

Analisis Bahaya dan Risiko Banjir Berbasis Multikriteria di Kecamatan Sirimau Kota Ambon

Mohammad Amin Lasaiba¹, Ferdinand S Leuwol^{1*}

¹Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Pattimura

[leuwol.76@gmail.com*](mailto:leuwol.76@gmail.com)

Informasi artikel	A B S T R A K
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 2023-04-21 Revisi : 2023-10-28 Dipublikasikan : 2024-07-18</p> <p>Kata kunci: Sistem Informasi Geografi (SIG) Multikriteria Bahaya dan Resiko Banjir</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ancaman dan risiko banjir di Kecamatan Sirimau Kota Ambon dari perspektif multi kriteria menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Karakteristik bahaya banjir yang penting termasuk penggunaan lahan, elevasi, kemiringan, jarak dari sungai, tanah, dan curah hujan. Dua faktor risiko yaitu kepadatan penduduk dan penggunaan lahan serta karakteristik bahaya banjir digunakan dalam analisis risiko banjir. Prosedur agregasi peta untuk analisis risiko dan bahaya banjir menggunakan pendekatan Weighted Linear Combination (WLC). Hasil dari bahaya banjir di lokasi penelitian mengungkapkan bahwa bahaya banjir dengan kategori sangat tinggi dan tinggi yaitu 12,26% dan kategori risiko sangat rendah dan rendah bahaya banjir yaitu 87,84% dan hanya. Hasil dari resiko banjir di lokasi penelitian mengungkapkan bahwa resiko banjir dengan kategori tingkat resiko sangat tinggi dan tinggi sekitar 17, 28%, dan kategori resiko sangat rendah dan rendah resiko banjir yaitu (82,77%). Hal ini disebabkan wilayah Kecamatan Sirimau sebagian besar di dominasi oleh daerah perbukitan dan pegunungan</p>
<p>Keywords: <i>Geographic Information System Multicharacteristic Flood Hazard and Risk</i></p>	<p>A B S T R A C T <i>This study aims to target the threat and risk of flooding in Sirimau District, Ambon City from a multi-criteria perspective using a Geographic Information System (GIS). Important flood hazard characteristics include land use, elevation, slope, distance from rivers, soil, and rainfall. Two risk factors, namely population density and land use as well as flood hazard characteristics are used in flood risk analysis. Map aggregation procedure for flood risk and hazard analysis uses the Weighted Linear Combination (WLC) approach. The results of the flood hazard at the study site revealed that the flood hazard category was very high and high, namely 12.26%, and the flood hazard category was very low and low, namely 87.84% and only. The results of the flood risk in the research location revealed that the flood risk with very high and high-risk categories was around 17.28%, and very low and low flood risk categories (82.77%). This is because the Sirimau sub-district is mostly dominated by hilly and mountainous areas..</i></p>

PENDAHULUAN

Dampak pemanasan global membuat bencana hidrometeorologi semakin sering terjadi dan semakin parah, yang mengancam keberlangsungan masyarakat dan ekosistem (Zhang & Wang, 2023). Fenomena banjir sering terjadi di banyak tempat, baik di dalam maupun luar negeri. Penyebabnya bisa beragam, mulai dari tingginya curah hujan, saluran yang tersumbat, pemanfaatan air tanah yang berlebihan, dan sebagainya. Dampaknya pun bisa merugikan dalam banyak aspek, dari ekonomi, sosial, hingga kesehatan (Saddam et al., 2023).

Banjir menjadi bencana yang terjadi cukup intensif di Indonesia karena intensitas serta penyebarannya, hingga mencapai sekitar 40% dari kejadian alam lainnya dalam satu tahun (Musfida et al., 2021; Madani et al., 2022). Hal ini menjadi masalah berkelanjutan yang secara signifikan mempengaruhi keadaan masyarakat di semua lini baik secara ekonomi, sosial, dan lingkungan (Sholikha et al., 2022). Selama beberapa dekade terakhir, bencana banjir telah mengalami peningkatan. Sekitar 44% dari semua kejadian bencana banjir di seluruh dunia dari tahun 2000 hingga 2019 berdampak pada 1,6 miliar orang, yang merupakan angka tertinggi untuk semua jenis bencana (Antzoulatos et al., 2022).

