



Analisis Spasial Daerah Rawan Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis sebagai Upaya Mitigasi di DAS Gembong ¹

Spatial Analysis of Flood Hazard Analysis as Mitigation Effort in Gembong Watershed

Amanda Putri Maharani ^a, Ery Suhartanto ^{b, 2}, Linda Prasetyorini ^b

^a Program Studi Teknik Pengairan, Mahasiswi Universitas Brawijaya, Jl. MT. Haryono No. 167, Kota Malang 65145

^b Program Studi Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Jl. MT. Haryono No. 167, Kota Malang 65145

ABSTRAK

DAS Gembong termasuk salah satu DAS yang sering dilanda banjir tiap tahunnya. Banjir pada DAS Gembong sering terjadi akibat dari curah hujan yang tinggi. Selain dari faktor curah hujan, terdapat beberapa faktor lain seperti tutupan lahan, kemiringan lereng, ketinggian lahan (elevasi), jenis tanah, dan kerapatan sungai. Keenam faktor tersebut digunakan sebagai parameter rawan banjir pada penelitian ini. Tujuan penelitian ini untuk menentukan tingkat kerawanan banjir di DAS Gembong serta upaya mitigasinya yang dimana dapat dimanfaatkan untuk memperoleh informasi mengenai tingkat kerawanan banjir di daerah DAS Gembong serta dapat menentukan tindakan mitigasinya. Metode yang digunakan melibatkan skoring dan pembobotan parameter-parameter rawan banjir sesuai dengan klasifikasinya. Selanjutnya, data-data tersebut akan di-*overlay* menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4.1. Berdasarkan hasil analisis pemetaan rawan banjir di DAS Gembong, diperoleh 5 tingkatan rawan banjir yaitu, tingkat sangat tinggi seluas 4,26 km² (7,36%), tingkat tinggi seluas 22,96 km² (39,66%), tingkat sedang seluas 24,10 km² (41,63%), tingkat rendah seluas 5,07 km² (8,76%), dan tingkat sangat rendah seluas 1,50 km² (2,59%). Kemudian dalam upaya mitigasi struktural direncanakan 5 embung kecil dan 2 kolam retensi. Kemudian, dalam mitigasi non-struktural dengan sistem peringatan dini, diperoleh tingkat status banjir yang dibedakan menjadi 4, yaitu tingkatan status Normal, Waspada, Siaga, dan Awas.

Kata kunci: Rawan Banjir, Pemetaan, Mitigasi, Sistem Informasi Geografis

ABSTRACT

Gembong Watershed is one of the watersheds frequently affected by floods every year. Flooding in the Gembong Watershed often occurs due to high rainfall. Besides rainfall, several other factors contribute to flooding, such as land cover, slope gradient, elevation, soil type, and river density. These six factors are used as flood-prone parameters in this study. The purpose of this study is to determine the flood-prone level in the Gembong Watershed and its mitigation efforts, which can be utilized to obtain information about the level of flood-proneness in the Gembong Watershed area and to determine mitigation actions. The method used involves scoring and weighting the flood-prone parameters according to their classifications and will be overlaid using ArcGIS 10.4.1 software. Based on the flood-prone mapping analysis in the Gembong Watershed, five levels of flood vulnerability were identified: very high with an area of 4.26 km² (7.36%), high with an area of 22.96 km² (39.66%), moderate with an area of 24.10 km² (41.63%), low with an area of 5.07 km² (8.76%), and very low with an area of 1.50 km² (2.59%). For structural mitigation efforts, five small reservoirs and two retention ponds are planned. For non-structural mitigation, an early warning system will be implemented with four flood status levels: normal, moderate, critical, and emergency.

Keywords: Flood Prone, Mapping, Mitigation, Geographic Information System

¹ Info Artikel: Received: 17 Mei 2024, Accepted: 22 Juni 2024

² Corresponding Author: Ery Suhartanto, erysuhartanto@ub.ac.id

PENDAHULUAN

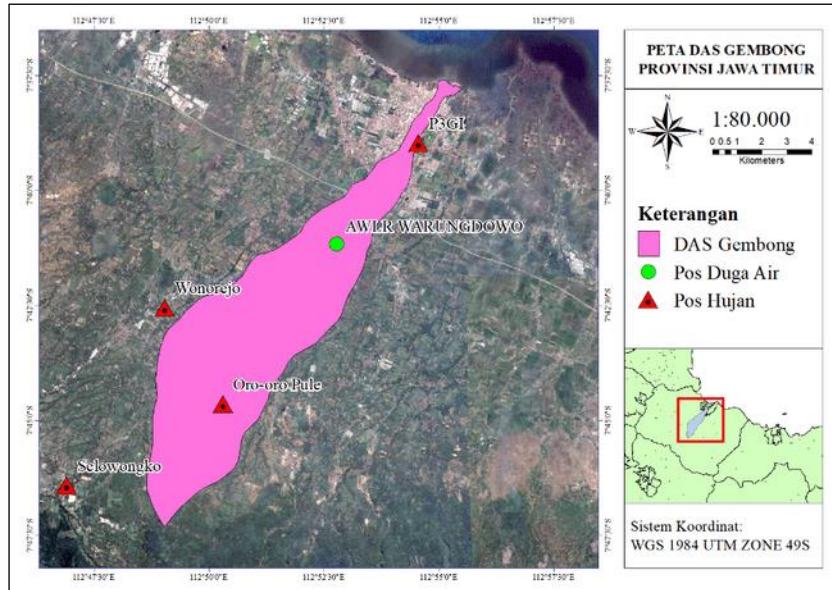
Indonesia adalah negara yang mempunyai banyak wilayah dengan risiko bencana alam tinggi, seperti banjir, cuaca ekstrem, gempa bumi, dan tsunami (Soebroto et al., 2024). Bencana banjir khususnya di Indonesia merupakan salah satu bencana yang terus terjadi di setiap tahun (Sulaeman et al., 2017). Banjir dapat didefinisikan sebagai aliran air yang relatif tinggi yang meluap melewati sungai atau saluran buatan (Kurniyaningrum et al., 2019). Banjir seringkali terjadi di daerah-daerah bertopografi rendah, seperti cekungan, dan tingkat curah hujan tinggi. Terutama di daerah perkotaan, banjir sering terjadi karena perubahan penggunaan lahan yang tidak diimbangi dengan tata kelola saluran air yang memadai (Aziza et al., 2021). Bencana banjir tidak hanya memberikan dampak fisik yang nyata, tetapi juga menimbulkan kerugian di berbagai aspek kehidupan masyarakat.

