Analisis Spasial Risiko Banjir Bandang dengan Simulasi Keruntuhan Bendungan (*Dam Break*) pada Bendungan Randugunting

Dodhy Henri Rachmanto [1], Rizki Robbi Rahman Alam [2], Dwi Indriyani [3]

[1, 2, 3] Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email: [3] d.indriyani@ce.its.ac.id

Abstract

Randugunting Dam is a type of urugan dam, and one of the potential hazards that may occur in this dam is collapse, which can be caused by overtopping and piping. However, based on the flood spillway analysis, no overtopping occurred at Randugunting Dam with the highest flood discharge (QPMF). Therefore, simulations of dam collapse were conducted assuming that the collapse occurred due to piping. Dam collapse simulations were conducted using HEC-RAS software. The simulation modeled Normal Water Level (MAN) and Flood Water Level (MAB) conditions with upper, middle, and lower piping collapse scenarios. Input data for the simulation included dam technical data, QPMF discharge, and DEMNAS data. The simulation results show that there are 38 affected villages in 3 districts, with a total at-risk population of 20,345. The flood reach distance from the dam is 21,31 km. Spatial analysis using ArcGIS software was conducted on the flood inundation distribution map to evaluate the threat level, flood disaster risk, and hazard level classification of the Randugunting Dam. From the simulation results, it can be concluded that Randugunting Dam is included in the level 4 hazard classification, or very high hazard.

Keywords: *Dam Break, HEC-RAS, Piping, Randugunting Dam*

Abstrak

Bendungan Randugunting adalah tipe bendungan urugan, dan salah satu potensi bahaya yang mungkin terjadi pada bendungan ini adalah keruntuhan, yang bisa disebabkan oleh overtopping dan piping. Namun, berdasarkan analisis pelimpah banjir, tidak terjadi overtopping di Bendungan Randugunting dengan debit banjir tertinggi (QPMF). Oleh karena itu, simulasi keruntuhan bendungan dilakukan dengan asumsi bahwa keruntuhan terjadi karena piping. Simulasi keruntuhan bendungan dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Simulasi ini memodelkan kondisi Muka Air Normal (MAN) dan Muka Air Banjir (MAB) dengan skenario keruntuhan piping atas, tengah, dan bawah. Data masukan untuk simulasi termasuk data teknis bendungan, debit QPMF, dan data DEMNAS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ada 38 desa yang terkena dampak di 3 kabupaten, dengan total populasi yang terkena risiko sebanyak 20.345 jiwa. Jarak jangkauan banjir dari bendungan adalah 21,31 km. Analisis spasial menggunakan perangkat lunak ArcGIS dilakukan terhadap peta sebaran genangan banjir untuk mengevaluasi tingkat ancaman, risiko bencana banjir, dan klasifikasi tingkat bahaya Bendungan Randugunting. Dari hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa Bendungan Randugunting termasuk dalam klasifikasi bahaya tingkat 4, atau bahaya sangat tinggi.

Kata kunci: *Bendungan Rangunting, HEC-RAS, Keruntuhan Bendungan, Piping*

1. Pendahuluan

Menurut [1], Proyek Strategis Nasional (PSN) adalah proyek yang dijalankan oleh Pemerintah Daerah atau entitas usaha yang memiliki karakteristik strategis, bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan memperluas pembangunan dengan tujuan utama meningkatkan

kesejahteraan masyarakat dan pembangunan wilayah. Contoh dari implementasi PSN oleh pemerintah adalah proyek pembangunan Bendungan Randugunting.

Bendungan Randugunting terletak di Desa Kalinanas, Kecamatan Japah, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah. Ini adalah bendungan tipe urugan random inti tegak, dengan tinggi dari dasar sungai mencapai 31 meter. Volume tampungan normal waduk adalah sekitar 10,41 juta meter kubik pada ketinggian elevasi +94,27 meter, sedangkan volume tampungan maksimumnya mencapai 14,42 juta meter kubik. Luas genangan maksimum waduk adalah 187,19 hektar, dan elevasi puncak bendungan adalah +99,00 meter.

Bendungan Randugunting dirancang untuk memenuhi beberapa keperluan, seperti irigasi, penyediaan air baku, pembangkit listrik, dan pengendalian banjir. Namun, selain memberikan manfaat positif, keberadaan Bendungan Randugunting juga membawa potensi bahaya yang signifikan. Potensi bahaya pada bendungan tipe urugan meliputi risiko keruntuhan, yang dapat disebabkan oleh overtopping, di mana air melimpas melalui puncak bendungan dan menyebabkan erosi serta longsoran pada tubuh bendungan. Keruntuhan juga dapat disebabkan oleh erosi buluh atau piping.

Studi menunjukkan bahwa keruntuhan bendungan karena rembesan menyumbang sekitar 28% dari total penyebab runtuhnya sebuah bendungan. Sebanyak 50% keruntuhan bendungan terjadi dalam rentang waktu 0-5 tahun setelah dilakukan penggenangan.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah menyusun tiga konsep utama untuk mencegah kegagalan bendungan, salah satunya adalah kesiapsiagaan tindak darurat. Salah satu aspek penting dalam kesiapsiagaan tindak darurat adalah menyiapkan Rencana Tindak Darurat (RTD).

Dokumen RTD akan menjadi pedoman bagi pengelola bendungan saat terjadi kondisi darurat. Penyusunan RTD ini dilengkapi dengan analisis keruntuhan bendungan. Analisis keruntuhan bendungan (Dam Break Analysis) bertujuan untuk mensimulasikan keruntuhan pada suatu bendungan. Hasil dari simulasi ini mencakup:

1. Sebaran Wilayah Tergenang: Menentukan area yang akan terkena dampak genangan air.
2. Tinggi Muka Air Genangan: Menghitung ketinggian air pada area yang terkena genangan.
3. Cepat Rambat Aliran Banjir (Flood Travel Time): Menentukan waktu yang diperlukan air banjir untuk mencapai area-area tertentu.

Dengan analisis ini, risiko bencana pada wilayah hilir bendungan yang terkena dampak dapat diketahui. Informasi ini sangat penting untuk menyusun langkah-langkah evakuasi dan tindakan darurat lainnya guna mengurangi kerugian dan menyelamatkan nyawa serta properti. Dengan analisis tersebut maka dapat diketahui risiko bencana pada wilayah-wilayah yang terkena dampak bencana [4].