Menurut data statistik informasi bencana, terdapat sekitar 1.518 kejadian banjir di Indonesia pada tahun 2020, dan menyebabkan sekitar 4.624.979 penduduk yang meninggal, hilang, mengalami luka-luka, mengungsi, dan berbagai kerusakan bangunan sekitar 30.634 kerusakan (BNPB, 2021; Madani et al., 2022). Menurut gis.bnpb.go.id, tahun 2022 mencatat 1031 kejadian bencana banjir di Indonesia (Saddam et al., 2023).

Para peneliti bencana banjir telah mengumpulkan sumber daya pengetahuan, dengan fokus pada penilaian bahaya dan risiko, peringatan dini, frekuensi banjir, manajemen bencana, analisis faktor dampak, dan topik terkait lainnya (Zhang & Wang, 2023). Dalam kaitannya dengan bahaya dan kerentanan banjir merupakan dua hal yang sering digunakan dalam kaitannya dengan banjir. Kerawanan banjir mengindikasikan kecenderungan suatu wilayah, berdasarkan

karakteristik fisik geografisnya (Rahman et al., 2019). Sedangkan kerentanan mengacu pada karakteristik intrinsik reseptor dari bahaya (orang, infrastruktur, kegiatan ekonomi, atau lainnya) (Parry et al., 2007; Meng et al., 2022). Dewasa ini, banyak penelitian telah dikembangkan untuk membuat peta kerawanan banjir sebagai alat untuk manajemen risiko banjir (Pham et al., 2018). Selain itu, dapat mengidentifikasi daerah-daerah yang paling rentan dan sebagai salah satu strategi peringatan dini untuk pencegahan dan mitigasi situasi banjir di masa depan (Vojtek, 2019).

Banjir perkotaan adalah ancaman bencana alam yang meluas dan mengancam nyawa dan properti penduduk di kota-kota di seluruh dunia (Lin et al., 2023). Urbanisasi yang cepat pada abad ke-21 telah meningkatkan kepadatan populasi dan properti di kota-kota, sehingga meningkatkan kerentanan banjir secara signifikan (Pourghasemi et al., 2019). Secara global, banjir menyebabkan lebih dari 30% dari total kerugian bencana setiap tahun (Yousefi et al., 2021), dan dampak banjir memiliki tren peningkatan yang jelas karena perubahan iklim dan urbanisasi yang terus berlanjut (Jongman, 2018; Rahmati et al., 2020; Rusk et al., 2022). Kejadian banjir yang menghancurkan terjadi di Beijing pada tanggal 21 Juli 2012, menyebabkan lebih dari 70 kematian dan mempengaruhi 1,6 juta orang (Jongman, 2018; Wang et al., 2020). Di Jakarta, pada tahun 2022 terjadi 14 kasus banjir yang mengakibatkan ratusan orang kehilangan tempat tinggal (Saddam et al., 2023).

Penyediaan peta kawasan bahaya dan risiko banjir dapat dimanfaatkan sebagai peringatan dini serta perencanaan berbasis mitigasi. Salah satu teknik yang berguna untuk pemetaan daerah rawan banjir dengan cepat dan efisien adalah penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) (Primayuda, 2006; Nuryanti et al., 2018). Hal ini juga ditunjang dengan kemajuan teknologi Penginderaan Jauh dalam, pemetaan dan pemantauan banjir berbasis satelit (Kwak, 2017). Data untuk mengurangi risiko bencana banjir terutama berasal dari pemantauan dan pelaporan, penginderaan jauh secara real-time,

catatan bencana masa lalu, data sosial-ekonomi, dan geografi dasar (Zhang & Wang, 2023)

Berbagai permasalahan lingkungan kota Ambon yang diidentifikasi menyangkut perkembangan kota yang cenderung menempati areal lahan yang datar, konsentrasi penduduk yang cukup tinggi dan meningkatnya tutupan lahan oleh bangunan di daerah perbukitan. Hal ini yang kemudian dijadikan sorotan dalam mengkaji bahaya dan resiko banjir di Kota Ambon dengan mengintegrasikan Sistem Informasi Geografi dengan analisis multi kriteria serta urgensinya yang dapat dijadikan tolak ukur bagi pemerintah daerah dalam pengambilan kebijakan untuk menanggulangi banjir.