Telah tercatat bahwa sebanyak 452 kali kejadian banjir sejak tahun 2019 hingga tahun 2023 terjadi di Provinsi Jawa Timur. Kota Pasuruan dan Kabupaten Pasuruan adalah wilayah di Jawa Timur yang sering terdampak oleh bencana banjir (Erwanto et al., 2021). Salah satu DAS yang sering berkontribusi menyebabkan banjir di wilayah tersebut adalah DAS Gembong. Terdapat beberapa faktor penting yang menyebabkan terjadinya banjir di Indonesia, antara lain pengaruh tutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, kerapatan sungai (Hidayah, Widiarti, et al., 2022), curah hujan, dan ketinggian lahan (elevasi) yang semuanya dapat membuat suatu daerah menjadi rawan terhadap bencana banjir (Hidayah, Indarto, et al., 2022; Rakuasa & Latue, 2023)

Pemetaan daerah rawan banjir diperlukan untuk memberikan informasi yang memungkinkan pemerintah mengambil kebijakan yang tepat dalam menanggulangi masalah tersebut (Sitorus et al., 2021). Langkah awal dalam pemetaan adalah menilai tingkat kerawanan terhadap banjir dengan memperhitungkan pengaruh faktor-faktor penyebab banjir. Kemudian, tingkat kerawanan tersebut dimodelkan secara spasial melalui visualisasi peta yang menunjukkan daerah rawan banjir (Rakuasa et al., 2022). Oleh karena itu, memetakan daerah rawan banjir DAS Gembong dilakukan dengan menggunakan metode skoring dan pembobotan kemudian dilakukan *overlay* menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4.1. Perbedaan dari penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini tidak hanya memetakan daerah rawan banjir, tetapi juga dilakukan perencanaan upaya mitigasi banjir secara struktural maupun non-struktural yang komprehensif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan tingkat kerawanan terhadap banjir di DAS Gembong serta nantinya dapat ditentukan upaya mitigasi secara struktural maupun non-struktural yang dapat dilakukan untuk menanggulangi bencana banjir di DAS Gembong.

METODE PENELITIAN

Daerah penelitian berlokasi di Daerah Aliran Sungai Gembong yang dimana bagian hulunya berada di Kabupaten Pasuruan dan bagian hilirnya berada di Kota Pasuruan. DAS Gembong sendiri memiliki luas sebesar 57,88 km². Letak geografis DAS Gembong antara 7°37'39"LS - 7°47'23"LS dan 112°55'16"BT - 112°48'58"BT. Pada DAS Gembong terdapat 4 pos hujan yang digunakan dalam penelitian ini dan juga terdapat 1 pos duga air yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Dalam penyusunan penelitian ini data yang digunakan mencakup data sekunder. Berikut merupakan beberapa data yang dibutuhkan yaitu:

Data koordinat stasiun hujan di DAS Gembong dari PUSDA Jawa Timur

Data curah hujan selama 20 tahun (2003-2022) dari PUSDA Jawa Timur

Peta DAS Gembong dari PUSDA Jawa Timur

Peta tutupan lahan Jawa Timur tahun 2022 dari PUSDA Jawa Timur

Peta jenis tanah Jawa Timur dari PUSDA Jawa Timur

Peta administrasi wilayah Kota Pasuruan dan Kabupaten Pasuruan

Data historis banjir di DAS Gembong dari BPBD Kota Pasuruan dan BPBD Kabupaten Pasuruan

Analisis Data

Analisis mengenai wilayah studi perlu dilakukan terlebih dahulu dengan tujuan untuk mengetahui Gambaran dari lokasi studi (Francsdito et al., 2023). Berikut merupakan tahapan pengerjaan dari perhitungan hingga pembuatan peta rawan banjir, yaitu:

1. Perhitungan Hujan Rancangan
Analisis perhitungan hujan rancangan dalam penelitian ini menggunakan 2 metode distribusi, yaitu Metode Gumbel dan Metode Log Pearson III. Hujan rancangan pada penelitian ini nantinya akan digunakan untuk pembuatan peta hujan rancangan sebagai salah satu parameter dalam pembuatan peta rawan banjir.
2. Pembuatan Peta Rawan Banjir
 - a. Parameter-parameter Rawan Banjir
 - 1) Curah Hujan Rancangan

Curah hujan terbesar yang terjadi setiap tahun dengan periode ulang tertentu. Semakin tinggi curah hujan, semakin tinggi debit air yang mengalir di sungai, sehingga meningkatkan risiko banjir dan potensi bahaya bagi suatu daerah (Adidarma et al., 2014). Berikut disajikan pada Tabel 1 Klasifikasi Curah Hujan Rancangan.

Tabel 1 Klasifikasi Curah Hujan Rancangan

No	Rentang curah hujan (mm)	Nilai
1	>400	5
2	300-400	4
3	200-300	3
4	100-200	2
5	<100	1

Sumber: Adidarma et al., 2014 Tutupan Lahan

Tutupan lahan mempengaruhi jumlah aliran permukaan (Handini et al., 2021). Jika lahan ditumbuhi vegetasi yang lebat, maka jumlah air hujan yang terserap ke dalam tanah akan meningkat. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya banjir akan lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang tidak ditumbuhi vegetasi. Berikut disajikan pada Tabel 2 Klasifikasi Tutupan Lahan.

Tabel 2 Klasifikasi Tutupan Lahan

No	Tipe Tutupan Lahan	Nilai
1	Hutan	1
2	Semak belukar	2
3	Ladang/Tegalan/Kebun	3
4	Sawah/Tambak	4
5	Pemukiman	5

Sumber: Theml, S., 2008 dalam Darmawan et al., 2017

Kemiringan Lereng

Semakin curam kemiringan lerengnya, semakin rendah potensi terjadinya banjir, begitu juga sebaliknya. Berikut disajikan pada Tabel 3 Klasifikasi Kemiringan Lereng.

Tabel 3 Klasifikasi Kemiringan Lereng

No	Kemiringan (%)	Deskripsi	Nilai
1	0 - 8	Datar	5
2	>8 - 15	Landai	4
3	>15 - 25	Agak curam	3
4	>25 - 45	Curam	2

No	Kemiringan (%)	Deskripsi	Nilai
5	>45	Sangat Curam	1

Sumber: Matondang, J.P., 2013 dalam Darmawan et al., 2017 Ketinggian Lahan (Elevasi)

Semakin rendah ketinggian suatu daerah, semakin besar kemungkinan terjadinya banjir, begitu juga sebaliknya. Berikut disajikan pada Tabel 4 Klasifikasi Ketinggian Lahan.

