

# ANALISA KERUNTUHAN BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK

**Pradoko Indra Purwanto<sup>1</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>, Runi Asmaranto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pengawas Pengairan Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Magetan,

<sup>2</sup>Dosen Fakultas Teknik Jurusan Pengairan.

E-mail: pradoko86@yahoo.com.

**ABSTRAK:** Bendungan Tugu yang termasuk dalam sistem pengaliran sungai Keser dan berlokasi di Kabupaten Trenggalek, Propinsi Jawa Timur telah disimulasikan runtuh dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 5.0.1. Sebaran banjir yang terjadi akibat keruntuhan Bendungan Tugu dengan skenario *overtopping* memiliki dampak yang lebih besar daripada skenario akibat piping atas. Pada skenario piping atas karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Desa Nglingsis pada jarak 500 meter dengan kedalaman banjir 7.26 meter, kecepatan aliran banjir 12.44 meter/detik, dan waktu tiba banjir 40 detik sedangkan pada skenario *overtopping* karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Desa Nglingsis pada jarak 500 meter dengan kedalaman banjir 7.94 meter, kecepatan aliran banjir 12.44 meter/detik, dan waktu tiba banjir 40 detik. Sehingga dalam analisa sebaran banjir digunakan skenario keruntuhan bendungan akibat *overtopping* yang secara administratif mencakup 14 Desa, 4 Kecamatan di Wilayah Kabupaten Trenggalek dengan jumlah penduduk yang terkena resiko diperkirakan mencapai 59.925 jiwa. Berdasarkan SK Dirjen SDA PU, tahun 2011 Bendungan Tugu diklasifikasikan Bahaya Sangat Tinggi.

Keruntuhan bendungan mempunyai dampak yang sangat besar, sehingga diperlukan upaya pencegahan keruntuhan bendungan. Dari hasil analisa, Bendungan Tugu mempunyai potensi *overtopping* sehingga dapat memicu keruntuhan bendungan. Rekomendasi pencegahan dengan cara teknis yaitu dengan membuat *emergency spillway* sebesar 6 meter atau meninggikan tubuh bendungan sebesar 1 meter. Sedangkan keruntuhan bendungan akibat piping dapat dicegah dengan cara menurunkan muka air waduk dibawah elevasi kerusakan bendungan.

**Kata kunci:** Keruntuhan, Bendungan Tugu, Hec-Ras, *Overtopping*

**ABSTRACT:** Tugu Dam is located on the watershed system of Kali Keser in Trenggalek, East Java province. Tugu Dam has been simulated collapsed by dam break simulation with HEC-RAS 5.0.1 software. The spreading of floods caused by the collapsed of Tugu Dam with the *overtopping* scenario has a greater impact than the upper piping effect scenario. The worst affected of The upper piping scenario of flood characteristics on the selected location, is Nglingsis Village with distance 500 meters and depth 7.26 meters, velocity is 12.44 m/s, and flood time arrived 40 second. So, this research analyze dam break simulation based on *overtopping* that has been covered 14 Villages, 4 sub-districts in Trenggalek district with affected people estimated 59,925 people. Based on SK Dirjen SDA PU 2011, the risk type of Tugu Dam was classified into High Risk Dam Dam break has biggest impact, therefore needed effort to prevent it. The result of this analysis, Tugu Dam, that has a *overtopping* potential can trigger the dam collapse. Prevention technical recommendation is to make *emergency spillway* 6 meters or increase crest dam 1 meter, while dam break caused by piping can be prevented by lowering the water level of the reservoir below the elevation of risk dam.

**Keywords:** Dam Break, Tugu Dam, Hec-Ras, *Overtopping*

Bencana adalah suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu

kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam dan atau

faktor non alam maupun faktor manusia, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis yang sering berkepanjangan. Bendungan, disamping bermanfaat untuk memenuhi berbagai kebutuhan bagi manusia, juga menyimpan potensi bahaya yang sangat besar. Bendungan Tugu adalah bendungan dengan tipe Urugan Batuan Random dengan inti tegak zonal. Bendungan pengelak nantinya akan dimanfaatkan menjadi satu kesatuan dengan tubuh bendungan utama. Bendungan utama direncanakan mampu menahan debit banjir dengan periode ulang 1000 tahun ( $Q_{1000}$ ) sebesar  $670,95\text{m}^3/\text{detik}$  dengan dikontrol debit  $Q_{\text{PMF}}$  sebesar  $928,44\text{ m}^3/\text{detik}$ . Dari beberapa kasus keruntuhan / kegagalan bendungan, bendungan tipe urugan ini adalah paling sering terjadi kerusakan bendungan. Berikut di bawah ini adalah beberapa contoh kasus keruntuhan bendungan yang terjadi di dunia (tabel 1).

Pada penelitian kali ini akan dilakukan simulasi keruntuhan Bendungan Tugu dengan bantuan perangkat lunak Hec-Ras 5.0.1. Lokasi Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek ini berada di Desa Nglinggis Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Propinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada koordinat  $08^\circ 02' 27''$  LS dan  $111^\circ 35' 07''$  BT, lokasi terletak di pinggir kiri jalan raya kabupaten yang menghubungkan kota Trenggalek – Ponorogo, pada km  $\pm 15.00$  dari kota Trenggalek ke arah barat kemudian berbelok ke kiri +1 km memasuki jalan desa yang dapat ditempuh dengan kendaraan roda empat.

Dalam penelitian ini akan dibahas beberapa permasalahan mengenai Analisa Keruntuhan Bendungan Tugu, yang meliputi:

1. Bagaimana karakteristik kedalaman banjir dan kecepatan banjir akibat keruntuhan bendungan di Bendungan Tugu?
2. Bagaimana batas genangan banjir dan waktu tiba banjir yang dihasilkan akibat keruntuhan Bendungan Tugu?
3. Bagaimana rekomendasi untuk mencegah keruntuhan Bendungan Tugu?

