

Pemodelan Keruntuhan Bendungan Menggunakan HEC-RAS 2D Studi Kasus Bendungan Gondang, Kabupaten Karanganyar

Kiki Marina Murdiani ^{1*)}, Sri Sangkawati ²⁾, Kresno Wikan Sadono ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Pascasarjana Prodi Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro

²⁾³⁾ Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro Semarang

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i2.6872>

Modelling Dam Collapse Using 2D HEC-RAS (Case Study of Gondang Dam, Karanganyar Regency)

ABSTRACT

The construction of a dam provides benefits to the community around the reservoir, but also saves danger if it experiences dam collapse. One of the requirements that must be met before obtaining an operating permit certificate is the RTD (Emergency Action Plan). The benefit of formulating an emergency action plan is to guide the dam managers and the government who are in the area at risk if an emergency condition occurs at the Dam. This paper covers the area affected in the event of dam failure. Utilization of Software uses HEC-RAS with a Gondang Dam case study located in Karanganyar Regency. The affected locations, according to the results of the analysis are Gempolan Village, Ganten Village, Kwadungan Village, Kutho Village, Kerjo District, Karanganyar Regency, Central Java Province. This Dam has a total reservoir of 9.15 million cubic meters with a dam height of 71 meters. Dam failure modeling with 2D under unsteady flow conditions, simulation of collapse due to middle piping at +495 m elevation. The results of the Gondang Dam collapse modeling, which will have the most significant impact if there is middle piping due to PMF flooding with peak discharge $Q_{outflow} = 902.40 \text{ m}^3 / \text{sec}$. The speed of flooding due to the collapse of the Dam that reached the fastest settlement was 24 minutes, namely to the village of Gempolan, which is 0.6 km from the location of the Dam.

Keywords: Gondang Dam, dam break, affected area Karanganyar.

ABSTRAK

Pembangunan bendungan memberikan manfaat untuk masyarakat sekitar waduk, namun juga menyimpan bahaya jika mengalami keruntuhan bendungan. Salah satu syarat yang harus dipenuhi sebelum mendapatkan sertifikat izin operasi adalah RTD (Rencana Tindak Darurat). Manfaat dari disusunnya rencana tindak darurat adalah untuk pedoman para pengelola bendungan maupun pemerintah yang berada pada daerah yang terkena resiko apabila terjadi kondisi darurat pada Bendungan. Makalah ini mencakup daerah yang terdampak jika terjadi kegagalan bendungan. Pemanfaatan Software menggunakan HEC-RAS dengan studi kasus Bendungan Gondang yang berlokasi di Kabupaten Karanganyar. Lokasi terdampak menurut hasil analisis adalah Desa Gempolan, Desa Ganten, Desa Kwadungan, Desa Kutho, Kecamatan Kerjo, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. Bendungan ini mempunyai tampungan total 9,15 juta meter kubik dengan tinggi bendungan 71 meter. Pemodelan keruntuhan bendungan dengan 2D pada kondisi unsteady flow, simulasi keruntuhan akibat piping tengah pada elevasi +495 m. Hasil pemodelan keruntuhan Bendungan Gondang yang akan menimbulkan dampak paling besar jika terjadi piping tengah akibat banjir PMF dengan puncak debit $Q_{outflow} = 902,40 \text{ m}^3 / \text{det}$. Kecepatan banjir akibat keruntuhan bendungan tercepat yang sampai ke pemukiman adalah 24 menit yaitu sampai di Desa Gempolan yang berjarak 0,6 km dari lokasi bendungan.

Kata Kunci: Bendungan Gondang, dam break, daerah terdampak Karanganyar.