Tabel 4 Klasifikasi Ketinggian Lahan

No	Elevasi (m)	Nilai
1	<10	5
2	10-50	4
3	50-100	3
4	100-200	2
5	>200	1

Sumber: Theml, S., 2008 dalam Darmawan et al., 2017

2) Jenis Tanah

Semakin tinggi tingkat daya serap atau infiltrasi air, semakin rendah kemungkinan terjadinya banjir. Jika, semakin rendah tingkat daya serap atau infiltrasi air, semakin tinggi kemungkinan terjadinya banjir. Berikut disajikan pada Tabel 5 Klasifikasi Jenis Tanah.

Tabel 5 Klasifikasi Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Infiltrasi	Nilai
1	Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik air tanah	Tidak peka	5
2	Latosol	Agak peka	4
3	Tanah hutan coklat, Tanah mediteranian	Kepekaan sedang	3
4	Andosol, Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic	Peka	2
5	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina	Sangat peka	1

Sumber: Asdak, 1995 dalam Darmawan et al., 2017

3) Kerapatan Sungai

Semakin besar nilai kerapatan sungai, semakin tinggi pula kerapatan sungai di daerah tersebut, yang berarti semakin besar jumlah total air yang mengalir di daerah tersebut. Oleh karena itu, penulis menuliskan nilai klasifikasi berdasarkan tingkat kerapatan rendah, yang berarti nilainya juga rendah. Berikut disajikan pada Tabel 6 Klasifikasi Kerapatan Sungai.

Tabel 6 Klasifikasi Kerapatan Sungai

No	Kerapatan Aliran (km/km ²)	Nilai
1	<0,62	1
2	0,62-1,44	2
3	1,45-2,27	3
4	2,28-3,10	4
5	>3,10	5

Sumber: Matondang, J.P., 2013 dalam Darmawan et al., 2017 dengan modifikasi penulis

b. Pembobotan dan Skoring

Pembobotan adalah proses memberikan bobot pada setiap parameter dalam peta spasial yang mempengaruhi banjir, berdasarkan pertimbangan dampak tiap parameter terhadap kejadian banjir. Skoring dilakukan untuk menilai setiap kelas dalam setiap parameter berdasarkan dampak kelas tersebut terhadap kejadian banjir. Semakin besar dampaknya terhadap kejadian banjir, semakin tinggi nilai skornya (Darmawan et al., 2017). Dikarenakan pada referensi (Darmawan et al., 2017) untuk total bobot tiap parameter tidak genap atau dalam artian totalnya tidak menunjukkan 1, maka penulis memodifikasi bobot tersebut sesuai dengan tingkat parameter yang berpengaruh terhadap banjir. Berikut disajikan pada Tabel 7 bobot tiap parameter rawan banjir.

Tabel 7 Bobot tiap Parameter Rawan Banjir

No	Parameter	Bobot
1	Kemiringan lahan	0,20
2	Ketinggian Lahan (Elevasi)	0,10
3	Jenis tanah	0,20
4	Curah hujan	0,20
5	Tutupan Lahan	0,20
6	Kerapatan sungai	0,10

Sumber: Primayuda, 2006 dalam Darmawan et al., 2017 dengan modifikasi penulis

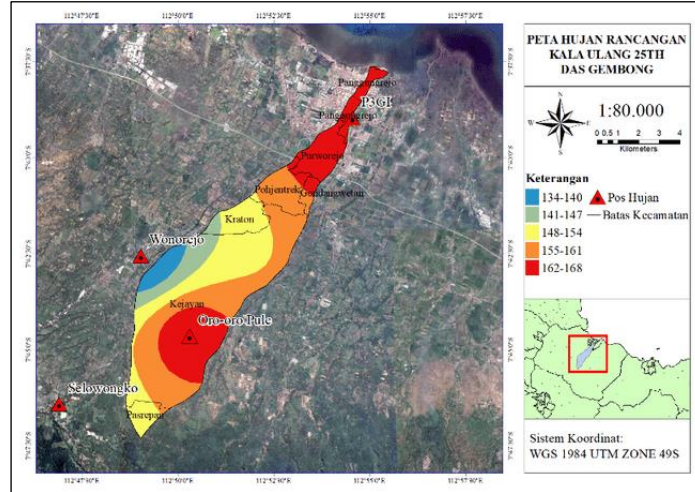
3. Analisis Upaya Mitigasi Banjir

Bentuk mitigasi struktural yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa embung kecil dan/atau kolam retensi. Tujuan pemilihan bentuk mitigasi struktural tersebut adalah agar air hujan tidak langsung dialirkan ke sungai, sehingga sebagian air diresapkan ke dalam tanah dan ditampung sebagai air baku. Pada penelitian ini, bentuk upaya mitigasi non-struktural yaitu berupa Sistem Peringatan Dini. Analisis mitigasi struktural yang akan dilakukan hanya sebatas pada perencanaan lokasi, tampungan, dan reduksi volume. Sedangkan dalam mitigasi non-struktural meliputi penempatan lokasi komponen alat yang digunakan dan penentuan tingkatan status banjir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan Daerah Rawan Banjir

1. Peta Hujan Rancangan



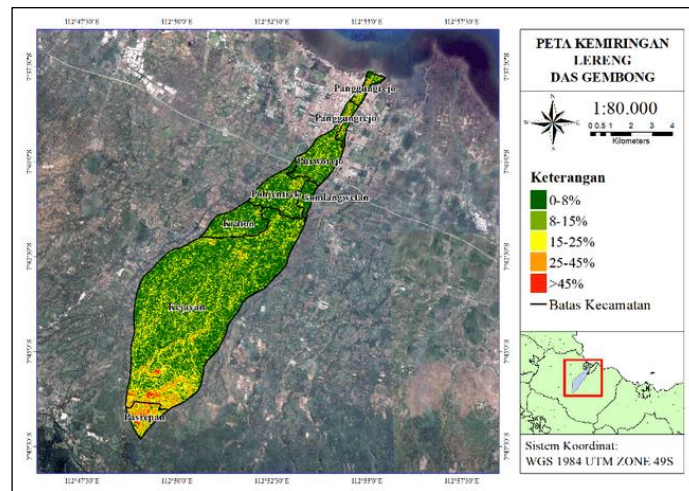
Gambar 2 Peta Hujan Rancangan DAS Gembong

Tabel 8 Hasil Klasifikasi Curah Hujan Rancangan

No.	Rentang Curah Hujan (mm)	Nilai	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	134 - 140	2	2,37	4,10
2	141 - 147	2	4,47	7,73
3	148 - 154	2	15,20	26,26
4	155 - 161	2	20,23	34,95
5	162 - 168	2	15,61	26,96
Jumlah			57,88	100

Peta hujan rancangan didapatkan dari nilai hujan rancangan yang kemudian digambarkan menggunakan interpolasi IDW pada ArcGIS. Pemilihan peta hujan rancangan menggunakan kala ulang 25 tahun yang didasarkan pada kriteria desain proyek pengendalian banjir. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa seluruh wilayah di DAS Gembong mempunyai rentang curah hujan rancangan antara 100-200 mm. Stasiun hujan di DAS Gembong yang memiliki kecenderungan nilai curah hujan rancangan yang tinggi yaitu Stasiun Oro-oro Pule dan Stasiun P3GI yang mempunyai nilai hujan rancangan pada rentang 162-168 mm.