Analisis penelusuran banjir ini, bermanfaat untuk dapat mengetahui parameter-parameter penyebab runtuhnya bendungan, profil muka air banjir maksimum serta hidrograf banjir pada daerahhilir bendungan di wilayah studi, berupa peta genangan banjir. Peta genangan yang didapatkan kemudian

digunakan sebagai langkah awal mitigasi dalam rangka pembuatan peta resiko rawan banjir akibat keruntuhan bendungan.

Tabel 1. Beberapa Contoh Kerusakan Bendungan di Dunia

Dam/Reservoir	Location	Year	Main Reason	Death toll/Cost
Gintung	Indonesia	2010	Overtopping	99 people
Taum Sauk	USA	2005	Overtopping	Damage avoided
Big Bay Dam	USA	2004	N/A	100 homes destroyed
Folsom Dam	USA	1995	Spillway	Damage avoided
Val di Stava Dam	Italy	1985	Improper maintenance/Design	268 people, 155 euro million in damage
Tous Dam	Spain	1982	Insuffisient spillway	20 people
Morvi River Dam	India	1979	Overtopping	15.000 people
Laurel Run Dam	USA	1977	Overtopping	40 people/\$5.3 million
Kelly Barnes Dam	USA	1977	Piping	39 people/\$2.5 million
Teton Dam	USA	1976	Foundation	14 people/\$1 billion in property damage
Banqiao Dam	China	1975	Overtopping	200.000 people
Baldwin Hills	USA	1963	Ground movement from oil extraction	5 people
Maupassant Dam	France	1959	Overtopping/foundation	450 people
St. Francis Dam	USA	1928	Foundation	450 people
Austin Dam	USA	1911	Foundation	87 people

Sumber: Konstruksi Bendungan Urugan Vol.1 (Masrevaniah, 2010)

## BAHAN DAN METODE

### a. Bahan

Analisa ini menggunakan beberapa data antara lain:

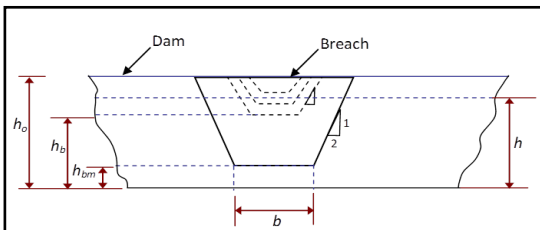
- Peta RBI skala 1:25.000 dan Peta DEM
- Data sistem pengaliran bendungan
- Peta Daerah Tangkapan Air (DTA)
- Data teknis Bendungan Tugu
- Lengkung kapasitas waduk
- Data curah hujan harian  $\pm 20$  tahun
- Peta Isohyet Indonesia yang dikeluarkan Dirjen SDA Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2011

### b. Metode

Sebelum bendungan mengalami keruntuhan total, didahului oleh terjadinya rekahan (*breaching*). Rekahan adalah lubang

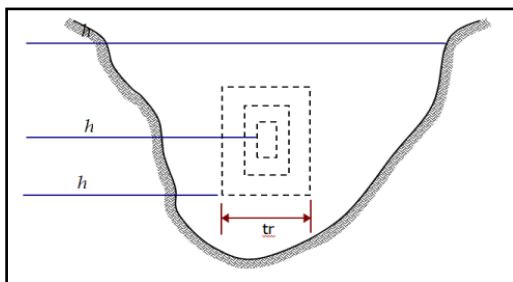
yang terbentuk dalam tubuh bendungan pada saat runtuh. Skenario keruntuhan yang digunakan pada penelitian ini ditinjau 2 kondisi yaitu *Overtopping* maupun *Piping*.

Rekahan karena *overtopping* disimulasikan berupa rekahan yang berbentuk segi empat, segitiga atau trapesium. Rekahan tersebut makin lama makin membesar dengan waktu secara progresif dari puncak bendungan ke bawah sampai mencapai pondasi. Aliran yang melewati rekahan diperhitungkan sebagai aliran melewati ambang lebar



Gambar 1. Tampak depan dari formasi perubahan ukuran rekahan yang terjadi pada tubuh dam akibat *overtopping*

Keruntuhan bendungan akibat *piping* dapat disimulasikan dengan menentukan elevasi sumbu dari piping bendungan. Ini disimulasikan sebagai rekahan lubang (*orifice*) berbentuk segipanjang.



Gambar 2. Tampak depan dari formasi perubahan ukuran rekahan yang terjadi pada tubuh dam akibat *Piping*

Debit yang keluar dari kedua macam rekahan tersebut merupakan hidrograf banjir yang terjadi pada penampang melintang 0 (permulaan), yang harus ditelusur ke hilir di sepanjang lembah sungai dengan metode “*Unsteady flow*” (Hidrolika Saluran Terbuka (*Open Channel Hydraulics*). Ven Te Chow, 1985).

Model Matematis persamaan Saint de Venant untuk aliran “*Unsteady Flow*” pada saluran terbuka adalah sebagai berikut:

**Persamaan kekekalan massa:**

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots 1$$

**Persamaan kekekalan momentum:**

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right) + gA \frac{Q^2}{K^2} = 0 \dots\dots\dots 2$$

dimana:

- y = elevasi muka air
- A = penampang melintang aktif dari aliran
- Q = debit aliran
- x = jarak memanjang menurut lembah
- t = waktu
- $\beta$  = koefisien momentum untuk distribusi kecepatan
- g = percepatan gravitasi
- K = Conveyance (daya angkut sungai / saluran)
- $K = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}}$
- n = koefisien kekasaran Manning
- R = jari-jari hidrolis

Terdapat 2 Kondisi Batas dalam metode “*Unsteady flow*”. Kondisi batas atas (*upper boundary condition*), yang merupakan *hydrograph inflow* PMF yang menyebabkan keruntuhan bendungan (sejak terjadi rekahan sampai dengan hancur total). Kondisi batas bawah (*lower boundary condition*), merupakan *channel control* atau *rating curve*  $H=f(Q)$ , tinggi gelombang pasang di muara sungai, bangunan struktur lainnya, misalnya tanggul, jalan kereta api, bukit, dan lain-lain tergantung sampai batas mana banjir yang ditimbulkan oleh keruntuhan bendungan terjadi.