PENDAHULUAN

Bendungan Gondang merupakan bendungan *multipurpose* dengan tampungan total 9,15jt m^3 . Daerah aliran sungai Bendungan Gondang seluas 20,19 km^2 dengan panjang sungai utama 14,33 km. Bendungan selain bermanfaat, terdapat pula potensi bahaya jika terjadi keruntuhan. Oleh karena itu dibutuhkan analisis dan simulasi jika bendungan mengalami kegagalan. Bendungan Gondang merupakan

tipe bendungan urugan tanah dengan inti tegak. Beberapa penyebab kegagalan yang umum ditemui pada *earthfill* dan *rockfill dam* adalah overtopping, tidak berfungsinya pintu air, stabilitas lereng, *internal erosion* dan *piping*. *Internal erosion/piping* adalah penyebab kegagalan bendungan terbesar yaitu 46,5 % (fell et al, 2015). Penyebab kegagalan bendungan oleh *overtopping* dimana air yang melimpas melalui puncak bendungan menyebabkan terjadinya erosi serta longsor pada tubuh

Article History:

Received: March, 9th 2020; **Accepted:** May, 10th 2020

REKAYASA ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

Cite this as:

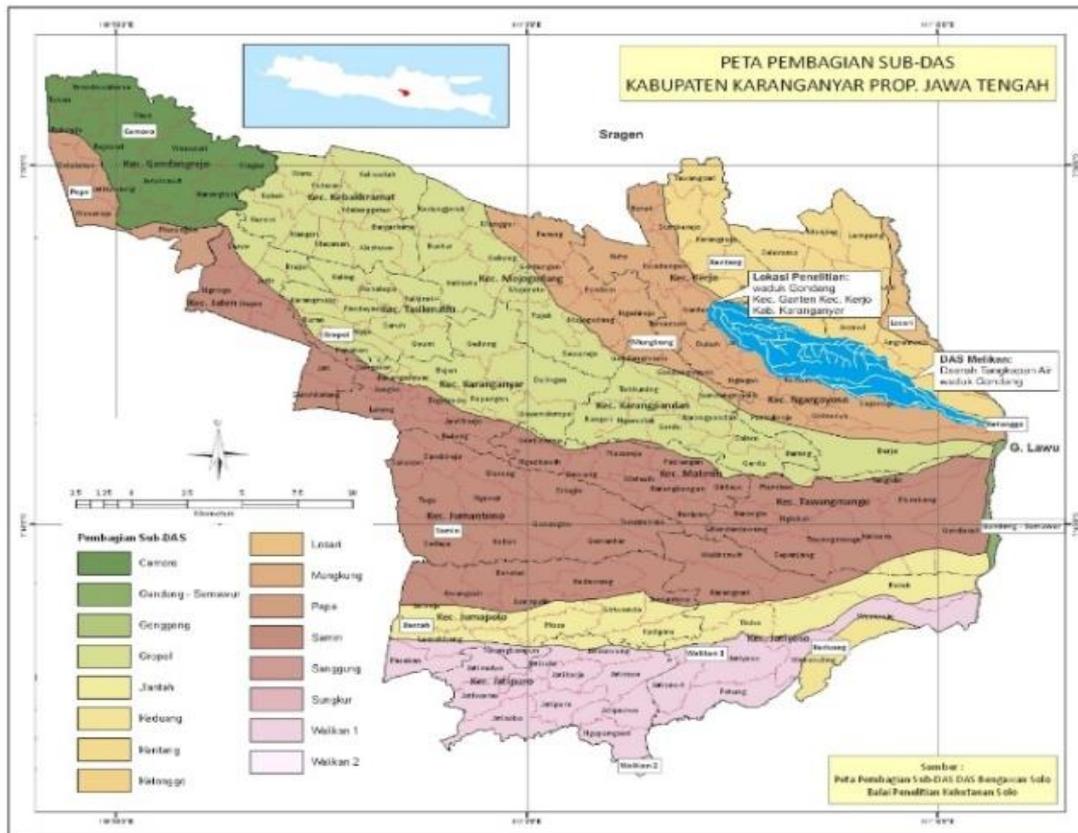
Murdiani, K.M., Sangkawati, S. & Sadono, K.W. (2020). Pemodelan Keruntuhan Bendungan Menggunakan HEC-RAS 2D Studi Kasus Bendungan Gondang, Kabupaten Karanganyar. *Rekayasa*, 13(2), 205-211. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i2.6872>