2. Peta Kemiringan Lereng



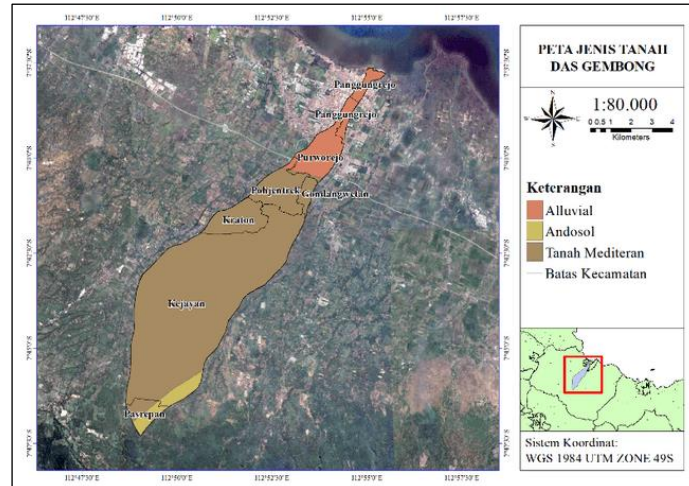
Gambar 3 Peta Kemiringan Lereng DAS Gembong

Tabel 9 Hasil Klasifikasi Kemiringan Lereng

No.	Kemiringan (%)	Deskripsi	Nilai	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	0 - 8	Datar	5	26,09	45,08
2	>8 - 15	Landai	4	20,35	35,16
3	>15 - 25	Agak curam	3	8,29	14,33
4	>25 - 45	Curam	2	2,80	4,85
5	>45	Sangat Curam	1	0,34	0,59
Jumlah				57,88	100

Peta kemiringan lereng didapatkan dari pengolahan kontur dari data DEM (*digital elevation model*) selanjutnya dilakukan interpolasi dan pengklasifikasian, hasil klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 9. Pada Gambar 3, DAS Gembong cenderung memiliki lereng yang landai hingga datar, dengan dominasi kemiringan lereng 0 - 8% seluas 26,09 km². Kondisi ini meningkatkan potensi terjadinya banjir karena wilayah tersebut rentan tergenang air saat hujan.

3. Peta Jenis Tanah



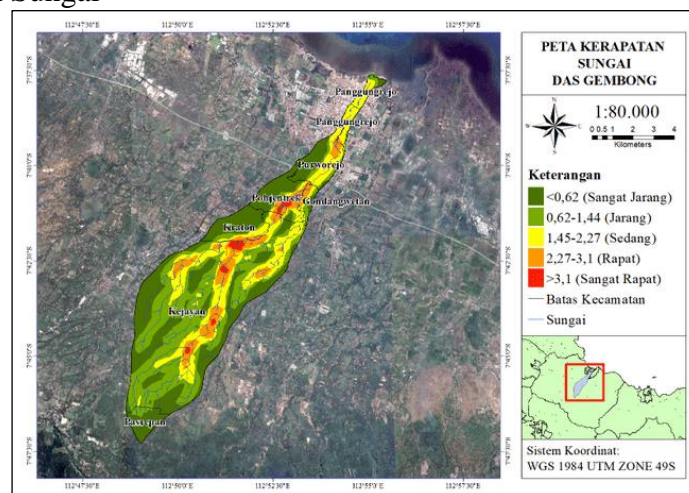
Gambar 4 Peta Jenis Tanah DAS Gembong

Tabel 10 Hasil Klasifikasi Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Infiltrasi	Nilai	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	Alluvial	Tidak Peka	5	6,03	10,42
2	Tanah Mediteran	Kepekaan Sedang	3	49,35	85,26
3	Andosol	Peka	2	2,50	4,32
Jumlah				57,88	100

Peta jenis tanah didapatkan dari pengolahan *shapefile* jenis tanah Jawa Timur, selanjutnya dilakukan klasifikasi dan hasil klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan Gambar 4, jenis tanah DAS Gembong didominasi oleh tanah Mediteran seluas 49,35 km² yang memiliki kepekaan infiltrasi sedang. Sedangkan bagian hulu DAS Gembong termasuk jenis tanah Andosol yang memiliki kepekaan infiltrasi sedang dan bagian hilir DAS Gembong termasuk jenis tanah Alluvial memiliki kepekaan infiltrasi tidak peka yang dimana jenis tanah ini sangat berpotensi terjadi banjir karena sulit menyerap air.

4. Peta Kerapatan Sungai



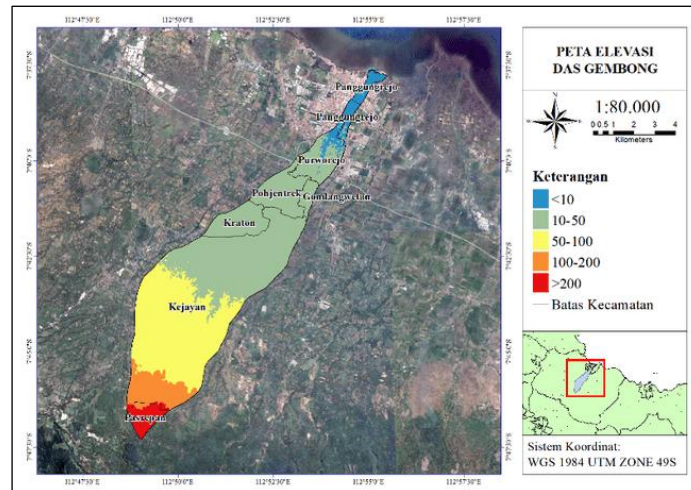
Gambar 5 Peta Kerapatan Sungai DAS Gembong