METODE

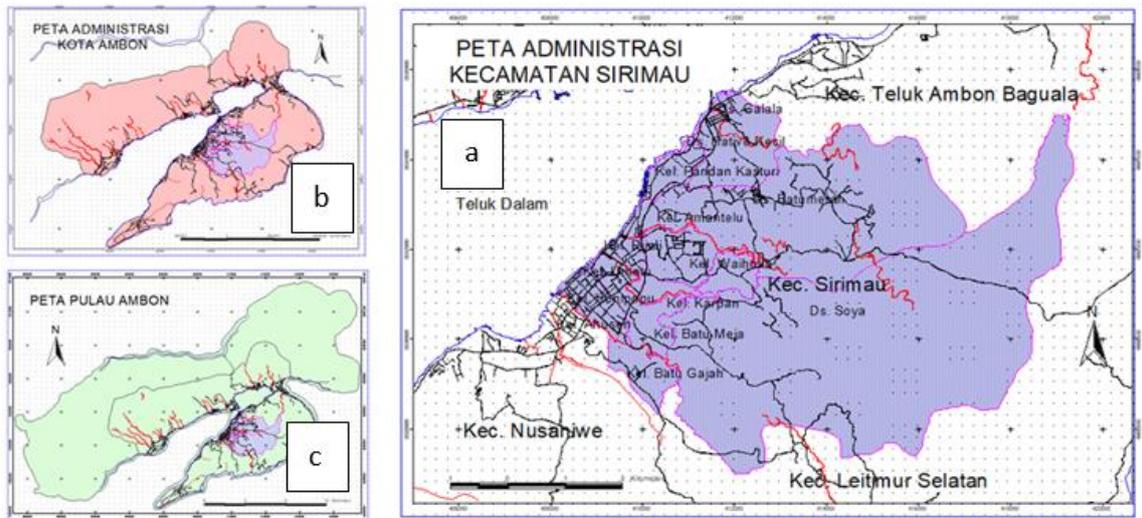
Studi ini dilakukan di Kecamatan Sirimau memiliki luas total 24,5 km² yang secara administratif dibagi menjadi 14 desa atau kelurahan dan terletak di Kota Ambon Pulau Ambon (Gambar 1). Secara astronomis terletak antara 30 dan 40 Lintang Selatan (LS) serta 1280 dan 1290 Bujur Timur (BT). Dalam penelitian ini, bahan dan alat terdiri dari Citra landsat tahun 2012 dan 2022; data curah hujan (2012-2022), Digital Elevation Model (DEM) untuk mengekstraksi Peta Kemiringan Lereng dan Peta Ketinggian Lahan, Peta tanah; Peta kepadatan penduduk. Peta buffer sungai, dan Peta administrasi.

Sementara alat yang digunakan yaitu kompas geologi, kamera digital, GPS Handheld Garmin, alat tulis lapangan dan perangkat lunak (Software), antara lain adalah Ms. Excel, ArcGIS 9.3, Er mapper dan Global Mapper dan untuk mengumpulkan data yang relevan untuk menganalisis bahaya banjir dan risiko dilakukan dengan pengamatan lapangan dan revidi dokumen. Pengumpulan data diperoleh dari Bappeda Kota, Dinas Pekerjaan Umum, Badan Meteorologi dan Klimatologi, dan Pemkot Kota Ambon, BPS Kota, Citra Landsat dari website of www.glovis.USGS.gov. dan data DEM dari website www.tanahair.indonesia.go.id/demnas. Tahap selanjutnya data yang telah diperoleh, dianalisis dengan pembobotan, skoring dan tumpang tindih.

Dalam menganalisis data, maka penentuan nilai dan bobot dilakukan agar perkalian keduanya dapat memperoleh skor total. Dengan menggunakan skema klasifikasi standar equal interval yang berkisar antara 1 - 5, untuk setiap parameter dan diklasifikasikan menjadi lima kelas. Sementara itu, pembobotan ditentukan oleh pengaruh dari parameter yang memiliki dampak terbesar terhadap tingkat bahaya dan resiko banjir. Overlay adalah langkah penggabungan data dari berbagai parameter yang lebih dari satu (Matondang et al., 2013).