Berdasarkan [6] tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Rencana penanggulangan bencana adalah rencana yang mencakup penyelenggaraan penanggulangan bencana di suatu daerah dalam kurun waktu tertentu dan menjadi salah satu dasar pembangunan daerah. Rencana ini harus mempertimbangkan berbagai indikator kerentanan untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko bencana. Terdapat empat indikator utama yang digunakan dalam analisis kerentanan:

1. Kerentanan Sosial: Mencakup aspek-aspek seperti jumlah penduduk, demografi, tingkat pendidikan, dan kapasitas masyarakat untuk merespon bencana. Kerentanan sosial juga mempertimbangkan kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan orang dengan disabilitas.
2. Kerentanan Ekonomi: Berkaitan dengan tingkat kemiskinan, ketahanan ekonomi, dan dampak ekonomi yang mungkin terjadi akibat bencana. Ini mencakup analisis terhadap sektor-sektor ekonomi yang rentan terhadap gangguan dan potensi kerugian ekonomi.
3. Kerentanan Fisik: Meliputi kondisi infrastruktur, bangunan, dan fasilitas umum yang rentan terhadap kerusakan akibat bencana. Kerentanan fisik juga mempertimbangkan tata letak geografis dan kualitas konstruksi bangunan di daerah tersebut.
4. Kerentanan Ekologi: Berkaitan dengan kondisi lingkungan dan ekosistem yang dapat memperburuk atau mengurangi dampak bencana. Ini termasuk analisis terhadap degradasi lingkungan, deforestasi, dan keberlanjutan ekosistem alami.

Dengan mempertimbangkan keempat indikator ini, rencana penanggulangan bencana dapat dirancang secara komprehensif dan efektif untuk mengurangi risiko dan dampak bencana, serta meningkatkan ketahanan masyarakat dan lingkungan terhadap bencana.

Untuk itu penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui simulasi sebaran wilayah yang tergenang pada hilir bendungan dan untuk mengetahui zona risiko bencana banjir bandang serta tingkat bahaya bendungan yang diakibatkan keruntuhan Bendungan Randugunting berdasar pada tingkat kerentanan fisik dan sosial.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk menyaring, memilih data yang layak digunakan, dan mengetahui karakterisitik hidrologi di Bendungan Randugunting. Tujuan dilakukan analisis hidrologi untuk memperkirakan hidrograf banjir *inflow* ke waduk berupa debit banjir Maksimum Boleh Jadi (PMF) yang mengakibatkan bendungan mengalami *over-topping*.

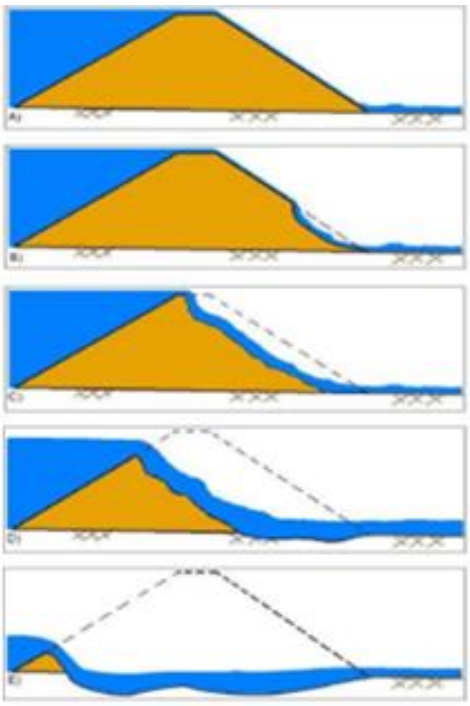
Analisi Keruntuhan Bendungan

Analisis keruntuhan bendungan (*Dam Break Analysis*) merupakan analisis yang memiliki tujuan untuk mensimulasikan terjadinya keruntuhan pada suatu bendungan, hasil dari simulasi keruntuhan bendungan berupa sebaran wilayah tergenang banjir. Sebaran wilayah tergenang banjir tersebut, kemudian dilakukan analisis berupa pemetaan genagan banjir, kedalam genangan banjir, dan cepat rambat aliran banjir (*flood travel time*). Dengan analisis tersebut dapat diketahui risiko bencana pada wilayah hilir bendungan yang terkena dampak bencana.

Mekanisme Keruntuhan Bendungan

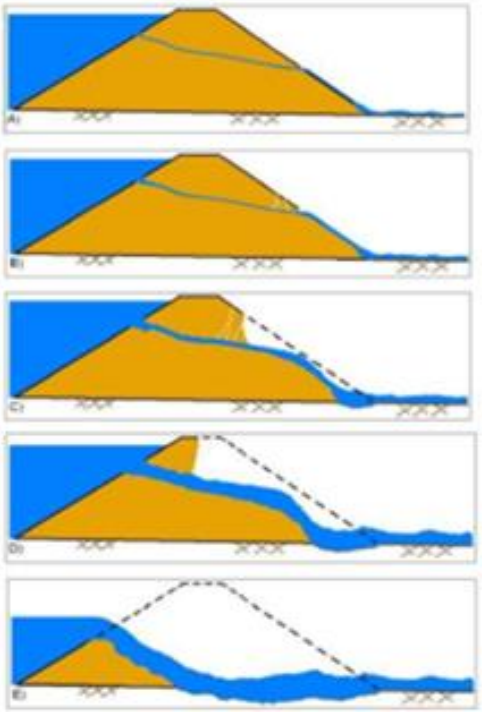
Keruntuhan bendungan dengan tipe urugan, terjadi akibat 2 hal yaitu: kondisi muka air pada waduk meluap atau melebihi elevasi puncak bendungan (*overtopping*) dan terjadinya aliran dalam tanah pada tubuh bendungan (*piping*).

Mekanisme keruntuhan bendungan akibat *over-topping* pada **Gambar 1**. Kejadian pertama terjadi diawali dengan meluapnya air akibat pelimpah tidak mampu melewatkan debit *inflow*, sehingga waduk mengalami kelebihan kapasitas tampungan dan muka air waduk melebihi puncak bendungan **(Gambar 1. A**). Akibat derasnya arus yang meluncur dari puncak bendungan menuju bagian hilir tubuh bendungan, mengakibatkan terjadinya erosi pada kaki bagian hilir bendungan (**Gambar 1. B**). Erosi tersebut mengakibatkan gerusan yang semakin naik dan mulai menggerus pada puncak bendungan (*dam crest*) dan lebar puncak bendungan menjadi semakin kecil sehingga menyebabkan puncak bendungan ber-bentuk runcing (**Gambar 1. C**). Selanjutnya keruntuhan puncak bendungan akan berlangsung terjadi dan bentuk rekahan menyerupai trapesium (**Gambar 1. D**). Gerusan yang bermula terjadi pada bagian kaki bendungan bagian hilir kemudian naik sampai puncak bendungan dan menyebabkan terjadinya gerusan pada tubuh bendungan yang sejalan dengan aliran yang keluar pada tubuh bendungan, bentuk rekahan tersebut akan terus menerus melebar dan meruntuhkan tubuh bendungan dengan lebar rekahan tertentu (**Gambar 1. E**).