Tabel 11 Hasil Klasifikasi Kerapatan Sungai

No.	Kerapatan (km/km ²)	Klasifikasi	Nilai	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	<0,62	Sangat jarang	1	20,72	35,84
2	0,62 - 1,44	Jarang	2	18,83	32,57
3	1,45 - 2,27	Sedang	3	11,95	20,67
4	2,28 - 3,10	Rapat	4	5,53	9,45
5	>3,10	Sangat rapat	5	0,85	1,47
Jumlah				57,88	100

Peta kerapatan sungai didapatkan dari data DEM dengan menggunakan *tools line density*, selanjutnya dilakukan klasifikasi dan hasil klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 11. Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa beberapa bagian Kecamatan Pohjentrek dan Kecamatan Kejayan yang berada di tengah hingga hulu DAS Gembong memiliki kerapatan sungai yang rapat hingga sangat rapat. Hal ini menyebabkan terjadinya potensi banjir di kecamatan-kecamatan tersebut karena memiliki kerapatan sungai yang rapat hingga sangat rapat.

5. Peta Elevasi



Gambar 6 Peta Elevasi DAS Gembong

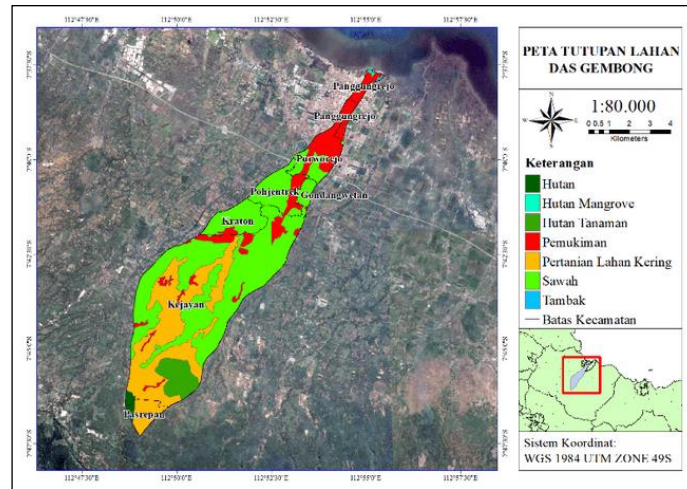
Tabel 12 Hasil Klasifikasi Elevasi

No.	Elevasi (mdpl)	Nilai	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	<10	5	2,58	4,46
2	10 - 50	4	28,79	49,74
3	50 - 100	3	19,78	34,18
4	100 - 200	2	4,79	8,28
5	>200	1	1,93	3,34
Jumlah			57,88	100

Peta elevasi didapatkan dari pengolahan kontur data DEM, selanjutnya dilakukan interpolasi dan pengklasifikasian, hasil klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 12. Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa daerah tengah hingga ke hilir DAS Gembong memiliki elevasi yang rendah yaitu <10 mdpl hingga 100 mdpl, sedangkan pada daerah hulu memiliki elevasi 100 hingga

>200 mdpl. Daerah di bagian tengah hingga hilir DAS Gembong rentan terhadap banjir karena elevasi lahan yang rendah, sehingga mudah mengalami peristiwa banjir.

6. Peta Tutupan Lahan



Gambar 7 Peta Tutupan Lahan

Tabel 13 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan

No.	Jenis Tutupan Lahan	Nilai	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	Pemukiman	5	8,14	14,06
2	Hutan Mangrove	4	0,09	0,16
3	Sawah	4	31,10	53,73
4	Tambak	4	0,07	0,11
5	Pertanian Lahan Kering	3	15,16	26,20
6	Hutan	1	0,51	0,87
7	Hutan Tanaman	1	2,82	4,87
Jumlah			57,88	100

Peta tutupan lahan didapatkan dari pengolahan *shapefile* tutupan lahan Jawa Timur tahun 2022, selanjutnya dilakukan klasifikasi dan hasil klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 13. Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa bagian tengah DAS Gembong didominasi oleh area sawah dan pertanian lahan kering, sedangkan daerah hilir DAS Gembong telah didominasi oleh pemukiman yang ditandai dengan warna merah. Daerah hilir DAS Gembong merupakan pusat kota sehingga daerah tersebut padat akan penduduk dimana dapat meningkatkan kerawanan banjir karena daerah hilir telah tertutupi oleh pemukiman.

7. Kelas Rawan Banjir

Untuk perhitungan total skor kelas rawan banjir dapat dihitung pada ArcGIS dengan mengkalikan nilai klasifikasi setiap parameter dengan bobot parameternya berdasarkan Tabel 7 yang kemudian selanjutnya dilakukan *overlay* pada ArcGIS menggunakan *tools Intersection*. Setelah melakukan *overlay* maka dapat menghitung total skor kelas rawan banjir menggunakan rumus berikut:

$$TS = (\text{kemiringan lahan} \times 0,2) + (\text{ketinggian lahan} \times 0,1) + (\text{jenis tanah} \times 0,2) + (\text{curah hujan} \times 0,2) + (\text{tutupan lahan} \times 0,2) + (\text{kerapatan sungai} \times 0,1)$$

Setelah mendapatkan hasil total skor kelas rawan banjir, maka selanjutnya dapat menentukan interval dari setiap kelas rawan banjir. Untuk perhitungan interval kelas rawan banjir pada DAS Gembong digunakan 5 kelas rawan yaitu (Sangat Rendah, Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat Tinggi), kemudian untuk perhitungannya dapat menggunakan rumus aritmatik berikut (Aziza et al., 2021):

$$I = \frac{R}{K}$$

dengan I = lebar interval, R = rentang beda nilai data tertinggi dikurangi data terendah, K = jumlah interval kelas yang ditentukan.

