alam dengan melakukan simulasi permodelan keruntuhan bendungan. Metodologi penelitian meliputi analisis hidrologi berdasarkan hujan ekstrim pada tanggal kejadian sebesar 125 mm yang menghasilkan debit puncak banjir sebesar 334,83 m³/dt. Analisis hidraulika dilakukan terhadap geometrik sungai, bendungan alam dengan pendekatan topografi dan mengestimasi koefisien kekasaran manning. Simulasi pemodelan banjir bandang akibat keruntuhan bendungan alam ini menggunakan software HEC-RAS 4.1.0 yang diakibatkan oleh overtopping dan piping. Berdasarkan validasi elevasi banjir antara pemodelan dan observasi di lapangan, keruntuhan bendungan alam di Sungai Krueng Teungku akibat overtopping. Dari hasil simulasi diperoleh waktu tiba banjir dari hulu ke hilir adalah sebesar 1,104 jam. Volume pembendungan alam sebesar 13.110,32 m³ yang menyebabkan ketinggian genangan banjir di hilir antara 1 sampai 2 meter. Kejadian ini menimbulkan kerugian di wilayah pemukiman, perkebunan masyarakat dan tambak. Dengan adanya informasi perilaku banjir bandang ini berguna untuk meningkatkan kapasitas untuk meminimalisir dampak bencana banjir bandang.

Kata-kata Kunci: Banjir bandang, Bendungan alam, DAS Krueng Teungku, Overtopping, Piping.

Abstract

In the period of the last fifteen years, there has occurred three times of the flood disasters (in the year of 1987, 2000, and 2013) at the watershed of Krueng Teungku. Incident on January 2nd, 2013 gave a big impact on Beureuneut village at Seulimeum sub-district of Aceh Besar regency. This study aims to analyze flash flood behavior due to the collapse of the natural dam by performing the dam-break simulation model. The research methodology includes analysis of hydrological based on extreme rainfall on the date of occurrence about 125 mm which produced discharge flood peak as high as 334.83 m³/sec. Hydraulics analysis conducted on the geometry of the river, natural dam with topographical and manning's roughness coefficient estimate approaches. The flash floods modeling simulation as result of the natural dam break caused by overtopping and piping uses HEC-RAS 4.1.0 software. Based on the validation of the flood elevation between modeling and field observations, natural dam of Krueng Tengku was collapsed due to overtopping. The result of simulation obtains the arrival time of the flood from upstream to downstream about 1,104 hours. Volume damming about 13.110,32 m³ resulted in inundation height between 1 to 2 meters. These losses are in residential areas, plantations and farm communities. Flood behavior information is useful to enhance the capacity to minimize the impact of flash flood disasters.

Keywords: Flash flood, Natural dam, Krueng teungku watershed, Overtopping, Piping.

1. Pendahuluan

Bencana merupakan peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengganggu kehidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam, non-alam maupun faktor manusia. Salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia adalah banjir bandang. Bencana banjir bandang merupakan peristiwa banjir cepat, yang ditandai dengan waktu puncak hidrograf banjir yang kurang dari 6 (enam) jam. Banjir bandang merupakan bencana yang paling besar menyebabkan kematian di Amerika Serikat. Banjir bandang sering terjadi di daerah pegunungan dengan lereng yang curam dan memiliki Daerah Aliran Sungai (DAS) kecil yang menyebabkan respon curah hujan - limpasan pendek, serta dapat memicu terjadinya tanah longsor (Tao and Barros, 2013).

Badai hujan ekstrim (*extreme rainstorms*) di hulu DAS dapat memicu terjadinya banjir bandang. Selain karakter hidrologi, kejadian ini juga dipengaruhi oleh fitur geomorphometric dan geoteknik dari lereng, bahan sumber erosi dan ketersediaan sedimen. Pemahaman tentang hidro-respon geomorfik lereng dan sistem saluran untuk berbagai jenis curah hujan ekstrim adalah kunci untuk mengidentifikasi dampak penggunaan lahan dan perubahan iklim (Borga, et. al, 2014).

Selain akibat terjadinya kelongsoran tebing sungai, lembah sungai dapat dibendung oleh obstruksi vulkanik sehingga terjadi pembentukan bendungan alam. Curah hujan dan gempa bumi adalah dua pemicu utama kegagalan bendungan alam. Perubahan iklim yang mendorong terjadinya curah hujan ekstrim, telah meningkatkan frekuensi banjir bandang, tanah longsor, dan mengangkat kemungkinan sekunder bencana dari bendungan alam (Chen, et. al, 2015).

Banjir bandang telah berulang kali terjadi di Provinsi Aceh. Dari 3 bencana terakhir adalah bencana banjir bandang terjadi di Kecamatan Tangse Kabupaten Pidie pada tanggal 10 Maret 2011, di Kecamatan Leuser Aceh Tenggara pada tanggal 17 Agustus 2012, di Kecamatan Seulimum Kabupaten Aceh Besar pada tanggal 2 Januari 2013. Banjir bandang yang terjadi di Gampong Beureuneut berasal dari volume air yang besar dari DAS Krueng Teungku. Kejadian tersebut diakibatkan oleh jebolnya bendungan alam di Sungai Krueng Teungku yang terbentuk oleh material tebing sungai yang longsor akibat curah hujan yang tinggi.