Gambar 1. Mekamisme keruntuhan akibat *overtopping*
Sumber: [5]

Piping yang terjadinya karena adanya rembesan pada tubuh bendungan dapat mengakibatkan keruntuhan pada bendungan, dikarenakan fenomena erosi pada material dan tubuh bendungan yang terangkut keluar. Rembesan terjadi pada tubuh bendungan disebabkan oleh adanya rongga udara, rongga udara tersebut menjadi awal mula pemicu terben-tuknya lubang kecil. Lubang kecil tersebut dapat memicu aliran air keluar lebih besar dari kondisi semula, sehingga terjadi erosi pada material tubuh bedungan (**Gambar 2. A**). Selama *piping* berlangsung, penggerusan dan erosi terus menerus terjadi pada bagian lereng di hilir bendungan (**Gambar 2. B**). Saat *piping* dan kondisi lubang membesar, mulai tergerus material bagian atas lubang dan berjatuhan memenuhi aliran air (**Gambar 2. C**). Proses penggerusan dan jatuhnya material bagian atas lubang akan merambat dari puncak bendungan hingga ke lereng bendungan bagian hulu bersamaan dengan membersarnya ukuran lubang *piping* (**Gambar 2. D**). Aliran dalam lubang yang memiliki tekanan, mengalami transisi hidraulik menjadi aliran terbuka di atas ambang rekahan yang semakin melebar sampai terjadi bentuk dasar aliran alami dan memasuki fase pelebaran rekahan hingga batas ukuran dan waktu tertentu (**Gambar 2. E**).

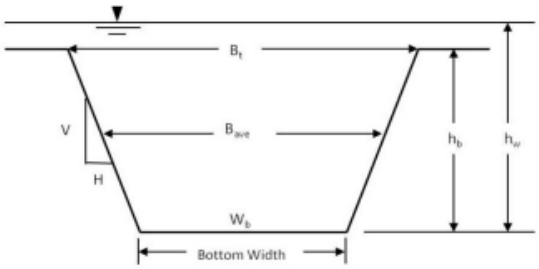


Gambar 2. Mekamisme keruntuhan akibat *piping*

Sumber: [5]

Parameter Keruntuhan Bendungan

Parameter keruntuhan bendungan yang dimaksud adalah posisi terjadi rekahan, ukuran rekahan, ben-tuk rekahan, dan waktu keruntuhan. Parameter ke-runtuhan bendungan tersebut sangat sulit untuk didefinisikan dalam formulasi matematik eksak. Oleh karena itu, parameter keruntuhan disederhanakan menjadi lebar rerata rekahan, sudut kemiringan sisi rekahan (bentuk trapeium), dan waktu total keruntuhan. Penyederhanaan model keruntuhan dapat dilihat pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Deskripsi Parameter Keruntuhan

Sumber: [5]

Permodelan Keruntuhan Bendungan

Permodelan keruntuhan bendungan dilakukan dengan mempertimbangkan dua kondisi utama:

1. Keruntuhan Bendungan pada Cuaca Cerah (*Sunny Day Breach*):
   - Kondisi: Waduk terisi penuh dengan muka air pada level normal (*normal pool level*).
   - Skenario Keruntuhan: Simulasi dilakukan dengan skenario keruntuhan akibat piping (perembesan air) yang dapat terjadi di bagian atas, tengah, atau bawah bendungan.
2. Keruntuhan Bendungan pada Kondisi Banjir Desain (*Design Flood Breach*):

- Kondisi: Waduk terisi penuh dengan muka air pada level maksimum yang diantisipasi selama banjir desain (*maximum design flood level*), dan inflow hidrograf (grafik aliran masuk) sama dengan inflow banjir desain.
- Skenario Keruntuhan: Simulasi dilakukan dengan skenario keruntuhan akibat piping di bagian atas, tengah, atau bawah bendungan.

Dalam kedua kondisi tersebut, tujuan dari permodelan adalah untuk memahami bagaimana bendungan akan runtuh dan dampaknya terhadap wilayah sekitarnya. Analisis ini mencakup beberapa aspek penting:

- Sebaran Wilayah Tergenang: Area yang akan terkena dampak genangan air akibat keruntuhan.
- Kedalaman Genangan Banjir: Kedalaman air di wilayah yang tergenang.
- Cepat Rambat Aliran Banjir (Flood Travel Time): Waktu yang diperlukan bagi aliran banjir untuk mencapai area tertentu setelah keruntuhan bendungan.

Dengan menggunakan kedua skenario keruntuhan ini, pengelola bendungan dapat membuat Rencana Tindak Darurat (RTD) yang lebih akurat dan efektif. RTD ini akan menjadi pedoman dalam situasi darurat untuk mengurangi risiko dan dampak bencana terhadap masyarakat dan infrastruktur di wilayah hilir bendungan.

Simulasi Keruntuhan Bendungan

Simulasi keruntuhan Bendungan Randugunting menggunakan perangkat lunak HEC-RAS, simulasi keruntuhan bendungan dimaksud untuk mengetahui pengaruh keruntuhan bendungan terhadap daerah hilir bendungan. Permodelan simulasi keruntuhan bendungan dimodelkan dengan kondisi cuaca cerah dimana waduk terisi penuh setinggi Muka Air Normal (MAN) dan muka air waduk setinggi banjir desain dimana *inflow* hidrograf sama dengan banjir rencana. Hasil dari simulasi keruntuhan bendungan diperoleh peta sebaran genangan banjir pada daerah hilir bendungan. Berdasarkan analisis penelusuran banjir di atas pelimpah, Bendungan Randugunting tidak mengalami *overtopping* dengan debit banjir Q_{PMF}. Oleh karena itu, simulasi keruntuhan bendungan menggunakan skenario *piping* atas, *piping* tengah, dan *piping* bawah.

Parameter keruntuhan bendungan yang digunakan pada perangkat lunak HEC-RAS menggunakan persamaan Froclich. Adapun *input* data pada perangkat lunak HEC-RAS berupa data debit Q_{PMF}, data teknis bendungan, dan peta DEM (*Digital Elevation Model*).

Analisis Sebaran Genangan Banjir

Analisis sebaran genangan banjir untuk mengetahui luasan genangan banjir, kedalaman banjir, dan mengetahui wilayah pada bagian hilir bendungan yang terkena genangan akibat banjir yang disebabkan oleh keruntuhan bendungan.

Parameter Risiko Bahaya Bencana Banjir

Berdasarkan [6] terdapat pembagian kelas untuk ancaman bahaya bencana banjir yang berdasarkan kedalaman genangan, kedalaman air <0,76 m merupakan kelas bahaya rendah, kedalaman air 0,75-1,5 m merupakan kelas bahaya sedang, dan kedalaman air >1,5 m merupakan kelas bahaya tinggi.

Pada [6] terdapat indeks kerentanan yang diantaranya terdapat kerentanan sosial, fisik, ekonomi, dan ekologi/lingkungan. Dalam penelitian ini menggunakan kerentanan sosial, fisik dan terhadap jarak hilir bendungan.

Sedangkan risiko bencana banjir dapat dianalis ber-dasarkan hasil perkalian antara komponen ancaman bahaya dan kerentanan. Berdasarkan [6] hasil dari indeks perkalian perlu dikoreksi untuk mendapatkan kembali dimensi asalnya. Untuk melakukan koreksi dapat menggunakan persamaan (1).

$$R = (H \times V) \quad (1)$$

ISSN (*Online*) 2747-0733

Risiko bencana banjir dapat diidentifikasi meng-gunakan matriks antara kelas bahaya dan kelas kerentanan (**Tabel 1**). Penilaian kelas risiko ber-dasarkan matriks tersebut dapat dilakukan berdasarkan klasifikasi nilai/skor kelas bahaya dan kelas kerentanan yang berada dalam rentang (*interval*) nilai yang sama.