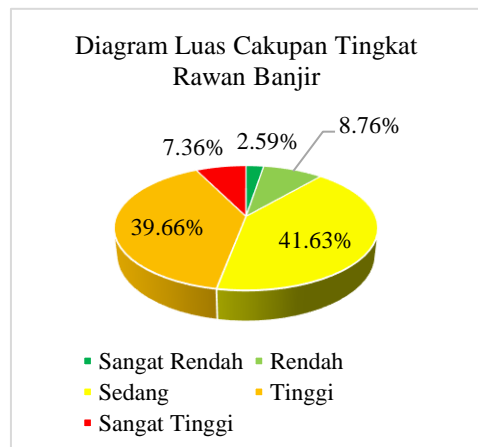
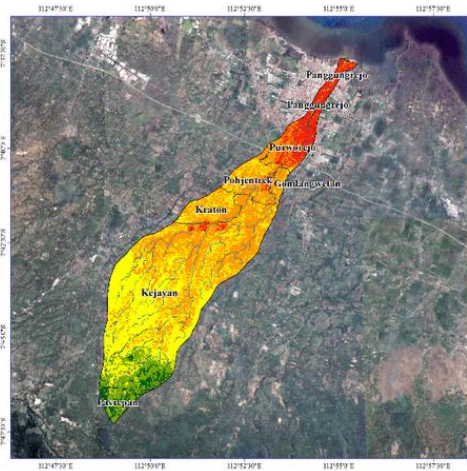
Diketahui dari hasil *overlay* didapatkan nilai maksimum (Smax) skor rawan banjir yaitu 4,05 dan untuk nilai minimum (Smin) skor rawan banjir yaitu 1,45.

$$I = \frac{R}{K} = \frac{(4,05-1,45)}{5} = 0,52$$

Sehingga didapatkan nilai kelas rawan banjir pada lokasi penelitian yaitu sebagai berikut:

- Sangat Rendah = 1,45 – 1,97
- Rendah = 1,98 – 2,49
- Sedang = 2,50 – 3,01
- Tinggi = 3,02 – 3,53
- Sangat Tinggi = 3,54 – 4,05

8. Peta Rawan Banjir



Gambar 8 Peta Rawan Banjir DAS Gembong

Gambar 9 Luasan Tingkat Rawan Banjir

Tabel 14 Luasan Tingkat Kerawanan Banjir Setiap Kecamatan

Kabupaten /Kota	Kecamatan	Luas Area Rawan Banjir (km ²)				
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Kota	Panggungrejo	-	-	0,004	0,273	1,500
Pasuruan	Purworejo	-	0,001	0,065	1,652	2,271
Kabupaten Pasuruan	Gondangwetan	-	0,001	0,786	0,770	0,003
	Kejayan	0,906	3,769	21,016	15,031	0,274
	Pohjentrek	-	0,010	0,997	2,846	0,189

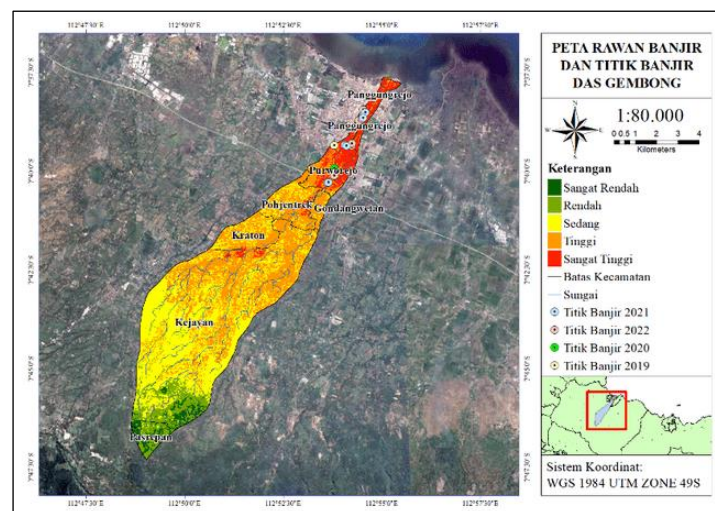
Kabupaten /Kota	Kecamatan	Luas Area Rawan Banjir (km ²)				
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
	Kraton	-	0,013	1,175	2,386	0,020
	Pasrepan	0,591	1,278	0,054	-	-

Seperti yang sudah disajikan pada Gambar 9, dapat dilihat hasil pemetaan daerah rawan banjir di lokasi penelitian dibagi menjadi 5 tingkat rawan banjir. Tingkat rawan banjir yang paling besar yaitu tingkat Sedang dengan luasan sebesar 24,10 km² atau 41,63% dari total luas DAS. Kemudian pada Tabel 14 diketahui bahwa kecamatan-kecamatan di Kota Pasuruan memiliki tingkat rawan banjir yang Sangat Tinggi. Kecamatan Purworejo memiliki tingkat rawan banjir Sangat Tinggi yang paling luas dibandingkan kecamatan-kecamatan lain yaitu seluas 2,271 km².

Validasi

Validasi dilakukan dengan mengambil titik koordinat kejadian banjir di lokasi penelitian dari tahun 2019 hingga tahun 2022. Data mengenai jumlah kejadian banjir dari tahun 2019 hingga 2022 diperoleh dari Kantor Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Pasuruan dan Kantor Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Pasuruan. Pada tahun 2019 terjadi 2 kejadian banjir, diikuti oleh 1 kejadian pada tahun 2020, 6 kejadian pada tahun 2021, dan 9 kejadian pada tahun 2022. Pada penelitian ini validasi yang dilakukan dengan menumpangsusunkan peta rawan banjir DAS Gembong dengan titik-titik kejadian banjir yang didapat.

Dalam penelitian ini, data yang telah divalidasi menunjukkan bahwa sebanyak 16 titik atau 89% dari kejadian banjir masa lalu terjadi pada tingkat kerawanan banjir yang sangat tinggi, sedangkan 2 titik atau 11% terjadi pada tingkat kerawanan banjir tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa proses validasi telah mencapai tingkat keakuratan yang memadai. Hasil analisis spasial ini dapat digunakan untuk memetakan tingkat rawan banjir di lokasi penelitian, yang akan membantu dalam menentukan upaya mitigasi banjir struktural maupun non-struktural (Kuswardhana et al., 2023).



Gambar 10 Peta Rawan Banjir dan Titik-titik Banjir

Mitigasi Struktural

1) Embung Kecil

Penempatan Embung Kecil didasarkan pada ketersediaan lahan dan daerah tingkat rawan banjir sangat tinggi dan tinggi. Untuk koordinat penempatan lokasi embung kecil yang lain dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Koordinat Lokasi Embung Kecil

Embung Kecil	Koordinat		Luas DAS (km ²)
	X	Y	
Embung Kecil 1	112,81857	-7,74251	0,93
Embung Kecil 2	112,85221	-7,71082	4,71
Embung Kecil 3	112,84911	-7,74208	0,96
Embung Kecil 4	112,86013	-7,72444	0,98
Embung Kecil 5	112,83281	-7,72666	0,70

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan tampungan serta volume yang dapat direduksi oleh embung kecil yang ada pada lokasi penelitian:

Tabel 16 Rekapitulasi Tampungan dan Volume Reduksi Embung Kecil

Jenis Bangunan	Dimensi			Vol. Tampungan (m ³)	Vol. debit puncak (m ³)	Reduksi (%)
	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)			
Embung Kecil 1	40	25	3	3000	47032	6,38
Embung Kecil 2	40	25	3	3000	125121	2,40
Embung Kecil 3	40	25	3	3000	52626	5,70
Embung Kecil 4	40	25	3	3000	56950	5,27
Embung Kecil 5	40	25	3	3000	38150	7,86

Berdasarkan Tabel 16, ketentuan volume tampungan dan dimensi embung kecil mengacu pada Surat Edaran Menteri PUPR 07/SE/M/2018 tentang Pedoman Pembangunan Embung Kecil (Kementerian PUPR, 2018). Kemudian, untuk volume debit puncak didapatkan dari perhitungan HSS Nakayasu, yang selanjutnya dilakukan perhitungan reduksi membandingkan nilai volume tampungan dengan volume saat debit puncak banjir. Besarnya nilai reduksi dipengaruhi faktor luas DAS dari masing-masing embung kecil. Untuk Embung Kecil 2 memiliki luas DAS yang paling luas diantara embung kecil lainnya. Hal ini menyebabkan debit puncak banjir yang dihasilkan juga memiliki nilai yang besar, sehingga hasil nilai reduksi yang didapat memiliki nilai yang kecil. Oleh karena itu, di DAS Embung Kecil 2 dapat juga dibangun embung kecil lagi untuk mengoptimalkan hasil reduksi banjir pada daerah tersebut.

2) Kolam Retensi

Penempatan Retensi didasarkan pada ketersediaan lahan, daerah tingkat rawan banjir sangat tinggi dan tinggi, kontur dan elevasi dasar sungai. Untuk koordinat penempatan lokasi kolam retensi yang lain dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17 Koordinat Lokasi Kolam Retensi

Kolam Retensi	Koordinat		Luas DTA (km ²)
	X	Y	
Kolam Retensi 1	112,90511	-7,65369	0,29
Kolam Retensi 2	112,89619	-7,66426	0,23

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan tampungan serta volume yang dapat direduksi oleh kolam retensi yang ada pada lokasi penelitian:

Tabel 18 Rekapitulasi Tampungan dan Volume Reduksi Kolam Retensi

Jenis Bangunan	Dimensi			Vol. Tampungan (m ³)	Vol. saat debit puncak (m ³)	Reduksi (%)
	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)			
Retensi 1	60	45	3	8100	21664	37,39
Retensi 2	50	45	3	6750	17182	39,29

Berdasarkan Tabel 18, ketentuan volume tampungan didapatkan dari hasil penentuan dimensi yang ditinjau dari ketersediaan lahan. Kemudian, untuk volume debit puncak didapatkan dari perhitungan debit banjir metode rasional, yang selanjutnya dilakukan perhitungan reduksi membandingkan nilai volume tampungan dengan volume saat debit puncak banjir.

Mitigasi Non-struktural

Berikut merupakan komponen alat-alat sistem peringatan dini yang digunakan beserta dengan penempatan lokasinya (Badan Standardisasi Nasional, 2022):

1. Sensor penakar curah hujan ditempatkan pada pos hujan di DAS Gembong yaitu, Stasiun Oro-oro Pule, Stasiun P3GI, Wonorejo, dan Selowongko. Untuk rekomendasi alat sensor penakar curah hujan bisa menggunakan *Atmos 41W*.
2. Sensor pengukuran tinggi muka air sungai ditempatkan pada pos duga air (AWLR) Warungdowo. Untuk rekomendasi alat sensor penakar curah hujan bisa menggunakan *Hobo MicroRX Water Level Station*.
3. Sirine dan lampu *rotary* ditempatkan pada daerah pemukiman penduduk yang dekat dengan sungai dan memiliki kerawanan banjir yang sangat rawan.

Kemudian, untuk menentukan tingkatan status banjir didasarkan pada SNI 8840-3-2022 "Sistem Peringatan Dini Bencana – Bagian 3: Banjir". Berikut merupakan tingkatan status banjir beserta deskripsi atau tandanya:

Tabel 19 Tingkatan Status Rawan Banjir

Tingkat Status Banjir	Deskripsi atau Tanda	Tindakan
Normal (Hijau)	<ul style="list-style-type: none"> • Hujan sangat ringan hingga ringan (gerimis). • Beda tinggi tanggul dengan TMA > 1,5 m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pendataan anggota keluarga dan kelompok rentan • Koordinasi rutin Tim Siaga Bencana dengan mempersiapkan

Tingkat Status Banjir	Deskripsi atau Tanda	Tindakan
	<ul style="list-style-type: none"> • Debit air sungai belum meningkat secara mencolok. • Tidak ada genangan air. • Air masih teralir ke dalam saluran drainase. • Ketinggian muka air di sungai dalam keadaan normal. 	<p>tim siaga dan pembagian tugas saat terjadi bencana.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sosialisasi informasi bahaya banjir dan tahapan evakuasi bencana
Waspada (Kuning)	<ul style="list-style-type: none"> • Hujan sedang. • Beda tinggi tanggul dengan TMA (1,25 – 1,5 m). • Debit air sungai meningkat namun tidak mencolok. • Terjadi genangan air di lokasi-lokasi tertentu namun belum dalam kondisi kritis. • Saluran drainase penuh namun belum meluap. 	<p>(Menerima tanda bahaya sirine dari alat penakar curah hujan)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melakukan pendataan langsung ke rumah warga • Mengecek persiapan logistik dan P3K. • Menyampaikan informasi perkembangan status, jalur evakuasi, dan titik kumpul melalui pengeras suara di lingkungan tersebut.
Siaga (Oranye)	<ul style="list-style-type: none"> • Hujan lebat. • Beda tinggi tanggul dengan TMA (0,75 sampai dengan 1,25 m). • Wilayah genangan air mulai meluas. • Saluran drainase mulai meluap. • Debit air sungai meningkat cukup mencolok. 	<p>(Menerima tanda bahaya sirine dan alat pemantau muka air)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Persiapan evakuasi warga dengan mengevakuasi kelompok rentan (anak-anak, ibu hamil, lansia, dan difabel) ke tempat yang aman. • Persiapan logistik dan P3K.
Awat (Merah)	<ul style="list-style-type: none"> • Hujan sangat lebat dan belum ada tanda-tanda reda. • Beda tinggi tanggul dengan TMA < 0,75 m. • Genangan air di lokasi-lokasi tertentu makin meluas, tidak surut dan kritis dalam enam jam. • Saluran drainase meluap dan sudah tidak berfungsi. • Debit air sungai melonjak sangat tinggi melebihi kapasitas sungai. 	<p>(Menerima tanda bahaya sirine dari alat pemantau muka air/informasi petugas)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mengevakuasi seluruh warga terdampak ke tempat pengungsian. • Pendataan warga yang berada di tempat pengungsian. • Pemantauan keamanan. • Persiapan logistik dan P3K. • Pelaporan terhadap instansi terkait.