Keruntuhan bendungan biasanya diawali dengan rekahan yang terbentuk pada tubuh bendungan yang sebenarnya mekanisme tidak begitu dipahami baik untuk bendungan urugan tanah maupun beton. Upaya sebelumnya pernah dilakukan peneliti yang menganggap tubuh bendungan runtuh seluruhnya, serentak dan sesaat. Untuk meramal banjir di hilir akibat keruntuhan bendungan, biasanya dianggap bendungan runtuh total dan mendadak (Kurniawan, 2012). Dan menurut Franz et. al, (2010), empat elemen penting dari setiap analisis keruntuhan bendungan antara lain: Pendugaan paramete-

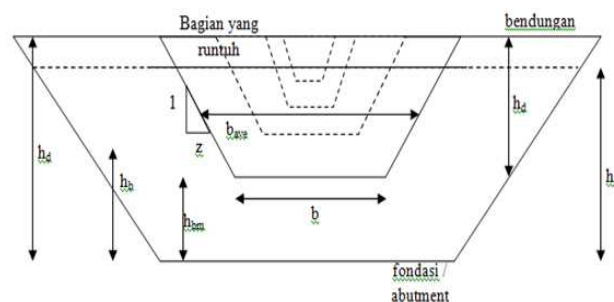
ter keruntuhan (ukuran, bentuk dan waktu keruntuhan), 2) Keruntuhan debit puncak dan estimasi hidrograf keruntuhan, 3) Penelusuran banjir, 4) Estimasi kondisi hidrolis di lokasi kritis.

Bencana banjir besar dapat menjadi sebuah bencana baru bila sebuah bendungan mengalami keruntuhan. Air yang tertampung oleh bendungan akan mengalir menuju hilir bendungan dengan karakteristik debit yang sangat besar serta kecepatan yang tinggi. Bila kapasitas tampung alur sungai tidak mampu menampung aliran maka air akan meluap ke arah kanan dan kiri dari alur sungai dan dapat menggenangi daerah hilir bendungan yang umumnya padat penduduk. Analisis lanjutan perlu dilakukan terhadap sebaran wilayah tergenang, tinggi muka air genangan, dan cepat rambat aliran banjir (*flood travel time*). Dengan analisis tersebut maka dapat diketahui risiko bencana pada wilayah-wilayah yang terkena dampak bencana (Wirustyastuko dan Nugroho, 2013).

Berdasarkan uraian di atas, maka studi tentang analisis perilaku banjir bandang akibat keruntuhan bendungan alam Krueng Teungku perlu dilakukan, untuk mengantisipasi ancaman bahaya keruntuhan bendungan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter-parameter yang mempengaruhi keruntuhan bendungan alam Krueng Teungku. Analisis keruntuhan bendungan alam untuk mendapatkan perilaku banjir yang menggambarkan genangan dan waktu tiba gelombang banjir ke arah hilir khususnya ke Desa Beureuneut yang merupakan daerah terparah akibat bencana banjir bandang. Kejadian banjir bandang pada tanggal 02 Januari 2013 sebagai validasi genangan banjir hasil running program HEC-RAS 4.1.0 dengan kenyataan di lapangan.

2. Parameter Keruntuhan Bendungan Alam

Menurut Kurniawan (2012) keruntuhan bendungan diawali dengan rekahan (*breach*) yang terbentuk pada tubuh bendungan. Rekahan adalah bukaan yang terbentuk pada proses jebolnya tubuh bendungan. Parameter keruntuhan bendungan yang mempengaruhi sifat hidrograf banjir yang ditimbulkan tepat di sebelah hilir bendungan dapat disederhanakan terdiri dari durasi proses keruntuhan (τ), lebar dasar bukaan bagian yang runtuh (b), dan kemiringan lereng bentuk bukaan (z) seperti yang diberikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Model proses keruntuhan bendungan
Sumber: Kurniawan (2012)

Lebar dasar rekahan yang berhubungan dengan lebar rekahan rata-rata, kedalaman rekahan dan kemiringan lereng rekahan diberikan pada persamaan berikut ini:

$$b_{ave} = b + z h_d \quad (1)$$

dengan:

b_{ave} = lebar rekahan rata-rata;
 b = lebar dasar rekahan;
 z = kemiringan lereng rekahan; dan
 h_d = kedalaman rekahan

Elevasi dasar bukaan keruntuhan yang dimodelkan merupakan fungsi waktu τ dengan persamaan berikut ini:

$$h_b = h_d - (h_d - h_{bm})(t_b/\tau)^\rho \quad \text{untuk } 0 < t_b \leq \tau \quad (2)$$

dengan:

h_b = tinggi dasar bukaan keruntuhan;
 h_{bm} = tinggi dasar rekahan dari dasar bendungan;
 t_b = selang waktu sejak rekahan terbentuk;
 τ = waktu interval keruntuhan; dan
 ρ = parameter derajat non linier pembentukan rekahan (jika $\rho=1$ untuk laju pertumbuhan rekahan linier dan $\rho=2$ untuk laju pertumbuhan rekahan kuadrat linier).

Dengan pola yang sama lebar dasar bukaan keruntuhan b , dirumuskan pada persamaan berikut ini:

$$b_i = b (t_b/\tau)^\rho \quad \text{for } 0 < t_b < \tau \quad (3)$$

dengan:

b_i = lebar bukaan rekahan.

Dari beberapa data statistik diperoleh perkiraan harga b_{ave} dan τ yang ditunjukkan dalam literatur. Berdasarkan Salukh (2002) diperoleh persamaan berikut ini:

$$b_{ave} = 9,5 k_o (V_r h_d)^{0,25} \quad (4)$$

$$\tau = 0,8 (V_r/h_d^2)^{0,5} \quad (5)$$

dengan:

b_{ave} = lebar rata-rata rekahan;
 k_o = koefisien;
 V_r = volume waduk (arce-ft); dan
 h_d = tinggi bendungan (ft).