Klasifikasi Bahaya Bendungan

Apabila mengacu pada keputusan Direktur Jenderal Sumber Daya Air tentang Pedoman Teknis Konstruksi dan Bangunan Sipil untuk pengelompokan bahaya bendungan, terdapat 4 (empat) kelas yang menjadi klasifikasi bahaya bendungan dimana pembagian kelas tersebut berdasarkan pada keseluruhan PenRis (Pendu-duk Terkena Risiko). PenRis adalah semua pen-duduk yang bermukim di bagian hilir bendungan yang beresiko tinggi apabila bendungan menga-lami keruntuhan, pembagian kelas bahaya bendungan adalah sebagai berikut: tingkat bahaya sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah.

Tabel 2. Matrik peneliaian tingkat risiko banjir bandang

Kelas Risiko		Kelas Kerentanan		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Kelas Bahaya	Rendah	Rendah	Rendah	Sedang
	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi
	Tinggi	Sedang	Tinggi	Tinggi

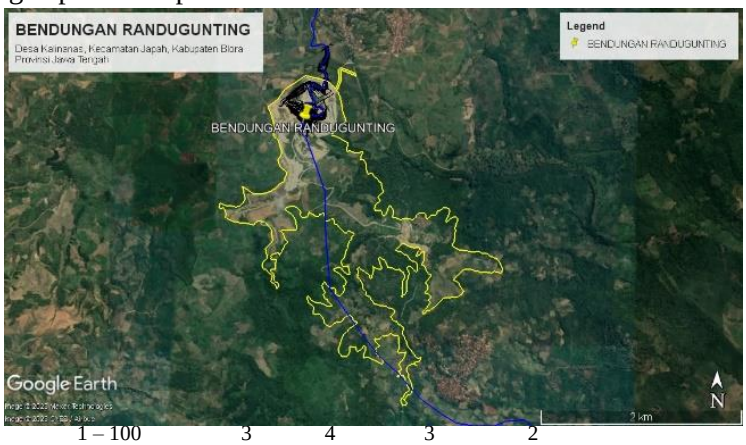
Sumber: [6]

PenRis dapat diidentifikasi melalui peta gena-ngan hasil simulasi keruntuhan bendungan. Tingkat bahaya bendungan diperoleh dari keterkaitan antara jumlah PenRis dalam jiwa atau KK (1 KK = 5 orang) dan jarak mukim PenRis dari bendungan. Berdasarkan kelas bahaya bendungan (**Tabel 2**) menunjukan matrik keseluruhan penduduk yang berisiko terkena keruntuhan bendungan.

2. Metode

Lokasi Penelitian

Secara geografis Bendungan Randugunting terletak pada koordinat 6° 52' 19.41" LS - 111° 15' 30.20" BT, berada di Desa Kalinanas Kecamatan Japah, Kabupaten Blora Jawa Tengah. Lokasi Bendungan Randugunting dapat dilhat pada **Gambar 4**.



1 – 100	3	4	3	2
101 – 1000	4	4	3	3
> 1000	4	4	4	4

Sumber: [6]

Gambar 4. Lokasi Penelitian

Data analisis simulasi keruntuhan bendungan

Pada penelitian ini terdapat 5 data yang digunakan untuk menganalisis risiko bencana banjir akibat simulasi keruntuhan bendungan antara lain sebagai berikut:

1. Data Teknis Bendungan
2. Data debit banjir Q_{PMF}

3. Peta DEM (*Digital Elevation Model*)
4. Peta RBI (Rupa Bumi Indonesia)
5. Data Penduduk

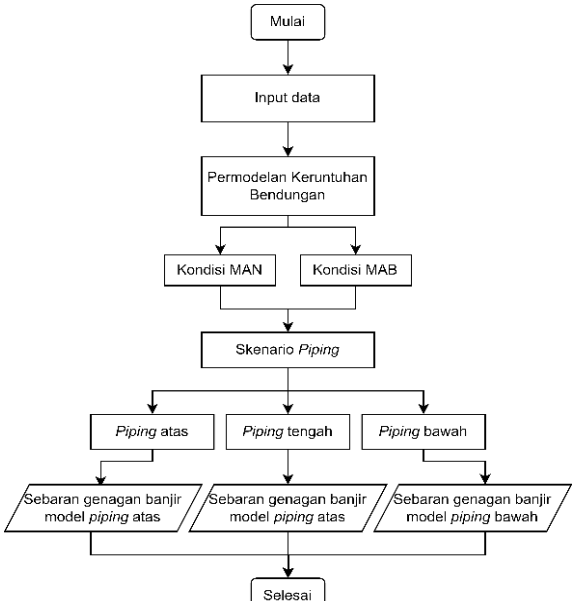
Tahapan proses pnalisis simulasi keruntuhan bendungan dengan *software* HEC-RAS

Pada tahapan proses simulasi keruntuhan bendu-ngan dengan menggunakan *software* HEC-RAS bisa dilihat pada bagan alir (**Gambar 5**).

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Hidrologi

Bendungan Randugunting memiliki luas *catcment area* 17,98 km^2 dan terdapat dua stasiun hujan terdekat yang digunakan yaitu: Stasiun Hujan To-danan dan Tunjungan. Stasiun hujan tersebut memi-liki data selama 13 tahun (2010-2022). Data tersebut kemudian dilakukan Uji Lengkung Massa Ganda kemudian data hujan yang telah terkoreksi dilakukan analisis curah hujan rerata wilayah menggunakan *Thiessen Polygon* yang dilakukan dengan data harian.



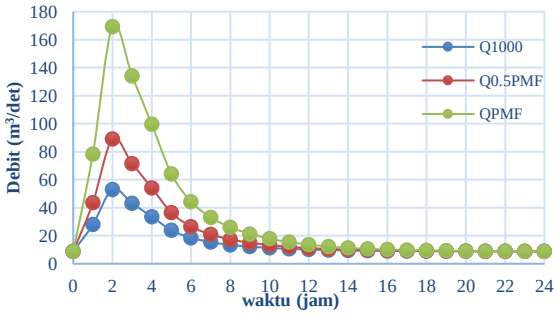
Tabel 3. Curah hujan rencana

Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rencana (mm)
2	79,172
5	97,885
10	108,402
25	120,102
50	127,890
100	134,987
200	141,591
1000	155,671
PMP	575,000

Gambar 5. Bagan alir simulasri keruntuhan bendungan dengan *software* HEC-RAS

Perhitungan curah hujan rencana menggunakan distribusi *Log Pearson Type III* dengan periode ulang tertentu, kemudian dilakukan perhitungan curah hujan maksimum boleh jadi (PMP) meng-gunakan metode *harsfield*. Per-hitungan curah hujan boleh jadi (PMP) dibandingan dengan peta *isohyet* PMP dan didapatkan PMP dengan nilai ter-tinggi menggunakan peta *isohyet*. Rekapitulasi hasil perhitungan curah hujan rencana dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Debit banjir rencana dihitung menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu dengan dis-tribusi hujan 3 jam metode mononobe. Pada **Gambar 6** menampilakna nilai debit banjir rencana de-ngan periode ulang tertentu.