bendungan khususnya pada bendungan tipe urugan. *Internal erosion*/piping adalah migrasi atau perpindahan material dari core atau material pondasi yang menyebabkan terbentuknya rongga didalam bendungan atau pada pondasi bendungan (Novak et al, 2007). Akibat migrasi butir halus ini menyebabkan adanya rongga didalam tanah dan rongga ini menyebabkan kecepatan aliran tanah menjadi besar sehingga kegagalan bendungan dapat terjadi. Bendungan type urugan mempunyai potensi keruntuhan akibat rembesan (*seepage and piping*). Sebanyak 50% keruntuhan bendungan terjadi antara 0-5 tahun setelah dilakukan penggenangan (Azdan, M. D., & Samekto, 2008).

Adanya potensi bahaya yang besar ini harus dibuat *emergency action plan (EAP)* dengan hati-hati dan efektif. Input utama dari EAP adalah *dam break analysis (DBA)* (Lakshmi, V. A., Ambujam, N. K., & Balamurugan, 2017). Sumber data untuk menyusun *Action Plan* ini adalah hasil dari Dam Break Analysis berupa simulasi keruntuhan bendungan dan dampak yang

diakibatkan oleh keruntuhan bendungan berupa peta daerah terdampak. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan, mengamanatkan bahwa pemilik/pengelola Bendungan diwajibkan untuk menyiapkan Rencana Tindak Darurat (RTD) terhadap Bendungan yang dikelolanya. Rencana Tindak Darurat bertujuan untuk menjadi pedoman atau petunjuk para pengelola Bendungan maupun pemerintah yang berada pada daerah yang terkena resiko apabila mana terjadi kondisi darurat pada Bendungan.

Lokasi Bendungan Gondang secara astronomis terletak diantara 110° 40' - 110° 70' Bujur Timur dan 7° 28' - 7° 46' Lintang Selatan tepatnya di ruas Sungai Garuda di Dusun Gondang, Desa Ganten, Kecamatan Kerjo, Kabupaten Karanganyar. Pembangunan Bendungan Gondang bertujuan untuk menyuplai daerah irigrasi seluas 4.680 Ha di Kab. Karanganyar dan Kab. Sragen, air baku 200 lt/dt untuk Kab. Karanganyar, konservasi DAS (*Ground Water Recharge*), reduksi banjir 639,22 m³/detik .



Gambar 1. Peta pembagian DAS Bendungan Gondang Kabupaten Karanganyar

METODE PENELITIAN

Dalam makalah ini dilakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan hidrograf keruntuhan bendungan (*dam break*) menggunakan program HEC-HMS 4.2.1 kemudian dilanjutkan dengan simulasi keruntuhan bendungan *Dam Break Analysis* (DBA) dengan menggunakan program HEC-RAS 5.0.6. Untuk pemetaan genangan menggunakan bantuan *software* ArcGIS 10.5. Output dari penelitian ini adalah Peta Genangan Banjir khususnya daerah Kabupaten Karanganyar akibat Keruntuhan Bendungan dan analisis hasil Simulasi Keruntuhan Bendungan mengenai kedalaman, waktu tiba banjir, lama genangan banjir, kecepatan aliran, jarak dari bendungan pada setiap lokasi terpilih di hilir bendungan. Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2019 di universitas Diponegoro Semarang dengan sumber data sekunder dari pihak Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.

Input utama *Dam Break Analysis 2D* adalah peta digital, data hidrologi dan data teknis bendungan itu sendiri. Peta digital yang dibutuhkan setidaknya meliputi *Digital Elevation Model* (DEM), daerah tangkapan air (DTA) dan batas administrasi. Data Curah hujan terbaru yang digunakan adalah data 10 tahun terakhir hingga tahun 2005-2015 untuk mendapatkan hydrograph banjir. Data teknis bendungan berupa lengkung kapasitas waduk, sistem pengaliran dan pengukuran melintang dan memanjang sungai bagian hilir bendungan gondang sampai dengan muara. Jika terdapat bagian sungai yang belum diukur, dapat menggunakan input data peta DEM (*Digital Elevation Model*).