Cara untuk memeriksa apakah nilai parameter keruntuhan (b_{ave} dan τ) yang dipilih sudah cukup realistis dianalisis dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_p^* = 370 (V_r h_d)^{0,5} \quad (6)$$

$$Q_p = 3,1 b_{ave} \left(\frac{C}{\tau + C/\sqrt{h_d}} \right)^3 \quad (7)$$

$$C = 23,4 (A_s/b_{ave}) \quad (8)$$

dengan:

Q_p^* dan Q_p = debit puncak yang mengalir melalui rekahan (cfs);

V_r = volume waduk (arce-ft);

h_d = tinggi bendungan (ft); dan

$c = 23,4 A_s/b_{ave}$, dengan A_s adalah luas permukaan waduk pada elevasi puncak bendungan (acre).

3. Metode dan Syarat Batas Pemodelan

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dimaksudkan untuk menentukan hidrograf banjir inflow ke waduk berupa debit puncak yang mengakibatkan bendungan mengalami *overtopping/piping*. Input debit puncak berdasarkan data hujan ekstrim harian yang terjadi pada hulu DAS Krueng Teungku pada tanggal 02 Januari 2013 yaitu sebesar 125 mm. Data hujan harian tersebut berasal dari BMKG Indrapuri pada pos hujan 23 (BBI Saree, Aceh Besar).

2. Analisis Spasial

Analisis spasial dimaksudkan untuk menganalisis peta DEM (*Digital Elevation Model*) dan Rupa Bumi Indonesia (RBI) sebagai inputan dalam simulasi keruntuhan bendungan, sebagai analisis volume tampungan/pembendungan alam, dan juga sebagai batasan wilayah studi yaitu DAS Krueng Teungku.

3. Penentuan Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Pada penelitian ini nilai koefisien kekasaran Manninf diasumsikan sama di sepanjang sungai berdasarkan interpretasi situasi Sungai Krueng Teungku pasca kejadian banjir bandang. Menurut Asdak (2002) saluran alam tanpa vegetasi dan dasar saluran berkerikil mempunyai Manning rata-rata sebesar 0,040 (sesuai dengan kondisi pada alur Sungai Krueng Teungku).

4. Masukan syarat batas (*boundary condition*) dalam penelitian ini terdiri dari 4 syarat batas dan 1 kondisi awal (*initial condition*) dan 1 (satu) kondisi awal (*initial condition*) yaitu sebagai berikut:

- a. *Flow hidrograf* dengan mengasumsi debit banjir mulai naik pada pukul 16.00 wib sesuai dengan asumsi dimulainya waktu kejadian hujan;
- b. *Normal depth (friction slope)* yakni sesuai dengan kemiringan dasar pada penampang melintang batas hilir *River Station* (RS 0) sebesar 0,091;

- c. *Setting* waktu dan tinggi bukaan (*gate*) pada bendungan alam yaitu pada pukul 16.00 wib mulai terbukanya *gate*;
 - d. Lateral inflow tepat di hilir bendungan alam yakni pada RS 22 dan RS 30 yaitu dengan memasukkan data *lateral inflow* dengan cara coba-coba yaitu 0,90 m³/dt pada simulasi waktu dari pukul 16.00 sampai dengan pukul 21.00 wib; dan
 - e. Kondisi awal: debit banjir yang terjadi pada tanggal 02 Januari 2015 sebesar 334,83 m³/dt.
5. Analisis Parameter dan Penelusuran Perilaku Banjir Bandang Akibat Keruntuhan Bendungan

Analisis penelusuran perilaku banjir bandang menggunakan software HEC-RAS 4.1.0 untuk mengetahui pengaruh keruntuhan bendungan alam terhadap daerah hilir sehingga perilaku banjir di daerah hilir dapat diketahui antara lain: cepat rambat aliran banjir (*flood travel time*) dan keting-