Gambar 6. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Penelusuran banjir pelimpah dilakukan untuk mengetahui bendungan beresiko *overtopping* atau tidak, pada Bendungan Randugunting dilakukan analisis penelusuran banjir di atas pelimpah dengan debit banjir rencana Q_{PMF}. Hasil dari analisis tersebut didapatkan bahwa Bendungan Randugunting tidak mengalami *overtopping*.

Permodelan Simulasi Keruntuhan pada HEC-RAS

Berdasarkan hasil analisis penelusuran banjir di atas pelimpah Bendungan Randugunting tidak mengalami *overtopping* dengan menggunakan debit banjir desain Q_{PMF}. Oleh karenanya, simulasi pada model keruntuhan Bendungan Randugunting di asumsikan menggunakan skenario *piping* bawah, tengah, dan atas. Kondisi skenario keruntuhan bendungan dimodelkan dengan kondisi cerah dimana waduk terisi penuh setinggi muka air normal dan muka air waduk setinggi banjir desain, dimana *inflow* hidrograf setara banjir rencana.

Terdapat 2 syarat batas (*boundary condition*) dalam model simulasi keruntuhan bendungan yaitu sebagai berikut:

a. Keadaan batas hilir berupa *stage hydrograph* yang menjadi *input data* berupa data pasang surut.
b. Keadaan batas pada *storage area* terdapat lateral *inflow* digunakan data berupa debit rancangan Q_{PMF}.

Tabel 4. Standar keruntuhan bendungan

Parameter	Satuan	*Piping*					
		Kondisi MAB			Kondisi MAN		
		Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
Tampungan Waduk (Vw)	x1000 m^3	14635.72	14635.72	14635.72	10156.20	10156.20	10156.20
Konstanta (Ko)		1	1	1	1	1	1
Tinggi Rekahan	m	24	24	24	24	24	24
Koefisien Gravitasi	m/det^2	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
Center Station		240	240	240	240	240	240
Final Bottom Width	m	39	39	39	39	39	39
Final Bottom Elevation	m	75	75	75	75	75	75
Left Slide Slope		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Right Slide Slope		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Breach Weir Coef		1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
Breach Formation Time	jam	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Failure Mode		√	√	√	√	√	√
Piping Coefficient		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Initial Piping Elevation	m	94.27	86.72	75.40	94.27	86.72	75.40
Trigger Failure at		Set Time	Set Time	Set Time	Set Time	Set Time	Set Time
Start Date		27-Apr-23	27-Apr-23	27-Apr-23	27-Apr-23	27-Apr-23	27-Apr-23
Start Time		0200	0200	0200	0200	0200	0200

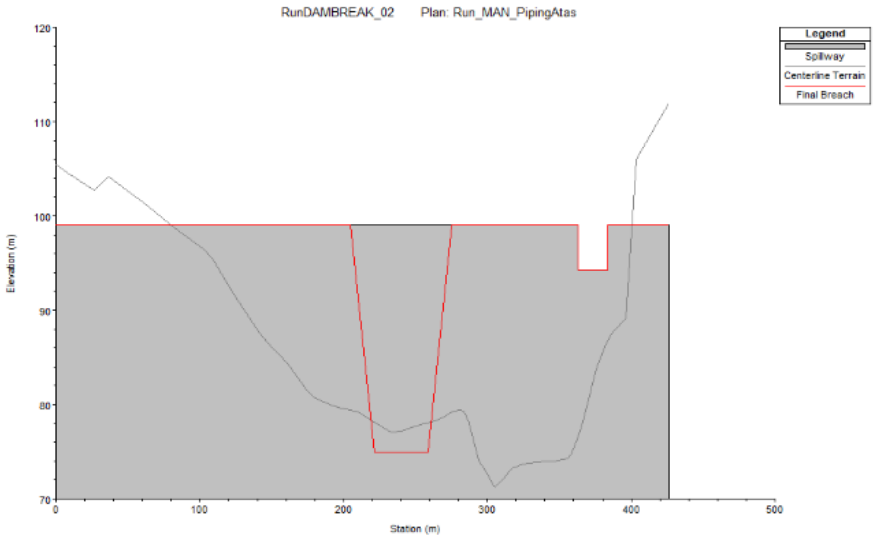
(Sumber: (Hasil Analisis, 2023)
Keterangan : √ adalah *piping*

Paramater simulasi keruntuhan bendungan pada *software* HEC-RAS menggunakan persamaan Frochlich dapat dilihat pada **Tabel 4**. Bentuk kerun-tuhan bendungan pada *software* HEC-RAS dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Tabel 5. Luas genangan banjir akibat keruntuhan bendungan randugunting

Skenario			Luas (m^2)	Luas (ha)
Kondisi MAB	Pasut Normal	Piping Atas	28.030.363,58	2.803,036
		Pipng Tengah	28.079.811,34	2.807,981
		Piping Bawah	28.046.146,77	2.804,615
	Pasut Max	Piping Atas	31.939.570,59	3.193,957
		Pipng Tengah	31.982.725,03	3.198,273
		Piping Bawah	31.957.238,32	3.195,724
Kondisi MAN	Pasut Normal	Piping Atas	23.490.657,18	2.349,066
		Pipng Tengah	23.284.879,23	2.328,488
		Piping Bawah	23.334.245,25	2.333,425
	Pasut Max	Piping Atas	27.692.369,38	2.769,237
		Pipng Tengah	27.453.795,53	2.745,380
		Piping Bawah	27.542.201,56	2.754,220

(Sumber: (Hasil Analisis, 2023)



Gambar 7. Bentuk Keruntuhan Bendungan pada *Software* HEC-RAS
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Gambar 7 merupakan bentuk keruntuhan *piping* (bentuk trapesium) pada *software* HEC-RAS, bentuk kerentuhan didapatkan menggunakan persamaan Frochlich.