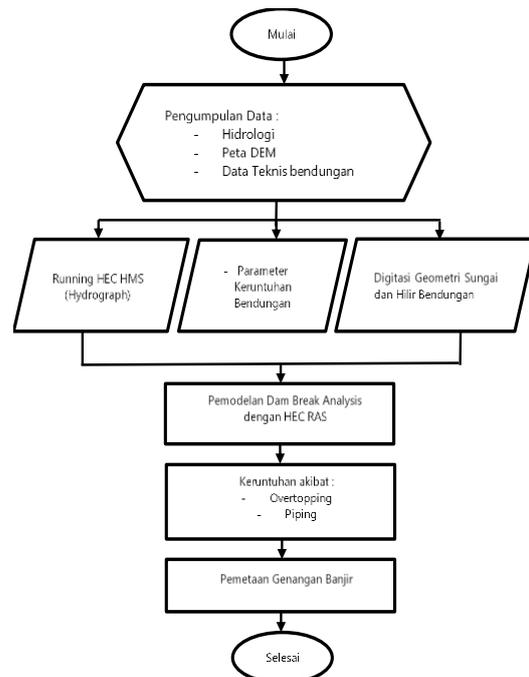
Keruntuhan bendungan (*dam break*) adalah terjadinya atau kemungkinan terjadinya keruntuhan bendungan atau tumpuan bendungan yang mengakibatkan keluaran air waduk dalam jumlah besar atau terjadi peningkatan jumlah keluaran air dari waduk yang tak terkendali, sehingga mengakibatkan keruntuhan bendungan.

HEC-RAS digunakan dengan menggunakan hasil perhitungan hidrograf aliran keluar dari bendungan dan routing banjir yang terjadi

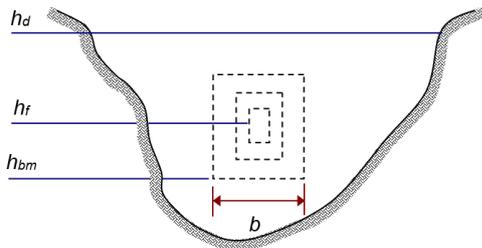
secara hidrolis di sepanjang lembah hilir. Proses keruntuhan bendungan dimulai dengan terjadinya rekahan (*breaching*). Rekahan adalah lubang yang terbentuk pada saat bendungan mengalami keruntuhan. Rekahan yang terjadi ditentukan dengan 2 cara yaitu *overtopping* dan *piping*. *Breaching* pada pemodelan ini menggunakan skenario *piping* dengan alasan bahwa *piping* menimbulkan dampak yang lebih luas (Xiong, 2011).

Skenario *piping breach* pada HEC-RAS, memulai perhitungan waktunya saat terjadi keluarnya debit air dan material dalam jumlah yang signifikan. Waktu keruntuhan (*breach time*) dinyatakan selesai bukan berdasar tampungan waduk yang sudah kosong, tetapi tubuh bendungan yang sudah tidak mengalami perubahan akibat *piping*, erosi dan longsor yang terjadi.

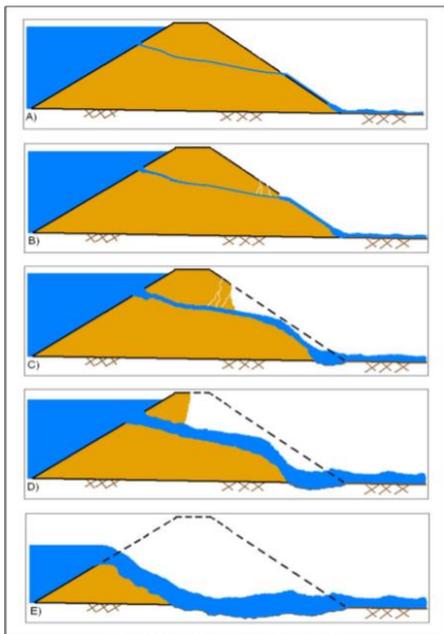
Skenario *piping* yang menjadi penyebab keruntuhan bendungan disimulasikan dengan menentukan elevasi titik pusat lubang rembesan (sumbu *piping*). Rekahan atau *Breaching* dimodelkan sebagai rekahan lubang rembesan dengan bentuk persegi panjang yang terlihat pada gambar 3.