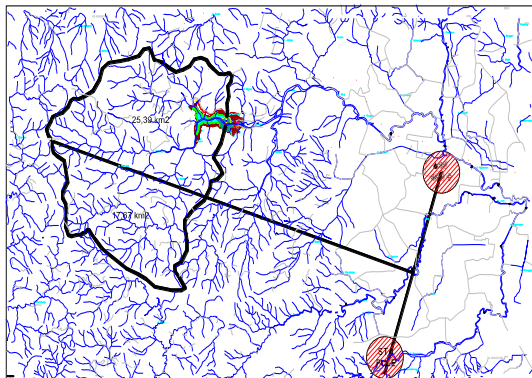
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**a. Sistem Pengaliran**

Bendungan Tugu secara teknis masuk di dalam pengelolaan dan pembinaan Balai Besar Wilayah Sungai Brantas. Bendungan Tugu terletak di Sungai Keser yang merupakan salah satu anak sungai di basin Sungai Ngrowo yang secara administratif masuk dalam Wilayah Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek Propinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada posisi  $111^{\circ} 34' - 111^{\circ} 37'$  Bujur Timur dan  $8^{\circ} 1' - 8^{\circ} 3'$  Lintang Selatan.

**b. Peta Daerah Tangkapan Air (DTA)**

Luas daerah aliran sungai di lokasi bendungan adalah sebesar 43.06 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai 9,295 km. Untuk menganalisa hujan rata-rata di daerah aliran sungai Kali Keser di perhitungkan dengan metode Polygon Thiessen dengan menggunakan data hujan dari Stasiun Tugu dan Stasiun Pule. Dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Peta Daerah Tangkapan Air Bendungan Tugu

**c. Hujan Wilayah**

Untuk analisa hujan daerah di DTA Kali Keser di perhitungkan dengan metode Thiessen dengan menggunakan data hujan dari stasiun terdekat yang berpengaruh terhadap daerah aliran kali Keser, yaitu stasiun Tugu dan stasiun Pule mulai tahun 1995-2014. Metode Poligon Thiessen digunakan karena cara ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu (Sri Harto Br, 1993:54). Hujan maksimum harian tahunan hasil analisa hujan daerah yang digunakan untuk perhitungan hujan rancangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Untuk perhitungan koefisien Thiessen DTA Kali Keser dapat dilihat pada tabel 2. Sedangkan Hujan maksimum harian tahunan hasil analisa hujan daerah yang digunakan untuk perhitungan hujan rancangan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Koefisien Thiessen DTA Keser

Luas DAS Keser (Km <sup>2</sup> )	Stasiun Curah Hujan (SCH)	Luas Pengaruh Tiap SCH. (Km <sup>2</sup> )	Prosentase Terhadap Luas DAS	Koefisien Pengaruh (p)
43.06	Tugu	25.39	58.97%	0.59
	Pule	17.67	41.03%	0.41
JUMLAH			100.00%	1.00

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3. Hujan Harian Maksimum Tahunan DTA Keser

No.	Tahun	Tugu	Pule	Thiessen
		(mm)	(mm)	(mm)
1	1995	92.00	90.00	91.18
2	1996	95.00	70.00	84.74
3	1997	64.00	23.00	47.18
4	1998	68.00	85.00	74.97
5	1999	72.00	91.00	79.80
6	2000	116.00	65.00	95.08
7	2001	79.00	60.00	71.20
8	2002	72.00	67.00	69.95
9	2003	110.00	85.00	99.74
10	2004	98.00	87.00	93.49
11	2005	120.00	157.00	135.18
12	2006	106.00	74.00	92.87
13	2007	160.00	234.00	190.36
14	2008	75.00	100.00	85.26
15	2009	78.00	107.00	89.90
16	2010	73.00	120.00	92.28
17	2011	118.00	103.00	111.85
18	2012	91.00	87.00	89.36
19	2013	107.00	85.00	97.97
20	2014	75.00	85.00	79.10

Sumber : Hasil Perhitungan

**d. Hujan Rancangan**

Hujan rancangan adalah hujan terbesar tahunan dengan peluang tertentu yang mungkin terjadi di suatu daerah, atau hujan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Analisa curah hujan rancangan dilakukan dengan menggunakan metode distribusi E.J. Gumbel, Log Pearson Type III, Log Normal, dan Normal. Hasil perhitungan analisa curah hujan rancangan disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Analisa Curah Hujan Rancangan

T	Gumbel	Log Pearson III	Log Normal	Normal
2	89.16152	88.02092654	90.1639499	93.57309
5	118.0498	112.2319498	113.296962	117.6695
10	137.1763	129.2563468	127.694588	130.2915
20	155.523	151.9614193	140.825237	140.6185
25	161.3428	169.7658353	145.100546	143.774
50	179.2708	188.3553859	157.431771	152.3799
100	197.0665	207.8665674	169.884658	160.412
1000	255.869	257.8451167	197.286306	176.1894

Sumber : Hasil Perhitungan

**e. Hujan Rancangan Maksimum Boleh Jadi (PMP)**

Perhitungan hujan maksimum boleh jadi (PMP, *Probable maximum Precipitation*) dilakukan dengan menggunakan metode Hershfield dengan data hujan 20 tahun (1995-

2014). Hasil perhitungan hujan PMP dengan metode Hershfield sebesar 582,60 mm.