Mitigasi non-struktural yang dapat dilakukan selain menempatkan sistem peringatan dini, yaitu dapat melakukan penataan ruang dengan menghindari pembangunan di daerah rawan banjir dan mengembangkan ruang terbuka hijau yang dapat menyerap air hujan. Selain itu, implementasi kebijakan dan regulasi yang tegas dalam pengelolaan sumber daya air dan penggunaan lahan sangat diperlukan untuk memastikan bahwa upaya mitigasi berjalan

sesuai dengan rencana. Oleh sebab itu, kerjasama antar berbagai pihak, termasuk pemerintah, masyarakat, dan organisasi non-pemerintah, sangat penting dalam mengimplementasikan mitigasi non-struktural.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis data perhitungan sebelumnya, diperoleh pemetaan daerah rawan banjir di DAS Gembong, diperoleh 5 tingkat rawan yang berbeda yaitu tingkat rawan sangat tinggi dengan luas 4,26 km² (7,36%), tingkat rawan tinggi dengan luas 22,96 km² (39,66%), tingkat rawan sedang dengan luas 24,10 km² (41,63%), tingkat rawan rendah dengan luas 5,07 km² (8,76%), dan tingkat rawan sangat rendah dengan luas 1,50 km² (2,59%). Dari hasil analisis diketahui bahwa Kecamatan Purworejo memiliki tingkat rawan banjir sangat tinggi yang paling luas dibandingkan kecamatan-kecamatan lain yaitu seluas 2,271 km².

Dalam upaya mitigasi struktural direncanakan 5 embung kecil dengan masing-masing volume tampungan sebesar 3000 m³ dan memiliki reduksi volume 2,40% - 7,86%. Selain itu, direncanakan 2 kolam retensi dengan masing-masing volume tampungan sebesar 8100 m³ dan 6750 m³ dan juga memiliki reduksi volume 37,39% - 39,29%. Kemudian, dalam mitigasi non-struktural dengan sistem peringatan dini, diperoleh tingkat status banjir yang dibedakan menjadi 4, yaitu tingkatan status Normal, Waspada, Siaga, dan Awas. Selain itu, mitigasi non-struktural dapat dilakukan dengan penataan ruang kembali serta menjalankan secara tegas kebijakan dan regulasi dalam hal pengelolaan sumber daya air dan penggunaan lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adidarma, W., Subrata, O., Heruyoko, Purnama, B., Putro, S., Rosaline, H., Lismawati, G., & Octaviani, K. (2014). *Peta Risiko Kekeringan dan Banjir Berdasarkan Analisa Rainfall-Runoff*.
- Aziza, S. N., Somantri, L., & Setiawan, I. (2021). Analisis Pemetaan Tingkat Rawan Banjir di Kecamatan Bontang Barat Kota Bontang Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 9(2), 109–120.
- Badan Standardisasi Nasional. (2022). *SNI 8840-3:2022 tentang Sistem Peringatan Dini Bencana - Bagian 3: Banjir*.
- Darmawan, K., Hani'ah, & Suprayogi, A. (2017). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 31–40.
- Erwanto, N., Yulianti, E., & Surbakti, S. (2021). Perencanaan Boezem dan Pompa dalam Penangan Banjir di Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. *Jurnal Sondir*, 5(2), 40–48.
- Francsdito, M., Juwono, P. T., & Suhartanto, E. (2023). Mitigasi Dampak Hidrologi dan Hidrolika Akibat Pelaksanaan Pembangunan Rumah Pompa Ancol Sentiong. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 617–625.
- Handini, D. R., Hidayah, E., & Halik, G. (2021). Flash Flood Susceptibility Mapping at Andungbiru Watershed, East Java Using AHP-Information Weighted Method. *Geosfera Indonesia*, 6(2), 127–142.
- Hidayah, E., Indarto, Lee, W. K., Halik, G., & Pradhan, B. (2022). Assessing Coastal Flood Susceptibility in East Java, Indonesia: Comparison of Statistical Bivariate and Machine

- Learning Techniques. *Water (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/w14233869>
- Hidayah, E., Widiarti, W. Y., & Ammarulsyah, A. R. (2022). Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir Bandang dengan Sistem Informasi Geografis di Sub-DAS Kaliputih Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik Pengairan*, 13(2), 273–282. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.12>
- Kementerian PUPR. (2018). *Surat Edaran Menteri PUPR 07/SE/M/2018 tentang Pedoman Pembangunan Embung Kecil dan Bangunan Penampung Air Lainnya di Desa*.
- Kurniyaningrum, E., Limantara, L. M., Suhartanto, E., & Sisinggih, D. (2019). Development of flood early warning system based on the geoinformatics system in the Krukut River, Jakarta, Indonesia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(2), 1325–1335.
- Kuswardhana, A. T., Hidayah, E., & Wiyono, R. U. A. (2023). Pemetaan Geospasial Risiko Banjir di Sub-DAS Guntung, Jombang Jawa Timur. *Rekayasa Sipil*, 17(1), 54–65. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2023.017.01.8>
- Rakuasa, H., Helwend, J. K., & Sihasale, D. A. (2022). Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Kota Ambon Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 19(2), 73–82.
- Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023). Analisis Spasial Daerah Rawan Banjir di Das Wae Heru, Kota Ambon. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 75–82. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.8>
- Sitorus, I. H. O., Bioresita, F., & Hayati, N. (2021). Analisa Tingkat Rawan Banjir di Daerah Kabupaten Bandung Menggunakan Metode Pembobotan dan Scoring. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), 14–19. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.60082>
- Soebroto, A. A., Limantara, L. M., Suhartanto, E., & Sholichin, M. (2024). Modelling of Flood Hazard Early Warning Group Decision Support System. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 10(2), 614–627. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-02-018>
- Sulaeman, A., Suhartanto, E., & Sumiadi, S. (2017). Analisis Genangan Banjir Akibat Luapan Bengawan Solo Untuk Mendukung Peta Risiko Bencana Banjir di Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Teknik Pengairan*, 8(2), 146–157. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2017.008.02.1>