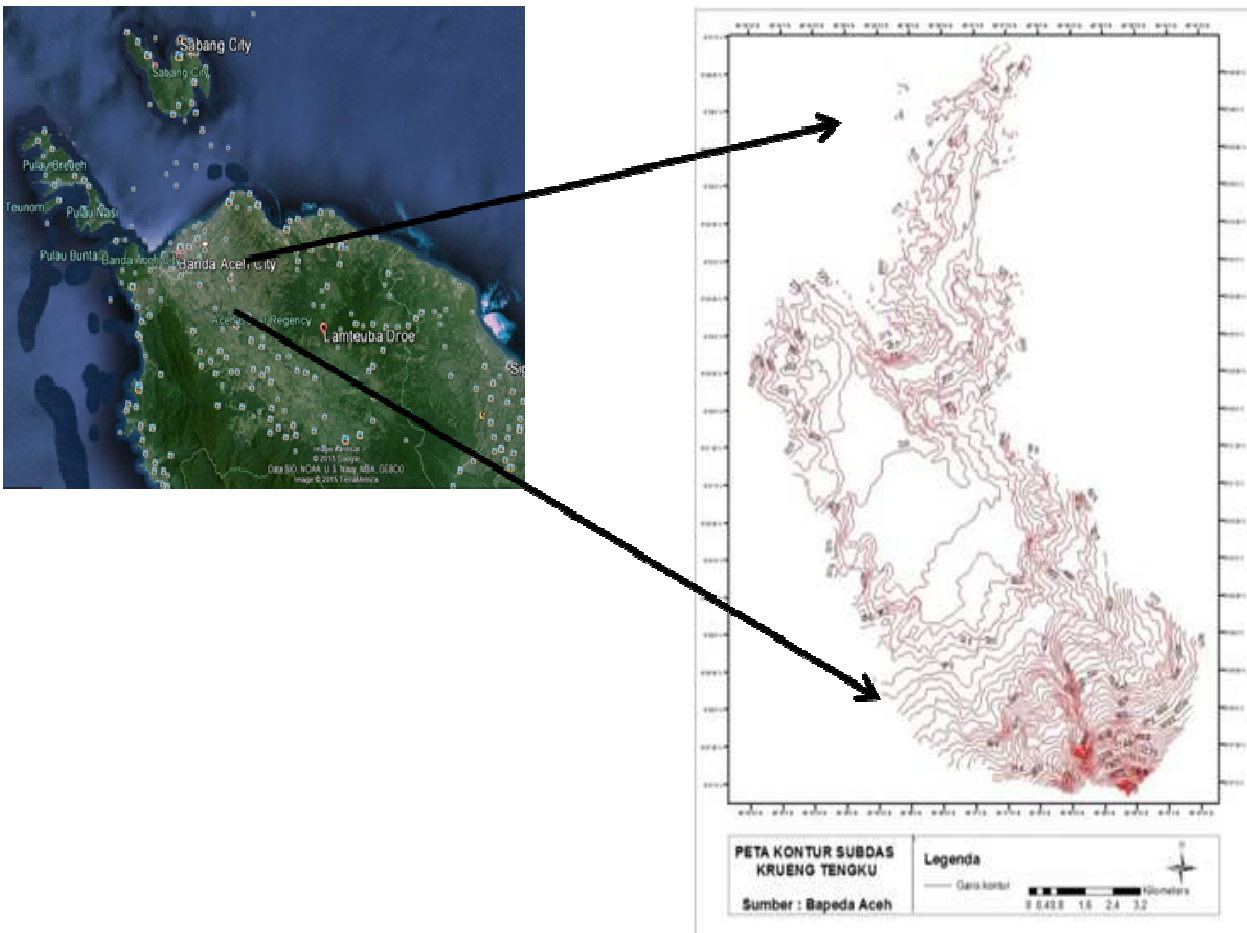
gian air pada wilayah tergenang. Untuk simulasi keruntuhan bendungan alami Krueng Teungku dilakukan dua skenario, yaitu keruntuhan akibat *overtopping* dan *piping*.

4. Hasil dan Diskusi

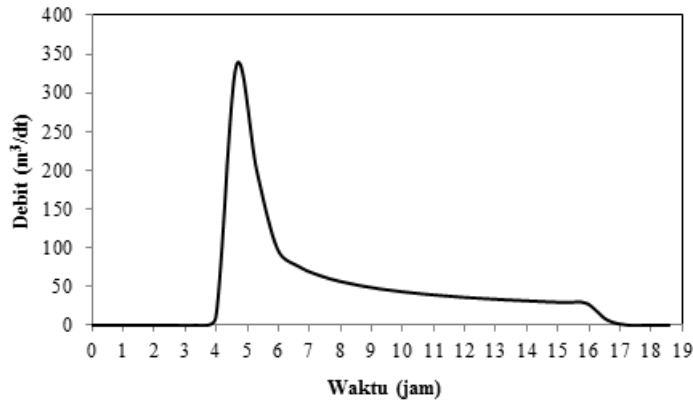
Lokasi penelitian berada pada DAS Krueng Teungku Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh. Secara geografis DAS Krueng Tengku berada pada koordinat 5°26'40'' – 5°38'20''LU dan 95°32'30'' – 95°40'50'' BT (**Gambar 2**).

4.1 Analisis hidrologi

Berdasarkan hujan ekstrim harian yang terjadi pada hulu DAS Krueng Teungku pada tanggal 02 Januari 2013 yaitu sebesar 125 mm menghasilkan debit puncak maksimum sebesar 334,83 m³/dt dengan waktu puncak pada waktu 4,65 jam. Hasil plot hidrograf banjir pada tanggal 2 Januari 2013 dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Daerah studi pada DAS Krueng Teungku
Sumber: Bappeda Provinsi Aceh (2014)



Gambar 3. Hidrograf banjir dari hujan 2 Januari 2013 di DAS Krueng Teungku

4.2 Analisis parameter keruntuhan bendungan alam

Pada kasus keruntuhan bendungan alam Krueng Teungku perkiraan tebing sungai yang longsor berdasarkan hasil survey lapangan. Alur dari tebing sebelah kanan sungai dengan lebar 2 meter, tinggi puncak tebing ± 5,2 meter dari dasar sungai, dan kemiringan lereng tebing sungai sebesar >45° sehingga memungkinkan terjadi longsor tebing Sungai Krueng Teungku tersebut. Hasil observasi lapangan terpantau bahwa kemungkinan tinggi bendungan alam yang terbentuk oleh longsor dan material-material lain yakni pada kisaran 2,25 meter dan lebar lereng sungai adalah 2,42 m, maka diperoleh panjang sisi miring lereng adalah sebesar 3,30 m. Lebar sungai pada posisi pembendungan alami tinjauan lapangan dan interpretasi dari data DEM terdapat lebar dasar sungai selebar 27 m.