**f. Hujan Efektif**

Hujan efektif adalah bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Dengan asumsi bahwa proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung mengikuti proses linier dan tidak berubah oleh waktu (*linear and time invariant process*). Perhitungan selengkapnya sebaran Hujan Efektif Jam-jaman disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Hujan Jam-jaman

No	Jam ke	Rasio (%)	Hujan Jam-jaman (mm)	
				PMP
1	1	31.32		137.53
2	2	27.60		121.20
3	3	20.17		88.60
4	4	10.18		44.73
5	5	10.73		47.11
Probabilitas Hujan Harian				582.60
Koefisien Pengaliran				0.75
Hujan Efektif				439.17

Sumber: Hasil perhitungan

**g. Banjir Rancangan**

Jika tidak tersedia debit pengamatan banjir, maka untuk analisa debit banjir digunakan pendekatan hidrograf satuan, yaitu hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan lebih, yang merata di seluruh DPS, dengan intensitas tetap dalam satuan waktu.

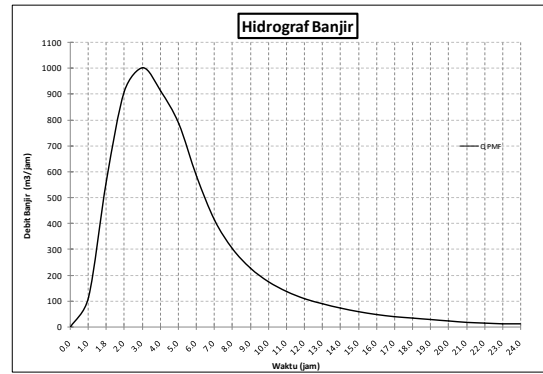
Konsep dasar pada hidrograf satuan ialah bahwa hujan satuan yang berbeda-beda besarnya akan menghasilkan grafik distribusi yang hampir sama.

Hidrograf satuan yang digunakan dalam studi ini adalah Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Debit Banjir Rancangan Metode Nakayasu

Waktu (jam)	UH (m <sup>3</sup> /dt/mm)	Akibat Hujan					Base flow (m <sup>3</sup> /dt)	Debit banjir (m <sup>3</sup> /dt)
		137.53	121.20	88.60	44.73	47.11		
0.0	0.000	0.000					0.420	0.420
1.0	0.824	113.382	0.000				0.420	113.802
1.8	3.379	464.711	99.919	0.000			0.420	565.051
2.0	3.118	428.864	409.534	73.039	0.000		0.420	911.857
3.0	2.087	287.094	377.943	299.362	36.871	0.000	0.420	1001.690
4.0	1.397	192.189	253.006	276.269	151.123	38.834	0.420	911.841
5.0	0.961	132.147	169.369	184.943	139.465	159.168	0.420	785.512
6.0	0.735	101.125	116.456	123.806	93.362	146.890	0.420	582.060
7.0	0.563	77.386	89.118	85.128	62.499	98.332	0.420	412.884
8.0	0.431	59.220	68.198	65.144	42.974	65.826	0.420	301.781
9.0	0.330	45.318	52.188	49.851	32.886	45.262	0.420	225.925
10.0	0.264	36.342	39.937	38.149	25.166	34.636	0.420	174.650
11.0	0.216	29.735	32.027	29.193	19.258	26.505	0.420	137.138
12.0	0.177	24.329	26.204	23.411	14.737	20.283	0.420	109.384
13.0	0.145	19.905	21.440	19.155	11.818	15.522	0.420	88.260
14.0	0.118	16.286	17.542	15.672	9.670	12.448	0.420	72.037
15.0	0.097	13.325	14.352	12.823	7.912	10.184	0.420	59.016
16.0	0.079	10.902	11.743	10.491	6.473	8.333	0.420	48.363
17.0	0.065	8.920	9.608	8.584	5.296	6.818	0.420	39.646
18.0	0.053	7.298	7.861	7.023	4.333	5.578	0.420	32.514
19.0	0.043	5.971	6.432	5.746	3.545	4.564	0.420	26.679
20.0	0.036	4.886	5.262	4.702	2.901	3.734	0.420	21.905
21.0	0.029	3.997	4.306	3.847	2.373	3.055	0.420	17.999
22.0	0.024	3.271	3.523	3.147	1.942	2.500	0.420	14.803
23.0	0.019	2.676	2.882	2.575	1.589	2.045	0.420	12.188
24.0	0.016	2.189	2.358	2.107	1.300	1.673	0.420	10.048

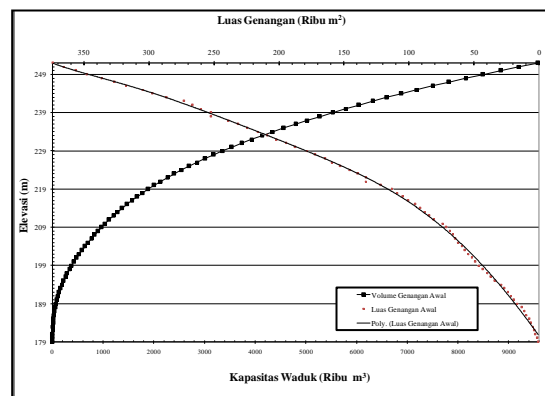
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4. Grafik Hidrograf Banjir Rancangan Q<sub>pmf</sub> Metode Nakayasu

**h. Lengkung Kapasitas Waduk**

Lengkung kapasitas waduk adalah kurva hubungan antara elevasi muka air, volume waduk dan luas genangan waduk pada suatu waktu. Berikut di bawah ini adalah lengkung kapasitas Waduk Tugu



Gambar 5. Lengkung Kapasitas Waduk Bendungan Tugu

**i. Skenario Keruntuhan Bendungan**

Dalam studi ini skenario keruntuhan bendungan yang dilakukan adalah simulasi keruntuhan bendungan menggunakan debit banjir PMF dari lateral inflow dari sungai Keser dengan skenario keruntuhan bendungan akibat *overtopping* dan keruntuhan bendungan akibat piping atas.