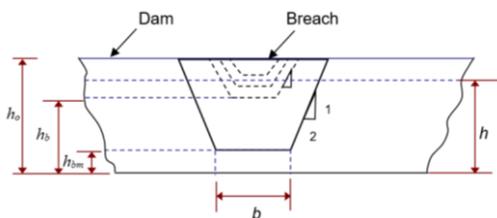
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Tampak Depan Rekahan akibat piping (Purwanto, P. I., Juwono, P. T., & Asmaranto, 2017)

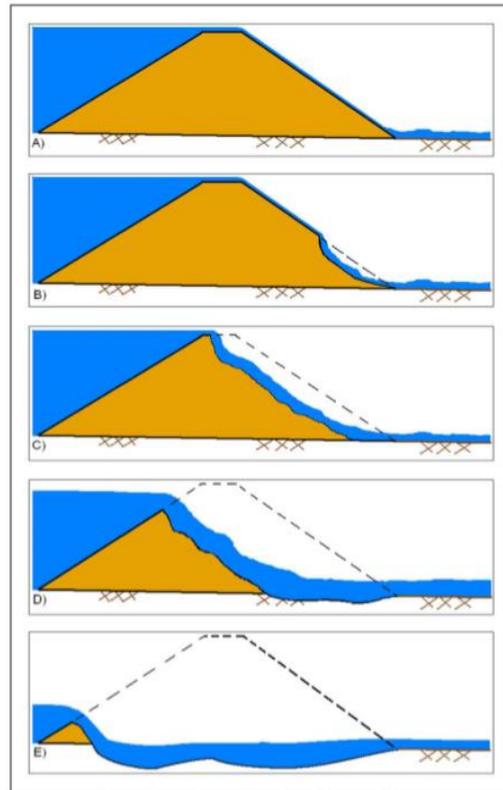


Gambar 4. Mekanisme Keruntuhan Akibat Piping (Hydrologic Engineering Center, 2014)



Gambar 5. Tampak Depan Perubahan Ukuran Rekahan akibat Overtopping (Hydrologic Engineering Center, 2014)

Dapat dilihat pada Gambar 5, terjadinya rekahan dimulai dari satu titik lalu semakin membesar dengan kecepatan linier ataupun nonlinier dalam waktu puncak banjir sama dengan waktu terbentuknya rekahan τ hingga tercapai lebar (b) dan dasar rekahan tererosi setinggi elevasi (h_{bm}) adalah elevasi dasar waduk.



Gambar 6 Mekanisme Keruntuhan Akibat Overtopping

Dalam simulasi keruntuhan bendungan, didapatkan formasi rekahan yang sebenarnya dimulai apabila elevasi muka air (h) melebihi nilai (h_f). Dalam pemodelan ini memungkinkan adanya simulasi melimpah (*overtopping*) dari suatu bendungan dimana rekahannya tidak akan terjadi hingga kapasitas aliran airnya cukup besar kemudian melewati puncak bendungan. Mekanisme *overtopping* dapat dilihat pada gambar 6.