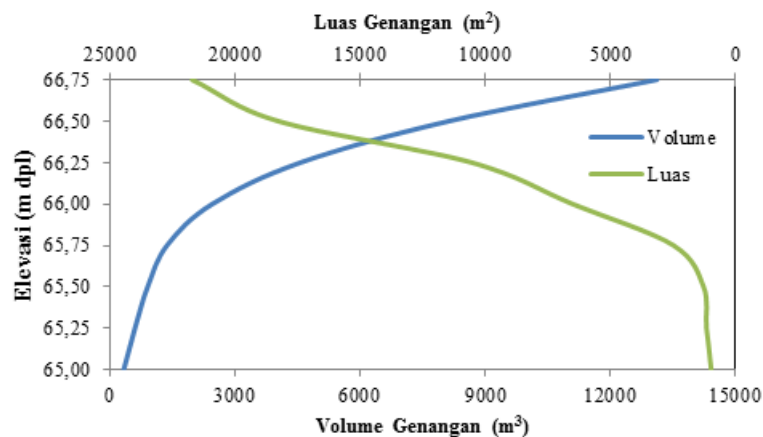
Mekanisme keruntuhan bendungan diawali dengan penentuan parameter keruntuhan yakni lebar dasar rekahan (b), kemiringan lereng rekahan (z) dan durasi keruntuhan (τ). Nilai b dianggap sama dengan lebar lembah sungai yakni 27 meter, nilai z merupakan hasil kemiringan lereng sungai sebesar 3,30 meter.

4.2.1 Karakteristik volume tampungan bendungan alam

Karakteristik volume tampungan di hulu bendungan alam diperoleh dari peta topografi. Peta kontur topografi dikonversi menjadi *Raster Dataset* dan dengan menggunakan *software ArcGis 9.3* dapat diinterpretasikan hubungan antara elevasi muka air dengan luas permukaan genangan dan volume air di hulu bendungan alam. Volume tampungan air oleh bendungan alam pada elevasi muka air maksimum (+66,75 m dpl) diperoleh luas genangan sebesar 21.733,14 m² dan volume tampungan sebesar 13.110,32 m³ (Gambar 4).

4.2.2 Parameter keruntuhan bendungan alam

Keruntuhan bendungan alam diasumsikan diakibatkan oleh *overtopping* dan *piping*. *Overtopping* yaitu elevasi muka air di hulu bendungan alam melebihi elevasi mercu sehingga air melimpas melewati mercu bendungan. Sedangkan *piping* yaitu air sungai yang terbendung oleh bendungan alam, dapat mengalir ke dalam tanah menyusur dasar dan dinding bendungan alam.



Gambar 4. Lengkung karakteristik elevasi, volume tampungan dan luas genangan bendungan alam DAS Krueng Teungku

a. Akibat overtopping

Hasil perhitungan parameter keruntuhan bendungan alam akibat *overtopping* dihasilkan bahwa lebar rekahan keruntuhan rata-rata 90 ft dan durasi keruntuhan yaitu 0,10 jam atau 6,02 menit menghasilkan lebar dasar rekahan 65,64 ft atau 20 m. Hasil tinggi dasar bukaan keruntuhan terlihat pada **Tabel 1**.

b. Akibat piping

Hasil perhitungan parameter keruntuhan bendungan alam akibat *piping* dihasilkan bahwa lebar rekahan keruntuhan rata-rata 70 ft dan durasi keruntuhan yaitu 0,04 jam atau 2,39 menit menghasilkan lebar dasar rekahan 70 ft atau 21 m. Hasil tinggi dasar bukaan keruntuhan terlihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Pertumbuhan lebar bukaan akibat overtopping

t_b (jam)	h_b (ft)	b_i (ft)
0,000	7,38	0,00
0,01	6,81	6,54
0,02	6,24	13,09
0,03	5,66	19,63
0,04	5,09	26,17
0,05	4,52	32,72
0,06	3,95	39,26
0,07	3,38	45,80
0,08	2,80	52,34
0,09	2,23	58,89
0,10	1,66	65,64

4.3 Hasil perilaku banjir bandang akibat keruntuhan bendungan alam

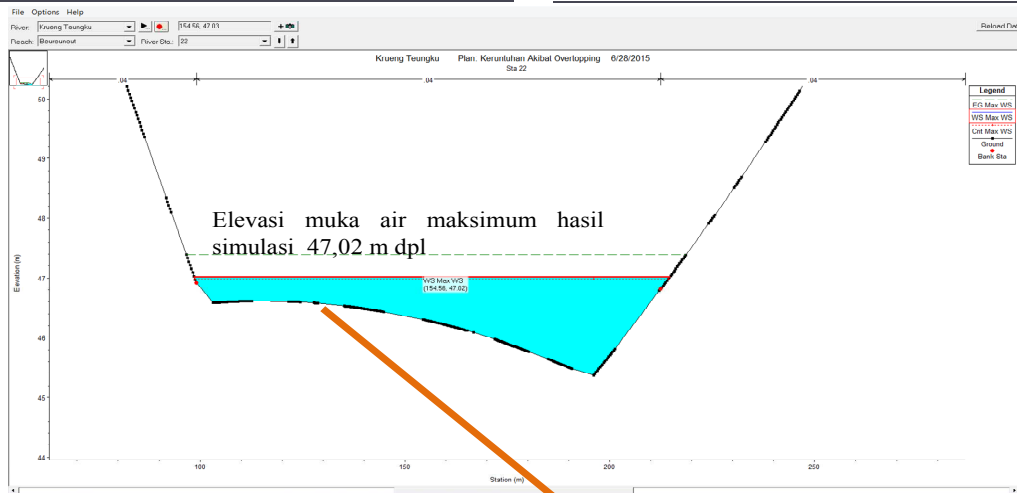
Perilaku banjir bandang ditinjau mulai dari posisi pembendungan alami sampai ke hilir yang merupakan permukiman dan tambak masyarakat. Tinjauan kondisi rambatan terhadap profil muka air, debit puncak banjir, kecepatan maksimum dan waktu tiba banjir bandang ke lokasi tinjauan.