Untuk melakukan analisis keruntuhan bendungan maka dibutuhkan input data sebagai berikut:

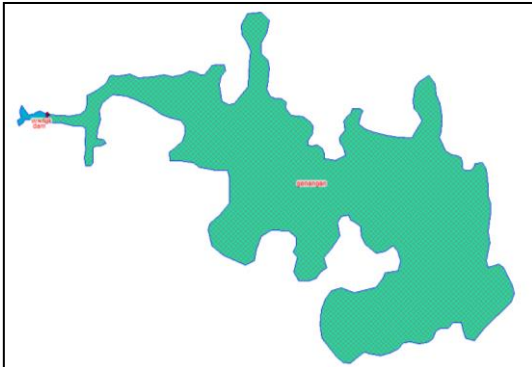
- 1) Data teknis bendungan
- 2) Lengkung kapasitas waduk (H-V-A Curve)
- 3) Kondisi batas luar (*external boundary*) yang terdiri dari :
  - ◆ Kondisi batas atas (*upper boundary*) yang berupa hidrograf inflow.
  - ◆ Kondisi batas bawah (*lower boundary*) dapat berupa data pasang surut muara,

zero gradient, fixed depth, rating curve, atau control structure, tergantung dimana sungai utama bermuara.

- ◆ Batas jaring-jaring elemen beda hingga (finite element mesh boundary)

**j. Penetapan Jaring Kerja (Mesh)**

Kerapatan jaring-jaring sangat berpengaruh terhadap tingkat ketelitian hasil penelusuran banjir di hilir. Jaring-jaring kerja dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Jaring-Jaring Kerja (mesh)

**k. Analisa Keruntuhan Bendungan**

Dalam analisa keruntuhan Bendungan Tugu dilakukan dengan dua skenario keruntuhan bendungan, yaitu keruntuhan bendungan akibat *piping* atas (adanya aliran buluh pada elevasi puncak pelimpah) dan keruntuhan bendungan akibat *overtopping*.

Peta daerah tergenang akibat keruntuhan bendungan didapatkan dengan cara *overlay* antara peta banjir hasil simulasi dengan peta administrasi daerah. Berdasarkan hasil analisa keruntuhan bendungan akibat *piping* atas, maka didapatkan lokasi terpilih dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Lokasi Terpilih Wilayah Rentan Bahaya Keruntuhan Bendungan Tugu

No	Nama Desa	Jarak Dari Bendungan (m)
1	DESA NGGLIGIS	500
2	DESA PUCANGANAK	3000
3	DESA JAMBU	5200
4	DESA WINONG	6800
5	DESA SUKOREJO	7500
6	DESA GONDANG	8400
7	DESA NGLONGSOR	9600
8	DESA BULLUAGUNG	11500
9	KELURAHAN TAMANAN	13250
10	DESA SALAMREJO	13000
11	KELURAHAN KELUTAN	14850
12	KELURAHAN SUMBERGEDONG	16150
13	DESA SAMBIREJO	16790
14	DESA NGADIRENGGO	18470

1). Skenario keruntuhan bendungan akibat *piping* atas

Karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Desa Nglingsis pada jarak 500 meter dengan kedalaman banjir 7.26 meter, kecepatan aliran banjir 12.14 meter/detik, dan waktu tiba banjir 41 detik. Dari tabel 7 dapat disimpulkan bahwa 14 desa yang berada di 4 kecamatan, yaitu Kecamatan Tugu, Kecamatan Trenggalek, Kecamatan Karang, dan Kecamatan Pogalan diperkirakan akan tergenang banjir yang diakibatkan oleh keruntuhan bendungan. Hasil analisa karakteristik banjir akibat keruntuhan bendungan yang terdapat di masing-masing lokasi disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Karakteristik Banjir Keruntuhan Bendungan Akibat *Piping* Atas

No	Nama Desa	Jarak Dari Bendungan (m)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/dt)	Waktu Tiba (jam)	Waktu Surut (jam)	Durasi Banjir (jam)
1	DESA NGLINGGIS	500	7.2651	12.1411	0.01	29	28.989
2	DESA PUCANGANAK	3000	3.032	3.0822	0.27	33	32.73
3	DESA JAMBU	5200	1.6962	2.0908	0.69	47	46.309
4	DESA WINONG	6800	1.539	1.3205	1.43	63	61.57
5	DESA SUKOREJO	7500	1.48	1.2725	1.64	40	38.363
6	DESA GONDANG	8400	1.3816	0.9503	2.46	29	26.545
7	DESA NGLONGSOR	9600	1.099	1.2206	2.18	49	46.815
8	DESA BULLUAGUNG	11500	1.1212	0.832	3.84	59	55.161
9	KELURAHAN TAMANAN	13250	0.6377	0.743	4.95	67	62.046
10	DESA SALAMREJO	13000	0.698	0.2939	12.29	65	52.713
11	KELURAHAN KELUTAN	14850	1.2071	0.3003	13.74	62	48.264
12	KELURAHAN SUMBERGEDONG	16150	0.8325	0.2729	16.44	42	25.561
13	DESA SAMBIREJO	16790	1.0426	0.3141	14.85	55	40.152
14	DESA NGADIRENGGO	18470	0.305	0.2828	18.14	66	47.858

Sumber : hasil analisa

2) Skenario keruntuhan bendungan Akibat *overtopping*

Karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Desa Nglingsis pada jarak 500 meter dengan kedalaman banjir 7.94 meter, kecepatan aliran banjir 12.44 meter/detik, dan waktu tiba banjir kurang dari 40 detik. Hasil analisa karakteristik banjir akibat keruntuhan bendungan yang terdapat di masing - masing lokasi disajikan pada tabel 8.