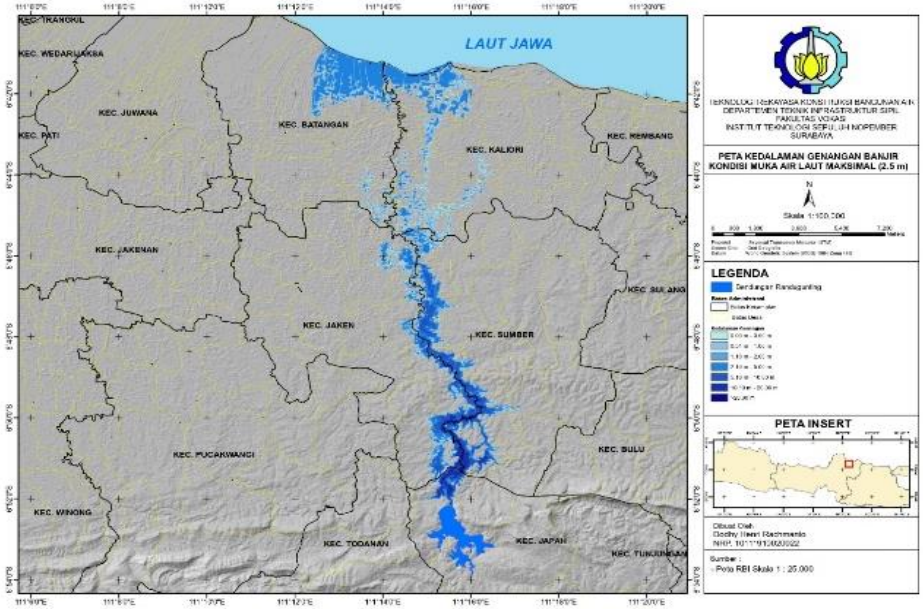
Hasil Simulasi Keruntuhan Bendungan

Karakterisitik banjir yang didapatkan dari hasil simulasi keruntuhan Bendungan Randugunting berbeda untuk setiap skenario kejadian keruntuhan. Karakteristik banjir dapat dilihat dari sebaran banjir, sebaran banjir dapat dicari luasan sebaran banjir menggunakan *software* ArcGIS. Luas sebaran banjir dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Berdasarkan **Tabel 5** dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi keruntuhan bendungan dengan kon-disi terekstrim dihasilkan oleh skenario *piping* tengah dengan kondisi Muka Air Banjir (MAB) pada kondisi di muara sungai mengalami pasang maksimal. Luas sebaran genagan banjir yang dihasilkan dari skenario *piping* tengah tersebut sebesar 3.198,273 ha.

Pemetaan Kedalaman Genangan Banjir

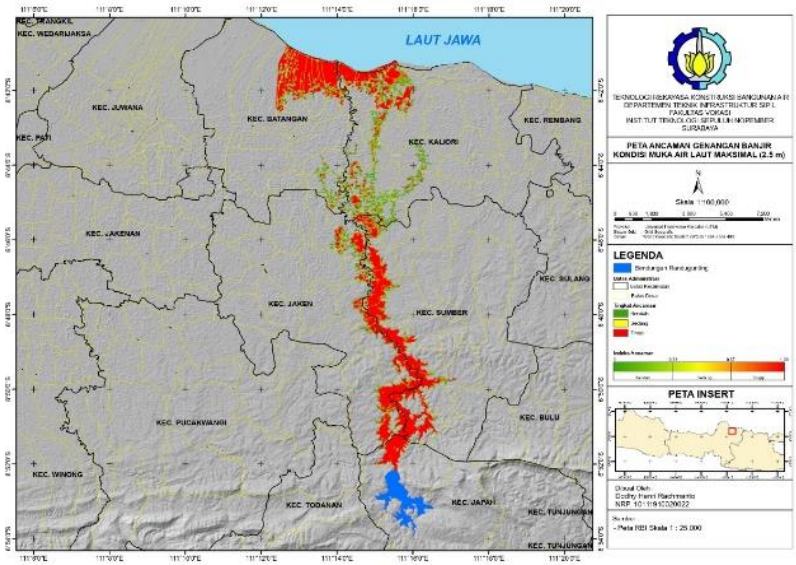
Keruntuhan Bendungan Randugunting mengakibatkan genangan banjir, genangan banjir dapat menimbulkan korban jiwa maupun kerugian harta benda. Untuk dapat mengetahui daerah mana saja yang mengalami dampak dari genangan banjir aki-bat keruntuhan bendungan, maka diperlukan peme-taan genangan banjir. Dalam pemetaan genangan banjir skenario keruntuhan Bendungan Randu-gunting yang dipilih adalah *piping* tengah pada saat Muka Air Banjir (MAB) dengan kondisi muka air laut dalam kondisi pasang maksimal yaitu 2,5 m dari dasar laut. Pemetaan genagan banjir menggunakan perangkat lunak ArcGIS, hasil pemetaan tersebut didapatkan informasi sebanyak 35 desa yang terkena dampak akibat genagan banjir. Pemetaan banjir dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Pemetaan wilayah tergenang pada hilir bendungan akibat simulasi keruntuhan bendungan
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Analisis Ancaman Bahaya Banjir

Analisis ancaman banjir mengacu pada peraturan BNPB nomor 12 tahun 2012, dalam peraturan ter-sebut menggunakan *skoring* yang berdasarkan dari tingkat kedalaman banjir. **Gambar 9** merupakan hasil *skoring* untuk menentukan zona ancaman ba-haya bencana banjir.



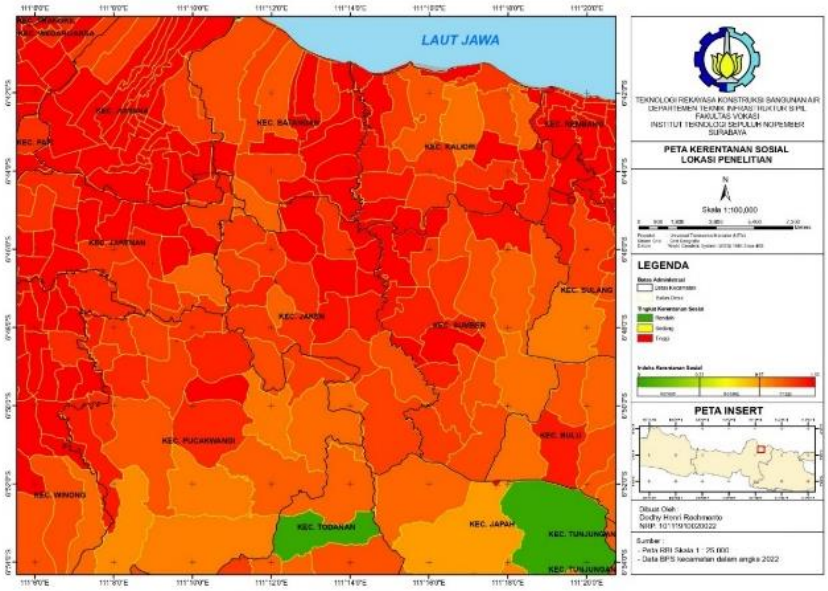
Gambar 9. Peta ancaman bahaya banjir akibat simulasi keruntuhan bendungan
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Analisis Kerentanan (*Vulnerability*) Banjir

Berdasarkan [6] terdapat indeks kerentanan, diantaranya terdapat kerentanan sosial, fisik, ekonomi, dan ekologi/lingkungan. Dalam analisis kerentanan genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Randugunting yang menjadi indikator adalah kerentanan sosial, keren-tanan fisik, dan kerentanan terhadap jarak hilir bendungan.