4.3.1 Rambatan banjir bandang

Rambatan banjir bandang dilihat dari pengukuran di lapangan dari hulu ke hilir. Gambaran situasi pada lokasi tanda bekas banjir di 2 (dua) titik control. Elevasi muka air maksimum yang diperoleh dari hasil simulasi dan hasil observasi selengkapnya diberikan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

Tabel 2. Pertumbuhan lebar bukaan akibat piping

t_b (jam)	h_b (ft)	b_i (ft)
0,000	6,56	0,00
0,005	5,94	8,79
0,010	5,33	17,57
0,015	4,71	26,36
0,020	4,09	35,14
0,025	3,47	43,93
0,030	2,86	52,71
0,035	2,24	61,50
0,040	1,62	70,00



Elevasi bekas tinggi banjir 49,00 m dpl (GPS)

Elevasi muka tanah di sungai 47,00 m dpl (GPS)

Gambar 5. Hasil kesesuaian data elevasi muka air maksimum terhadap elevasi bekas banjir (Titik Kontrol 1)

Hasil kesesuaian tersebut berada pada RS 22 yang berjarak $\pm 1,51$ km di hilir bendungan alam. Lokasi ini cukup jauh yang berjarak $\pm 4,82$ dari pemukiman penduduk. Berdasarkan **Gambar 5** diperlihatkan bahwa hasil simulasi di titik kontrol 1 menunjukkan perbandingan yang mendekati dengan data terukur dengan ketinggian elevasi muka tanah di sungai ke elevasi bekas tinggi banjir sekitar 2 m. Sesuai hasil simulasi pada saat observasi lapangan, menunjukkan adanya kesesuaian elevasi muka air pada saat kejadian dengan elevasi muka air hasil simulasi. Hasil kesesuaian tersebut berada pada RS 22 yang berjarak $\pm 1,51$ km di hilir bendungan alam. Lokasi ini cukup jauh yang berjarak $\pm 4,82$ dari pemukiman penduduk. Berdasarkan **Gambar 5** diperlihatkan bahwa hasil simulasi di titik kontrol 1 menunjukkan perbandingan yang mendekati dengan data terukur dengan ketinggian elevasi muka tanah di sungai ke elevasi bekas tinggi banjir sekitar 2 m. Sesuai hasil simulasi pada saat observasi lapangan, menunjukkan adanya kesesuaian elevasi muka air pada saat kejadian dengan elevasi muka air hasil simulasi.

Posisi titik kontrol 2 terletak pada RS 02 yang berjarak 6,33 km di hilir bendungan alam dan merupakan daerah pemukiman penduduk Gampong Beureunut. Hasil simulasi di titik kontrol 2 (**Gambar 6**) menunjukkan

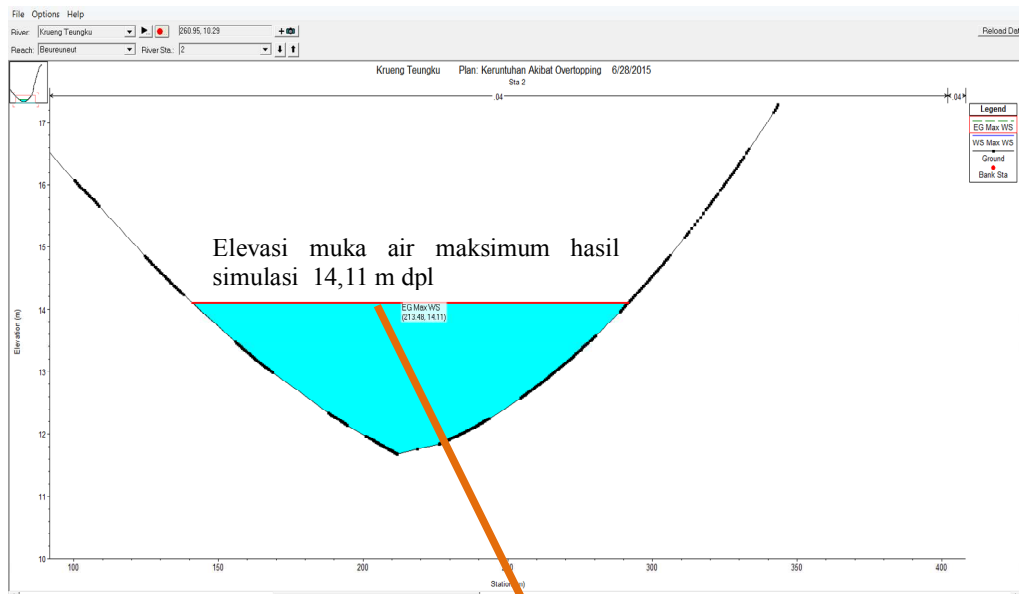
perbandingan yang dianggap mendekati dengan data terukur dengan ketinggian elevasi muka tanah di sungai ke elevasi bekas tinggi banjir adalah 1-1,5 m. Sesuai hasil simulasi pada saat observasi lapangan dan keterangan penduduk setempat, menunjukkan adanya kesesuaian elevasi muka air pada saat kejadian dengan elevasi muka air hasil simulasi.