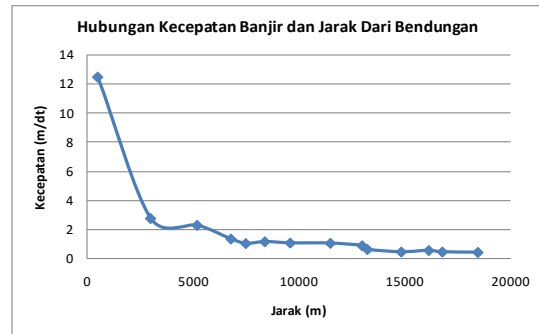
Tabel 8. Karakteristik Banjir Keruntuhan Bendungan Akibat *Overtopping*

No	Nama Desa	Jarak Dari Bendungan (m)	Kedalaman Banjir Max (m)	Kecepatan Max (m/dt)	Waktu Tiba (jam)	Waktu Surut (jam)	Durasi Banjir (jam)
1	DESA NGLINGGIS	500	7.9443	12.4479	0.01	29	28.99
2	DESA PUCANGANAK	3000	3.0915	2.7401	0.30	33	32.70
3	DESA JAMBU	5200	2.002	2.2723	0.64	47	46.36
4	DESA WINONG	6800	1.5566	1.3317	1.42	63	61.58
5	DESA SUKOREJO	7500	1.2708	1.0224	2.04	40	37.96
6	DESA GONDANG	8400	1.8424	1.143	2.04	29	26.96
7	DESA NGLONGSOR	9600	1.1284	1.0567	2.52	49	46.48
8	DESA BULLUAGUNG	11500	1.0451	1.0399	3.07	59	55.93
9	KELURAHAN TAMANAN	13250	1.0765	0.8715	4.22	67	62.78
10	DESA SALAMREJO	13000	0.6648	0.6143	5.88	65	59.12
11	KELURAHAN KELUTAN	14850	1.1332	0.4404	9.37	62	52.63
12	KELURAHAN SUMBERGEDONG	16150	0.8105	0.5417	8.28	42	33.72
13	DESA SAMBIREJO	16790	1.0194	0.4404	10.59	55	44.41
14	DESA NGADIRENGGO	18470	0.5661	0.4126	12.43	66	53.57

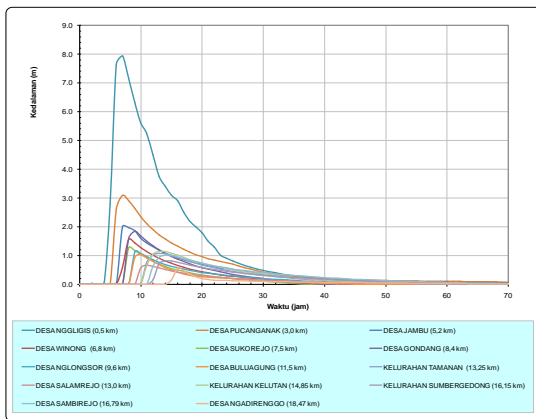
Sumber : hasil analisa

Dari hasil analisa diatas keruntuhan bendungan dengan skenario *overtopping* memiliki dampak yang lebih besar daripada keruntuhan bendungan akibat piping atas. Oleh karena itu untuk analisa selanjutnya menggunakan analisa keruntuhan bendungan akibat *overtopping*.

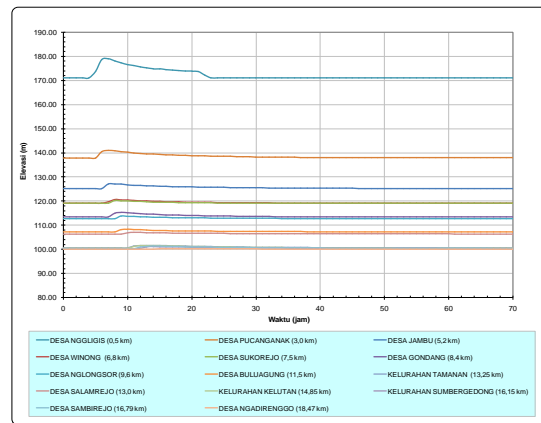
Karakteristik banjir akibat keruntuhan bendungan di setiap lokasi terdampak terdiri dari grafik kedalaman banjir, grafik elevasi banjir dan grafik kecepatan perambatan banjir disajikan pada gambar berikut ini.



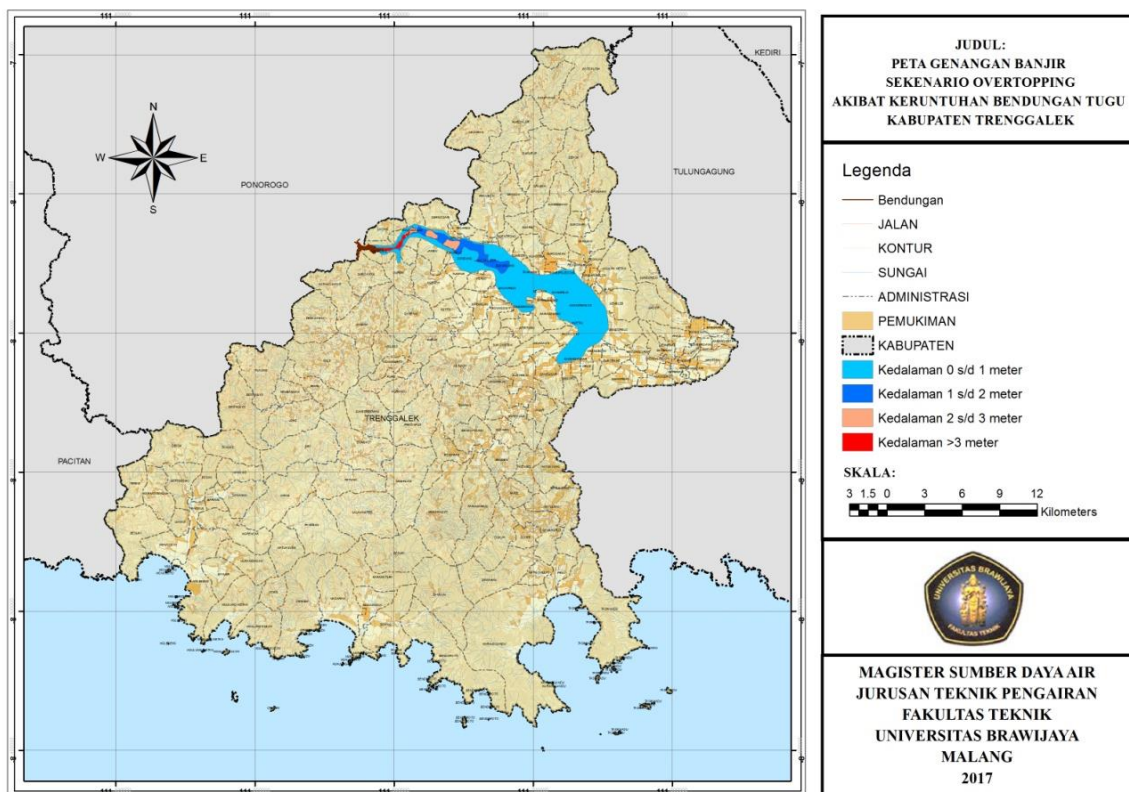
Gambar 8. Grafik Kecepatan Banjir Pada Lokasi Terdampak (*Overtopping*)