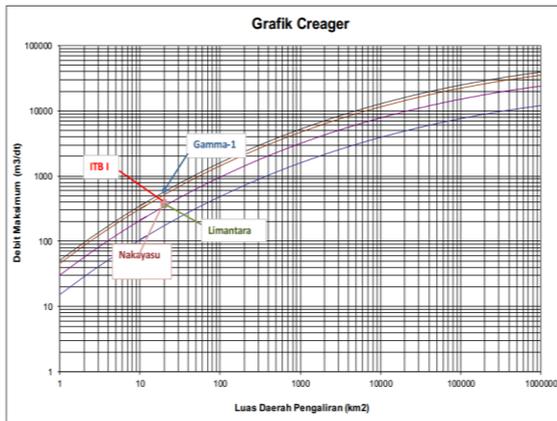
HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpengaruh terhadap Bendungan Gondang adalah 20,19 km². Sungai Utama yang melirai air pada Bendungan Gondang yaitu sungai Melikan dengan panjang sungai 14,33 km. Sumber air Bendungan Gondang yang mengalir dari bagian Hulu Gunung Lawu melewati Sungai Melikan dan sungai Garuda. Di Bagian muara aliran sungai bertemu dengan Sungai Bengawan Solo.

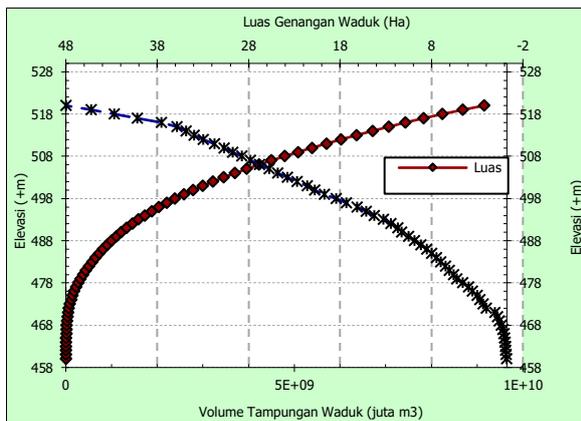
Analisis Banjir Rancangan

Data hujan yang digunakan dalam analisis diambil dari 3 stasiun hujan yaitu stasiun Kerjo, stasiun Kemuning dan Stasiun Jenawi. Hujan rancangan terdiri dari 2 yaitu hujan rancangan tiap kala ulang tertentu yang analisisnya dengan distribusi frekuensi dan hujan rancangan maksimum boleh jadi (PMP) yang analisisnya

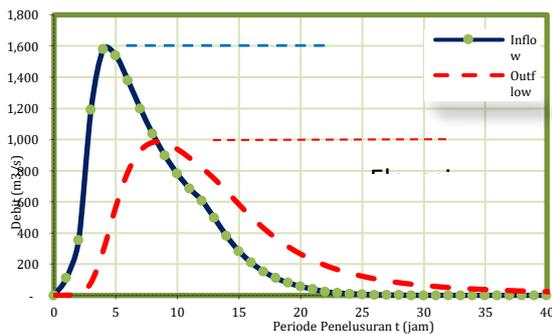
dengan cara *Hersfield* ataupun cara *Isohyete*, kemudian menentukan distribusi frekuensi mana yang mempunyai simpangan terkecil, maka dilakukan uji distribusi frekuensi dengan metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Square. (Badan Standarisasi Nasional, 2012). Hidrograf Satuan Sintetik Gamma-1, ITB-1, Limantara dan Nakayasu dapat karena masih berada di dalam range kurva Creager. Kemudian data yang dipilih adalah hasil analisa terbesar dari keempat metode yaitu HSS Gamma-1 dengan nilai debit banjir sebesar 609,46 m³/detik. Kurva Creager dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Creager Waduk Gondang (Bengawan Solo, 2012)

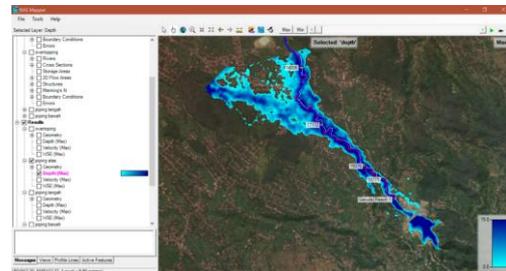


Gambar 9. Lengkung Kapasitas Waduk Gondang (Bengawan Solo, 2012)