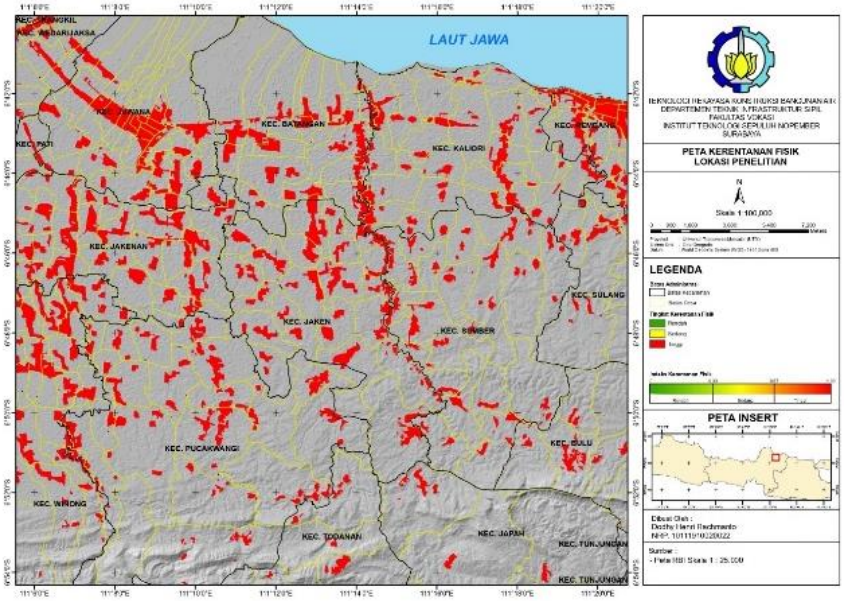
Terdapat 4 indikator yang digunakan dalam analisis kerentanan sosial yaitu kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, kemiskinan, dan kelompok umur de-ngan umur dibawah 6 tahun dan umur di atas 60 tahun. Indikator tersebut memiliki bobot masing-masing, untuk kepadatan penduduk sebesar 70%, rasio jenis kelamin sebesar 10%, kemiskinan sebesar 10%, dan kelompok umur sebesar

10%. Dari masing-masing indikator dijadikan satu menjadi peta kerentanan sosial seperti **Gambar 10,** dengan bantuan *raster calculator* pada *software* ArcGIS



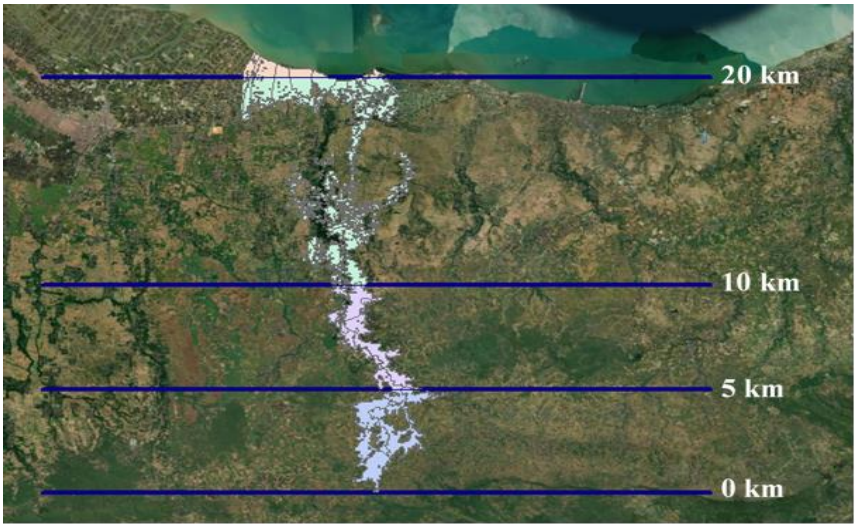
Gambar 10. Peta kerentanan sosial
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Dalam analisis kerentanan fisik menggunakan pendekatan dengan area pemukiman di kategorikan dalam kelas tingkat bahaya tinggi, dengan asumsi bahwa di dalam rumah terdapat manusia. Hal ini berlandaskan bahwa genangan banjir akibat keruntuhan bendungan tidak dapat diprediksi dan dapat terjadi kapan saja. Peta kerentanan fisik dapat dilihat pada **Gambar 11.**



Gambar 11. Peta kerentanan fisik
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

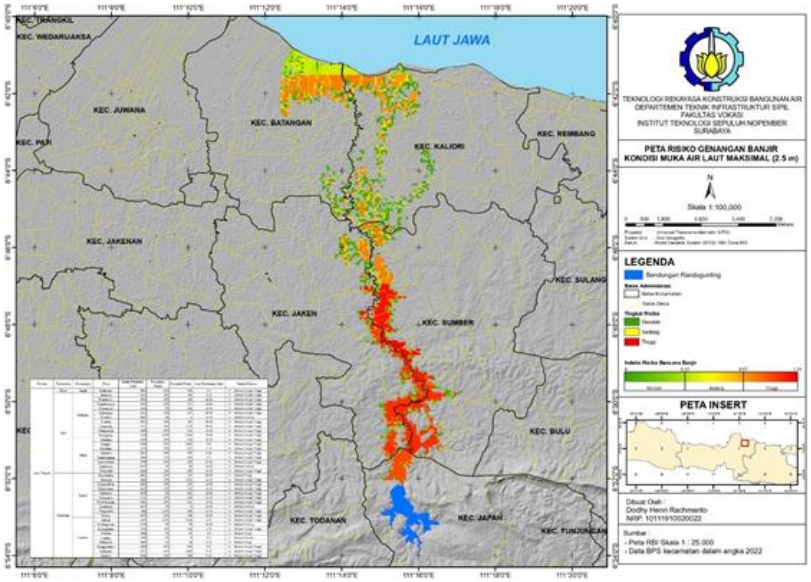
Kerentanan terhadap jarak hilir bendungan dilakukan untuk mengetahui kelas bahaya yang diakibatkan dari jarak genangan yang berasal dari bendungan. Adapun jarak yang digunakan dalam penelitian yaitu 0 km, 5 km, 10 km, 20 km, dan 30 km, jarak tersebut dihitung mulai 0 km dari bendungan hingga mencapai batas hilir sebaran genangan banjir. **Gambar 12** menunjukan jarak hilir bendungan, dimana jarak tersebut dapat berpengaruh dalam penentuan tingkat risiko bahaya bencana banjir.



Gambar 12. Jarak hilir bendungan
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Analisis Risiko Bahaya Bencana Banjir Bandang

Analisis risiko bahaya bencana banjir akibat keruntuhan bendungan mengacu pada [6], dimana dalam analisis ini memperhatikan hubungan antara ancaman dan kerentanan yang dimana dapat berpegaruh pada tingkat risiko bencana pada suatu kawasan. Terdapat 3 kelas tingkat risiko yang menjadi risiko bencana banjir yaitu: tingkat risiko rendah, sedang dan tinggi. **Gambar 13** menampilkan peta risiko bahaya bencana banjir bandang.



Gambar 13. Peta risiko bahaya bencana banjir
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan **Gambar 13** warna hijau menunjukan tingkat risiko rendah, warna kuning menunjukan tingkat risiko sedang, dan warna merah menunjukan tingkat risiko tinggi.