4.3.2 Validasi dengan tinggi banjir

Validasi data observasi lapangan dan tinggi elevasi genangan akibat *overtopping* dan *piping* terlihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Validasi elevasi banjir model dan observasi

River Station	Posisi	Elevasi Tinggi Genangan (m dpl)		
		Keruntuhan Bendungan		Observasi
		Overtopping	Piping	
27	Bendungan Alam	67,22	68,68	66,75
22	Tengah	47,02	46,96	49,00
02	Hilir (Pemukiman)	14,11	16,56	19,50



Elevasi bekas tinggi banjir 19,50 m dpl (GPS)

Elevasi muka tanah 18,00 m dpl (GPS)

Gambar 6. Hasil kesesuaian data elevasi muka air maksimum terhadap elevasi bekas banjir (Titik Kontrol 2)

Tabel 3. Menunjukkan bahwa banjir bandang yang mengakibatkan keruntuhan bendungan alam di Krueng Teungku dapat disebabkan oleh *overtopping* dan *piping*. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan pengukuran di lapangan, maka elevasi tinggi genangan di validasi. Hasil validasi antara elevasi tinggi genangan antara keruntuhan bendungan akibat *overtopping* dan *piping* dengan observasi di lapangan adalah dapat dilihat pada **Gambar 7. Tabel 3.** Menunjukkan bahwa banjir bandang yang mengakibatkan keruntuhan bendungan alam di Krueng Teungku dapat disebabkan oleh *overtopping* dan *piping*. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan pengukuran di lapangan, maka elevasi tinggi genangan di validasi. Hasil validasi antara elevasi tinggi genangan antara keruntuhan bendungan akibat *overtopping* dan *piping* dengan observasi di lapangan adalah dapat dilihat pada **Gambar 7.**

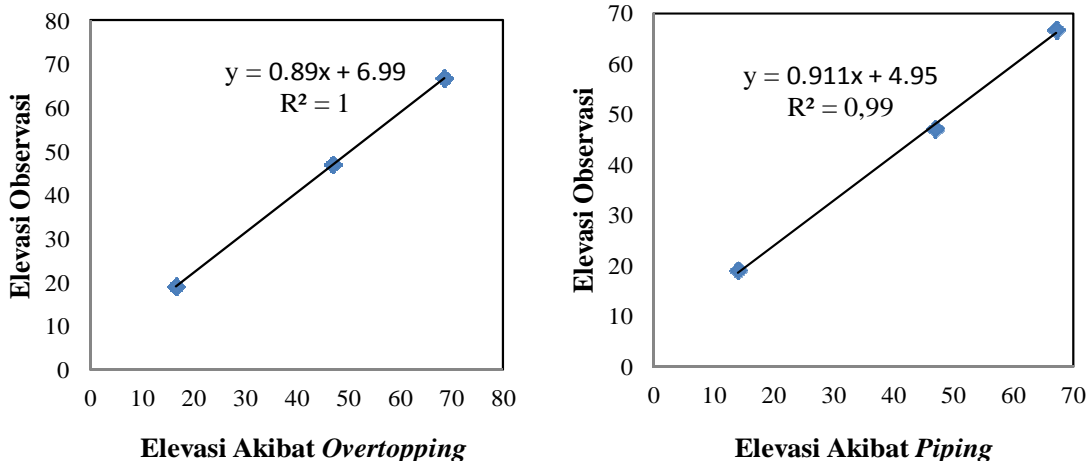
Uji kedekatan atau kecocokan data hasil analitis dan observasi dengan menggunakan koefisien determinasi menghasilkan nilai yang hampir sama dan mendekati 1. Hal ini memberikan informasi bahwa estimasi ketelitian penelitian yang merupakan faktor dari lebar rekahan rata-rata (b_{ave}), durasi keruntuhan (τ), dan lebar rekahan (b) hampir menyamai kondisi lapangan. Koefisien determinasi yang diperoleh dari pemodelan akibat *overtopping* lebih besar dibandingkan akibat *piping*. Kondisi yang mendukung adanya keruntuhan akibat *overtopping* juga terlihat pada hasil penelusuran banjir melewati pelimpah (+67,22 m dpl) menunjukkan bahwa debit puncak banjir yang lewat melebihi puncak bendungan alam (+66.75 m dpl), sehingga terjadi *overtopping* pada bendungan alam Krueng Teungku.

Rekapitulasi hasil simulasi banjir bandang yang memberikan informasi profil muka air, besarnya debit puncak yang terjadi, kecepatan maksimum penjaralan aliran banjir, dan durasi tibanya banjir pada setiap stasiun pengukuran diberikan pada **Tabel 4.**

Dari hasil **Tabel 4** terlihat bahwa debit puncak banjir membesar setelah pembendungan (RS 27) yang menunjukkan adanya air yang tertahan oleh bendungan alam sebelumnya dan sesuai dengan keadaan di lapangan begitu juga dengan profil muka air yang semakin turun dari hulu ke hilir. Kecepatan aliran di beberapa stasiun pengamatan berbeda-beda dikarenakan perbedaan luas potongan melintang sungai dari pengamatan dan kemiringan topografi di lapangan. Kecepatan aliran air banjir bandang dari hulu ke hilir sebesar 15,12 m/dt. Jarak yang diberikan adalah jarak dari bendungan alam dimana panjang sungai dari bendungan alam ke hilir adalah 6,720 km. Waktu yang ditampilkan adalah waktu tiba air dari bendungan alam ke hilir adalah selama 1,104 jam.