Gambar 7. Grafik Kedalaman Banjir Pada Lokasi Terdampak (*Overtopping*)



Gambar 9. Grafik Elevasi Muka Air Banjir (*Overtopping*)



Gambar 10. Peta Resiko Genangan Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

**JUDUL:**  
**PETA GENANGAN BANJIR**  
**SEKENARIO OVERTOPPING**  
**AKIBAT KERUNTUHAN BENDUNGAN TUGU**  
**KABUPATEN TRENGGALEK**

**Legenda**

- Bendungan
- JALAN
- KONTUR
- SUNGAI
- ADMINISTRASI
- PEMUKIMAN
- KABUPATEN
- Kedalaman 0 s/d 1 meter
- Kedalaman 1 s/d 2 meter
- Kedalaman 2 s/d 3 meter
- Kedalaman >3 meter

**SKALA:**  
 3 1.5 0 3 6 9 12  
 Kilometers

**MAGISTER SUMBER DAYA AIR**  
**JURUSAN TEKNIK PENGAIRAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
 2017

### 1. Penduduk Terkena Resiko

Analisa sebaran banjir digunakan skenario keruntuhan bendungan akibat *overtopping* yang secara administratif mencakup 14 Desa, 4 Kecamatan di Wilayah Kabupaten Trenggalek dengan jumlah penduduk yang terkena resiko diperkirakan mencapai 59.925 jiwa.. Berdasarkan SK Dirjen SDA PU, tahun 2011 Bendungan Tugu diklasifikasikan Bahaya Sangat Tinggi. Secara rinci dapat dilihat pada tabel berikut di bawah ini.

Tabel 9. Penduduk Terkena Resiko

No	Lokasi Terdampak		Jumlah Peris		Klasifikasi Hazard
	Nama Desa	Jarak Dari Bendungan (m)	Jiwa	KK	
1	DESA NGLINGGIS	500	2539	615	4
2	DESA PUCANGANAK	3000	3801	921	4
3	DESA JAMBU	5200	4585	1112	4
4	DESA WINONG	6800	2625	636	4
5	DESA SUKOREJO	7500	1970	477	4
6	DESA GONDANG	8400	6445	1562	4
7	DESA NGLONGSOR	9600	5121	1241	4
8	DESA BULUAGUNG	11500	2773	672	4
9	KELURAHAN TAMANAN	13250	6358	1541	4
10	DESA SALAMREJO	13000	4224	1023	4
11	KELURAHAN KELUTAN	14850	3701	897	4
12	KELURAHAN SUMBERGEDONG	16150	5283	1280	4
13	DESA SAMBIREJO	16790	2713	657	4
14	DESA NGADIRENGGO	18470	6787	1645	4

Sumber: hasil analisa

Dari hasil analisa klasifikasi zona bahaya dapat disimpulkan ada 3 (tiga) desa berada pada zona bahaya tinggi, ada 8 (delapan) desa berada pada zona bahaya sedang, dan ada 3 (tiga) desa berada pada zona bahaya rendah. Desa Nglingsis, Desa Pucanganak, dan Desa Jambu diprioritaskan untuk segera mengungsi pada saat **Kondisi Siaga**. Sedangkan penduduk di desa lainnya dapat mengungsi pada **Kondisi Awas** dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Klasifikasi Zona Bahaya

No	Lokasi Terdampak		Kedalaman Banjir (m)	Kecepatan Banjir (m/dt)	Zona Bahaya
	Nama Desa	Jarak Dari Bendungan (m)			
1	DESA NGLINGGIS	500	7.9443	12.4479	3
2	DESA PUCANGANAK	3000	3.0915	2.7401	3
3	DESA JAMBU	5200	2.002	2.2723	3
4	DESA WINONG	6800	1.5566	1.3317	2
5	DESA SUKOREJO	7500	1.2708	1.0224	2
6	DESA GONDANG	8400	1.8424	1.143	2
7	DESA NGLONGSOR	9600	1.1284	1.0567	2
8	DESA BULUAGUNG	11500	1.0451	1.0399	2
9	KELURAHAN TAMANAN	13250	1.0765	0.8715	2
10	DESA SALAMREJO	13000	0.6648	0.6143	1
11	KELURAHAN KELUTAN	14850	1.1332	0.4404	2
12	KELURAHAN SUMBERGEDONG	16150	0.8105	0.5417	1
13	DESA SAMBIREJO	16790	1.0194	0.4404	2
14	DESA NGADIRENGGO	18470	0.5661	0.4126	1

Sumber: hasil analisa

### KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap simulasi keruntuhan Bendungan Tugu dapat disimpulkan hal – hal berikut di bawah ini:

1. Simulasi keruntuhan dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 5.0.1. Sebaran banjir yang terjadi akibat keruntuhan Bendungan Tugu dengan skenario *overtopping* memiliki dampak yang lebih besar daripada skenario akibat piping atas. Pada skenario keruntuhan akibat *overtopping* karakteristik banjir di lokasi terpilih yang paling parah adalah Desa Nglingsis pada jarak 500 meter dengan kedalaman banjir 7.94 meter, kecepatan aliran banjir 12.44 meter/detik, dan waktu tiba banjir kurang dari 40 detik.
2. Karakteristik banjir yang terjadi di setiap lokasi terdampak mempunyai waktu kedatangan tercepat 0.01 jam atau kurang dari 40 detik untuk Desa Nglingsis yang berada 500 meter dari Bendungan Tugu, serta waktu paling lambat terjadi pada 12,43 jam yang terjadi pada lokasi yang berjarak 18.4 km dari bendungan. Sedangkan durasi banjir tercepat adalah 26,96 jam dan terlama adalah 62,78 jam.
3. Dari hasil analisa klasifikasi zona bahaya dapat disimpulkan ada 3 (tiga) desa berada pada zona bahaya tinggi, ada 8 (delapan) desa berada pada zona bahaya sedang, dan ada 3 (tiga) desa berada pada zona bahaya rendah. Desa Nglingsis, Desa Pucanganak, dan Desa Jambu diprioritaskan untuk segera mengungsi pada saat **Kondisi Siaga**. Sedangkan penduduk di desa lainnya dapat mengungsi pada **Kondisi Awas**.
4. Rekomendasi pencegahan keruntuhan Bendungan Tugu
  - a. Rekomendasi pencegahan keruntuhan bendungan akibat *overtopping* dapat dilakukan dengan cara teknis maupun non teknis. Rekomendasi teknis untuk mencegah keruntuhan bendungan tugu berdasarkan dari hasil analisa yaitu, Membutuhkan lebar pelimpah yang semula 22 meter menjadi 28 meter dengan membuat emergency spillway dengan lebar minimal 6 meter, rekomendasi ini dengan memperhitungkan tinggi jagaan sebesar 1 meter. Atau meninggikan tubuh bendungan sebesar 1 meter, dari elevasi +259 menjadi elevasi +260. Sedangkan rekomendasi dengan cara non teknis yaitu dengan aspek pengelolaan DAS di hulu bendungan. Aspek pengelolaan DAS antara lain meliputi, mengurangi erosi pada DAS, mengembalikan dan



meningkatkan produktivitas lahan, menekan laju pertumbuhan lahan kritis, meningkatkan daya serap DAS, mengurangi debit banjir, memperpanjang proses pendangkalan waduk.

- b. Rekomendasi Pencegahan Keruntuhan Bendungan Akibat *Piping*. Keruntuhan bendungan akibat *piping* dapat dicegah dengan cara melakukan inspeksi dan pemantauan secara berkala. Inspeksi dan pemantauan secara berkala sangat diperlukan karena dapat mengetahui secara dini kerusakan bendungan akibat *piping*. Rekomendasi pencegahan keruntuhan bendungan akibat *piping* adalah:

- Memonitor secara intensif pada instrumen bendungan.
- Melakukan analisa kerusakan pada tubuh bendungan .
- Melakukan perbaikan pada kerusakan bendungan dengan segera.
- Menurunkan elevasi muka air bendungan dibawah elevasi kerusakan pada tubuh bendungan.

#### SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang telah dikemukakan tersebut diatas, berikut ini disampaikan beberapa saran yang terkait dengan studi ini antara lain :

1. Perlu dibangun sistem peramalan banjir dan peringatan dini (*Flood Warning and Forecasting System*) untuk Bendungan Tugu berupa pemasangan perangkat *telemetry warning system*.
2. *Flood Warning and Forecasting System* yang disarankan adalah suatu sistem yang dapat digunakan untuk meramal tentang waktu dan besarnya muka air dan debit yang akan terjadi pada suatu titik pengamatan yang terjangkau di dalam sistem tersebut sehingga dapat memberikan informasi secara dini kepada masyarakat di daerah rawan banjir. Pada dasarnya sistem ini terdiri dari 2 (dua) komponen utama yaitu komponen *hardware* (perangkat keras) dan komponen *software* (perangkat lunak).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, Mochammad Imam, 2016. Studi Analisa Penelusuran Banjir Akibat keruntuhan Bendungan Jatigede Kabupaten Sumedang Jawa Barat  
<http://pengairan.ub.ac.id/wpcontent/uploads/016/01/Studi-Analisa-PenelusuranBanjir-Akibat - Keruntuhan - Bendungan-Jatigede – Kabupaten - Sumedang-Jawa-Barat-Muhammad-ImamAbdurrachman-0910643023.pdf>
- Aniskurlillah, Sona Gusti, 2014. Aplikasi Zhong Xing Hy21 Untuk Analisa Keruntuhan Bendungan Muka Kuning Batam.  
<http://pengairan.ub.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Aplikasi-Zhong-Xing-HY21 - Untuk-Analisa-Keruntuhan-Bendungan – Muka – Kuning –Batam-Sona-Gusti-Aniskurlillah.pdf>
- Aryadi, Eric Virgiawan, 2014. Analisa Keruntuhan Bendungan Gondang Dengan Menggunakan Program Zhong Xing Hy21.  
<http://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/download/210/204>
- Asdak, C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Chow, Ven Te. 1985. Hidrolika Saluran Terbuka (*Open Chanel Hydraulics*). Terjemahan Suyatman, VFX Kristanto Sugiharto dan E.V. Nensi Rosalina. Jakarta : Erlangga
- Limantara, L. M. 2010. Hidrologi Praktis. Penerbit Lubuk Agung. Bandung.
- Masrevaniah, Aniek , 2010. Konstruksi Bendungan 1. Malang : Penerbit IKIP Malang
- Permana, Mikail Adhi, 2015. Analisa Keruntuhan Bendungan Mamak Dan Bendungan Batu Bulan Secara Simultan Pada System Pengaliran Sungai Dendritik. Tidak diterbitkan
- Soemarto, C. D. 1987. Hidrologi Teknik. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.