Analisis Klasifikasi Tingkat Bahaya Bendungan

Analisis klasifikasi tingkat bahaya bendungan dimaksud untuk mengetahui Bendungan Randugunting termasuk kedalam bahaya tingkat apa. Klasifikasi tingkat bahaya bendungan berdasarkan pada PenRis (Penduduk Terkena Risiko), PenRis dapat di indentifikasi berdasarkan peta genangan hasil simulasi bendungan. Tingkat bahaya bendungan diperoleh dari hubungan antara jumlah

PenRis dalam jiwa atau KK (1 KK = 5 orang) dan jarak lokasi PenRis dari bendungan. Hasil dari analisis klasifikasi dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Daftar jumlah penduduk terkena risiko

Kabupaten	Kecamatan	Desa	Jumlah Penduduk Total	Persen PenRis	Komulatif PenRis	Jarak Bendungan (km)	Tingkat Bahaya
TBlora	Japah	Kalinanas	2.693	16%	439	0-5	4
Pati	Batangan	Batursari	2.433	14%	346	5-10	4
		Bumimulyo	2.040	13%	258	20-30	4
		Gajahkumpul	1.349	22%	297	10-20	4
		Gunungsari	2.438	8%	196	10-20	4
		Jembangan	2.114	30%	637	20-30	4
		Kedalon	4.687	0%	6	10-20	2
		Kuniran	3.574	22%	791	10-20	4
		Lengkong	2.371	58%	1.379	20-30	4
		Mangunlegi	1.459	43%	631	10-20	4
		Pecangaan	1.150	100%	1.150	10-20	4
	Jaken	Manjang	1.828	50%	916	10-20	4
		Ronggo	4.795	31%	1.492	0-5	4
		Sidoluhur	2.370	19%	452	5-10	4
		Srikaton	2.217	38%	847	5-10	4
		Sumberagung	2.046	21%	424	0-5	4
		Sumberarum	1.740	12%	210	10-20	4
		Sumberejo	4.197	2%	80	10-20	2
		Tamansari	1.426	13%	185	10-20	4
Rembang	Kaliori	Dresi kulon	2.041	25%	517	20-30	3
		Meteseh	2.669	39%	1.035	10-20	4
		Mojorembun	1.692	14%	233	10-20	4
		Mojowarno	1.650	50%	830	10-20	4
		Sambiyan	2.276	9%	203	10-20	4
		Sidomulyo	1.721	14%	244	10-20	4
		Tambakagung	2.481	25%	613	10-20	4
		Tasikharjo	1.357	1%	9	10-20	2
		Tunggulsari	888	100%	888	10-20	4
		Wiroto	1.875	32%	598	10-20	4
	Sumber	Jatihadi	1.147	102%	1.174	5-10	4
		Kedungasem	2.176	4%	79	10-20	2
		Kedungtulup	1.166	33%	384	5-10	4
		Krikilan	2.086	2%	33	0-5	3
		Logung	1.193	0%	0	0-5	1
		Polbayem	2.867	1%	36	5-10	3
		Ronggomulyo	1.828	45%	825	0-5	4
		Sekarsari	3.271	45%	1.468	5-10	4
		Sumber	3.764	12%	439	5-10	4

(Sumber: (Hasil Analisis, 2023)
Keterangan Tingkat Bahaya :
1 = Bahaya rendah
2 = Bahaya Sedang
3 = Baha Tinggi
4 = Bahaya Sangat Tinggi

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan simulasi keruntuhan Bendungan Randugunting dengan perangkat lunak HEC-RAS, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis penelusuran banjir di atas pelimpah, Bendungan Randugunting tidak mengalami *overtopping* dengan debit banjir rencana Q_{PMF}, oleh karena itu simulasi keruntuhan Bendungan Randugunting mengegunakan skenario *piping* atas, tengah, dan bawah. Pada kondisi dimana bendungan mengalami keruntuhan pada saat kondisi cerah dimana waduk terisi penuh setinggi Muka Air Normal (MAN) dan muka air waduk setinggi banjir desain atau Muka Air Banjir (MAB).
2. Sebaran genangan yang diakibatkan oleh keruntuhan Bendungan Randugunting mencapai hilir laut jawa, dari masing-masing skenario dan berbagai kondisi permodelan didapatkan sebaran genangan banjir paling luas yaitu pada skenario *piping* tengah pada kondisi muka Air Banjir (MAB) dan kondisi muka air laut pa-sang maksimal dengan tinggi 2,5 m dari dasar laut. Mendapatkan luas 3.198,273 ha. Klasi-fikasi sebaran banjir berdasarkan peraturan BNPB nomor 2 tahun 2012 dengan kedalaman <0,76 m memiliki luas sebesar 311,392 ha, kedalaman 0,76 – 1,5 m memiliki luas genagan sebesar 556,369 ha, dan kedalaman >1,5 m memiliki luas genangan sebesar 2.330,512 ha.

ISSN (*Online*) 2747-0733

3. Peta ancaman risiko bencana banjir akibat keruntuhan Bendungan Randugunting berdasarkan [6], berada pada tingkat risiko tinggi, karena hal tersebut dipengaruh oleh tingkat ancaman dan tingkat kerentanan. Risiko bencana banjir sangat pengaruh terhadap indikator kerentanan sosial, fisik, dan jarak genagan pada hilir bendungan. Kerentanan sosial memiliki bobot sebesar 60%, kerentanan fisik 20%, dan ke-rentanan jarak genagan pada hilir bendungan 20%.
4. Banjir yang diakibatkan oleh keruntuhan Bendungan Randugunting memiliki dampak kerugian yang besar, baik kerugian jiwa maupun kerugian harta benda. Terdapat 38 desa di 5 kecamatan dan 3 kabupaten yaitu Kabupaten Rembang, Pati, dan Blora yang terancam risiko banjir akibat keruntuhan Bendungan Randugunting. Sebanyak 20.345 jiwa penduduk terkena risiko akibat keruntuhan Bendungan Randugunting, dengan jarak jangkauan banjir dari bendungan sejauh 21,31 km. Berdasarkan keputusan Direktur Jenderal Sumber Daya Air mengenai klasifikasi bahaya bendungan, Bendungan Randugunting termasuk bendungan dengan klasifikasi bahaya tingkat 4 atau bahaya sangat tinggi.

Referensi

[1] Pemerintah Republik Indonesia., 2020, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 109 Tahun 2020 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Presiden Nomor 3 Tahun 2016 Tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional.

[2] Costa, J. E., 1985, Floods from Dam Failures. United States Departement of the Interior.

[3] Azdan DM, Candra R, dan Samekto., 2008, Kritisnya Kondisi Bendungan Indonesia. Di dalam Seminar Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNI-BB).

[4] Wirustyastuko, D. and Nugroho, J., 2013, Analisis Wilayah Tergenang dan Perilaku Banjir pada Simulasi Kegagalan Bendungan Ciawi. Jurnal Teknik Sipil, 20(2), p. 121. doi: 10.5614/jts.2013.20.2.5.

[5] Brunner, G.W., 2014, Using HEC-RAS for Dam Break Studies. USACE, Institute for Water Resources, Hidrologic Engineering Center. Davis.

[6] BNPB., 2012, Peraturan Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Resiko Bencana.