5. Kesimpulan

1. Volume pembendungan, luas tampungan dan tinggi bendungan alam merupakan parameter yang berpengaruh dalam menentukan lebar rekahan rata-rata (b_{ave}) dan durasi keruntuhan (τ) serta menghasilkan lebar rekahan (b);
2. Adanya pembendungan pada Sungai Krueng Teungku, membentuk tampungan dan menaikkan elevasi muka air menyebabkan semakin besar beda energinya terhadap sisi hilir. Debit puncak banjir membesar setelah pembendungan (RS 27) yang menunjukkan adanya air yang tertahan oleh bendungan alam sebelumnya dan sesuai dengan keadaan di lapangan, begitu juga dengan profil muka air yang semakin turun dari hulu ke hilir.
3. Simulasi kejadian banjir bandang 2 Januari 2013 akibat keruntuhan bendungan alam di DAS Krueng Teungku Kabupaten Aceh Besar diakibatkan oleh *overtopping*, dengan jarak antara bendungan alam ke hilir sungai adalah 6,720 km dengan waktu tiba banjir selama 1,104 jam. Ketinggian genangan banjir pada daerah hilir yang merupakan wilayah pemukiman, perkebunan masyarakat dan tambak, antara 1 sampai 2 meter.



Gambar 7. Hasil validasi tinggi genangan akibat *overtopping* dan *piping* dengan observasi

Tabel 4. Rekapitulasi hasil simulasi banjir bandang

<i>River Station</i>	Jarak dari Bendungan Alam (km)	Profil Muka Air (m dpl)	Debit Puncak Banjir (m ³ /dt)	Kecepatan Maksimum (m/dt)	Waktu Tiba Banjir Bandang (jam)
26	0,34	61.37	358,51	0,23	0,416
25	0,69	54.00	366,28	0,27	0,575
24	1,07	55.20	487,95	0,49	0,681
23	1,30	55.20	1213,91	0,64	0,870
22	1,51	47.02	1451,30	3,50	0,879
21	1,69	44.30	1509,92	3,72	0,887
20	1,88	40.91	1492,88	3,74	0,904
19	2,10	38.94	1892,30	3,98	0,933
18	2,33	38.93	2216,51	4,31	0,954
17	2,59	36.77	2475,74	4,73	0,967
16	2,78	36.76	2661,70	4,87	0,986
15	2,95	36.76	2786,79	4,96	1,003
14	3,13	34.25	2868,55	5,11	1,017
13	3,36	30.01	2909,18	5,14	1,030
12	3,55	26.58	2916,67	5,21	1,036
11	3,73	25.91	3016,48	5,62	1,043
10	3,96	25.88	3029,40	7,62	1,044
9	4,23	25.96	3042,14	7,65	1,053
8	4,55	25.96	3072,18	7,69	1,063
7	4,71	25.95	3068,59	7,72	1,067
6	4,93	23.52	3265,90	10,00	1,071
5	5,14	15.61	3477,04	10,29	1,078
4	5,59	15.61	3706,32	10,78	1,086
3	6,03	14.75	3800,35	11,10	1,090
2	6,33	14.11	3848,20	11,17	1,096
1	6,56	14.69	3996,44	11,35	1,102
0	6,72	7.24	4147,11	15,12	1,104

4. Penulis menyadari bahwa penelitian ini menggunakan beberapa asumsi dan mengikuti data yang ada yaitu data topografi Bakosurtanal dan RBI dalam melakukan simulasi akibat keterbatasan data dan informasi yang terukur. Hambatan pada data topografi adalah keterbatasan interval kontur pada peta digital RBI Bakosurtanal.

Daftar Pustaka

Asdak, C., 2002, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,.

Bappeda Provinsi Aceh, 2014, *Sistem Informasi dan Manajemen Bappeda*, Banda Aceh.

Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., Jakob, M., 2014, Hydrogeomorphic Response to Extreme Rainfall in Headwater Systems: Flash Floods and Debris Fows, *Journal of Hydrology* 518, p.194–205.

Chen, S. C., Lin, T. W., Chen, C.Y., 2015, *Modeling of Natural dam Failure Modes and Downstream Riverbed Morphological Changes with Different Dam Materials in a Fume Test*, Engineering Geology 188, p.148–158.

Franz, J., Blair, John G., Gavin, Matt., McCormick, Bill., 2010. Guidelines for Dam Breach Analysis, State of Colorado: Office of The State Engineer Dam Safety Bransh.

- Kurniawan, Y.T., 2012. *Simulasi 1-D Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Alam (Studi Kasus Bencana Banjir Bandang Di Sungai Kaliputih Kabupaten Jember Tahun 2006)*, Yogyakarta: Tesis Magister Pengelolaan Bencana Alam, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Salukh, F.I., 2002, Analisis Penelusuran Banjir akibat Keruntuhan Bendungan (Studi Kasus pada Bendungan Tilong, di Kabupaten Kupang, Propinsi NTT), Yogyakarta: Tesis Magister Pengelolaan Bencana Alam, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Tao, J., and Barros, A.P., 2013, Prospects for Fash Food Forecasting in Mountainous Regions - An Investigation of Tropical Storm Fay in the Southern Appalachians, *Journal of Hydrology* 506, p. 69–89.
- Wirustyastuko, D. dan Nugroho, J., 2013, Analisis Wilayah Tergenang dan Perilaku Banjir pada Simulasi Kegagalan Bendungan Ciawi, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Bandung, Vol. 20 No. 2, halaman 129-140.