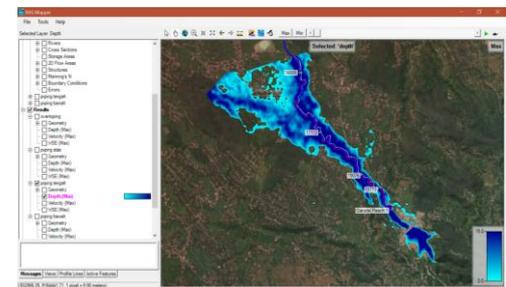


Gambar 10. Kapasitas Pelimpah Bendungan Gondang (Bengawan Solo, 2012)

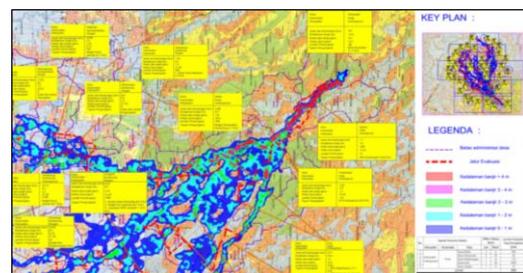
Lengkung kapasitas waduk ditunjukkan pada gambar 9, gambar genangan hasil pemodelan HEC RAS akibat piping atas dapat dilihat pada gambar 11 dan gambar genangan hasil



Gambar 11. Peta Genangan Banjir akibat piping atas (Hasil analisis, 2019)



Gambar 12. Peta Genangan Banjir akibat piping tengah (Hasil analisis, 2019)



Gambar 13. Peta Daerah terdampak di kabupaten Karanganyar (Balai Besar Wilayah Sungai, 2018)

pemodelan HEC RAS akibat piping tengah dapat dilihat pada gambar 12.

Analisis Keruntuhan Bendungan Gondang dilakukan dengan dua skenario keruntuhan bendungan (rekahan), yaitu rekahan rembesan akibat *piping* atas (pada elevasi puncak pelimpah) dan rekahan limpasan akibat *overtopping*. Hasil dari skenario rekahan rembesan maupun rekahan limpasan berupa peta daerah tergenang akibat keruntuhan bendungan didapatkan dengan cara *overlay* (ditumpuk dalam 2 lapis) antara peta banjir hasil simulasi dengan peta administrasi daerah letak Bendungan tersebut. Berdasarkan hasil analisa keruntuhan bendungan akibat piping atas, maka didapatkan lokasi terpilih dapat dilihat pada tabel 1. Lokasi Terpilih daerah terdampak akibat skenario *piping* pada daerah Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut :

Dambreak Bendungan Gondang pada skenario *Overtopping* debit PMF menghasilkan waktu datang banjir tercepat yang sampai ke pemukiman adalah 24 menit yaitu sampai di Desa Gempolan yang berjarak 0,6 km dari lokasi bendungan Gondang. Untuk skenario piping atas waktu datang banjir tercepat yang sampai ke pemukiman adalah 40 menit. Sedangkan skenario piping bawah waktu datang banjir tercepat adalah 32 menit dengan jarak terjauh

genangan banjir adalah 19,5 km dari lokasi bendungan. Simulasi keruntuhan Bendungan Gondang akibat Piping Tengah pada elevasi +495 m. Dengan kenyataan tersebut diatas, maka keruntuhan Bendungan Gondang yang akan menimbulkan dampak paling besar jika terjadi Piping Tengah akibat banjir PMF dengan puncak debit Q outflow = $902,40\text{m}^3/\text{det}$. Kejadian ini merupakan kondisi yang paling mungkin terjadi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pemodelan 2D pada analisis keruntuhan bendungan dapat memberikan data yang lebih rinci mengenai lokasi terdampak. Untuk daerah Kabupaten Karanganyar kedalaman banjir 4 meter dengan waktu datang banjir tercepat sampai ke pemukiman 24 menit. Pada pemodelan HEC RAS dapat ditingkatkan akurasi dengan memperbaiki kualitas input peta DEM (*Digital Elevation Model*) serta data pengukuran sungai cross dan long section bagian hilir Bendungan. Hasil analisis keruntuhan bendungan dengan HEC-RAS 5.0.6 untuk pengolahan simulasi model keruntuhan bendungan, dan software ArcGIS 10.5 untuk pemetaan genangan dapat digambarkan peta banjir akibat keruntuhan bendungan adalah terdapatnya 6 daerah terpilih di Kabupaten Karanganyar yang terdampak banjir yaitu Desa Gempolan, Desa Batok, Desa Kwadungan, Desa Kuto dan Desa Ganten.

Tabel 1. Daerah penerima resiko akibat runtuhnya Bendungan Gondang (BBWS BS, 2018)

No	Daerah Penerima Resiko			Waktu Datang Banjir		Jumlah Penduduk Yang Diungsikan (Jiwa)	Kedalaman Banjir (m)
	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Jam	Menit		
1	Karang	Kerjo	Botok	2	0	596	0 – 1
2	anyar		Gempolan	0	24	38	> 4
3			Kwadungan	1	12	115	2 – 3
4			Kuto	1	30	2045	0 - 4
5			Ganten	1	6	15	1 - 2
Jumlah						2809	

Tabel 2. Letak Lokasi daerah penerima resiko kabupaten karanganyar (BBWS BS, 2018)

No.	Daerah Penerima Resiko			Jarak Dari Bendungan	Waktu Datang		Tempat atau Lokasi Pengungsian				Jumlah Penduduk Yang	Waku Surut Banjir	
	Kabupaten	Kecamatan	Desa		Jam	Menit	Lokasi	Desa	Kecamatan	Jarak (km)		Jam	Menit
1	Kabupaten Karanganyar	Kerjo	Desa Botok	9.1	2	0	Majid Darrus Salam Kedawung	Botok	Kerjo	1.7	596	20	24
2			Desa Gempolan	0.6	0	24	SDN Gempolan 1	Gempolan	Kerjo	0.8	38	13	6
3			Desa Kwadungan	2.4	1	12	MTA Karanganyar	Kwadungan	Kerjo	0.5	115	15	36
			SDN Gempolan 1				Gempolan	Kerjo	1.0				
4			Desa Kuto	3.3	1	30	SDN Mojodoyong 4	Kuto	Kerjo	1.2	2045	19	36
	MTA Karanganyar	Kwadungan	Kerjo				2.3						
5	Desa Ganten	1.1	1	6	SDN Kwadungan 2	Ganten	Kerjo	0.8	15	13	25		

DAFTAR PUSTAKA

- Azdan, M. D., & Samekto, C. R. (2008). Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI 7746.(2012) "Tata cara perhitungan hujan maksimum boleh jadi dengan metode Hersfield.
- Balai Besar Wilayah Sungai, B. S. (2018). *Penyusunan RTD Bendungan Gondang Solo*.
- Bengawan Solo, B. B. W. S. (2012). *Detail Desain Pembangunan Waduk Gondang Kabupaten Karanganyar*.
- Fell et al., R. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams*.
- Hydrologic Engineering Center, C. U. A. C. of E. (2014). *Using HEC-RAS for Dam Break Studies*.
- Lakshmi, V. A., Ambujam, N. K., & Balamurugan, R. (2017). Emergency Action Plan (EAP) For Sathanur Dam. *International Journal OfLat-Est Research in Science and Technology*, 6(1), 46–51.
- Novak et al., A. I. B. M. and C. N. (2007). *Hydraulic Structures Fourth Edition*.
- Purwanto, P. I., Juwono, P. T., & Asmaranto, R. (2017). Analisa Keruntuhan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek, *Jurnal Teknik Pen-gairan*, 8(2), 222–230.
- Xiong, Y. (2011). A Dam Break Analysis Using HEC-RAS. *Journal of Water Resource and Protection*, 03(06), 370–379.