Untuk menganalisis bahaya banjir di lokasi penelitian, berdasarkan studi pustaka, observasi, dan diskusi dengan pakar dan penduduk setempat. Masing masing parameter (kemiringan, curah hujan, elevasi, tanah, jarak dari sungai dan tata guna lahan), direklasifikasi berdasarkan bahaya dan resiko banjir yang diberikan skoring dengan nilai 5 untuk kategori bahaya tinggi hingga nilai 1 untuk bahaya yang rendah (Tabel 1).

Untuk menganalisis risiko banjir diperoleh dari bahaya banjir, kepadatan penduduk, dan jenis penggunaan sebagai tiga faktor penting dan direklasifikasi dengan nilai 5 hingga nilai 1. Dalam penelitian ini, metode weighted linear combination (WLC), dikhususkan pada model Analytical Hierarchy Process (AHP) diintegrasikan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Dalam AHP, multiple pairwise comparisons didasarkan pada skala perbandingan terstandar. Sembilan poin yang secara bersamaan membandingkan dan meranking secara konsisten (Tabel 1). Penilaian Pairwise dibuat berdasarkan informasi terbaik dari pengetahuan dan pengalaman pembuat keputusan (Mudin et al., 2015).



Gambar 1. a) Peta Kecamatan Sirimau, b) Peta Kota Ambon dan c) Peta Pulau Ambon

Tabel 1. Skor Faktor Faktor Penyebab Bahaya Banjir

No	Faktor Penyebab	Nilai	No	Faktor Penyebab	Nilai
I. Elevasi			IV. Curah Hujan		
1	0 - 25 mdpl	5	1	Sangat lebat (>100 mm)	5
2	25 - 75 mdpl	4	2	Lebat (51-100 mm)	4
3	75 - 150 mdpl	3	3	Sedang (21-50 mm)	3
4	150 - 250 mdpl	2	4	Ringan (5-20 mm)	2
5	> 250 mdpl	1	5	Sangat Ringan (> 5 mm)	1
II. Kemiringan Lereng			V. Penggunaan Lahan		
1	0-3%	5	1	Area Terbangun	5
2	3-8%	4	2	Kebun Campur dan Perkebunan	4
3	(8-15%	3	3	Pertanian Lahan	3
4	15-30%	2	4	Semak	2
5	>30%	1	5	Hutan	1
III. Jenis Tanah			VI. Jarak Wilayah terhadap Sungai		
1	Aluvial, Kambisol, Regosol, Gleisol	4	1	0-25 m	5
2	Kambisol, Litosol, Regosol	3	2	25-50 m	4
3	Rensina, Kambisol, Litosol	2	3	50-75 m	3
4	Litosol, Kambisol	1	4	75-100 m	2
			5	>100 m	1

Tabel 2. Tabel Indeks *Random Consistency* pada Perbandingan *Pair wise*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Sumber: (Saaty, 1977; Mudin et al., 2015)

Tabel 3. Skala Perbandingan *Pair wise* 9 Poin.

Intensitas Kepentingan	Definisi	Uraian
1	Kedua komponen tersebut sangat penting	Tujuannya sama-sama dipengaruhi oleh dua faktor
3	Satu komponen sedikit lebih penting daripada yang lain	Satu elemen di atas elemen lain yang berbeda dari hanya didukung sedikit oleh pengalaman dan penilaian.
5	Salah satu faktor sangat krusial atau sangat penting dibandingkan dengan aspek lainnya	Pengalaman dan penilaian. pengetahuan dan komitmen untuk mendukung satu faktor dari yang lain
7	Jelas, satu komponen lebih penting daripada yang lain	Satu komponen memiliki dukungan substansial, dan dominasinya terlihat jelas.
9	Pentingnya satu komponen atas yang lain tidak dapat diperdebatkan.	Tingkat penegasan yang paling kuat terlihat pada bukti yang mendukung satu elemen di atas elemen lainnya

*Catatan: 2,4,6,8. antara dua masalah terdekat, di antara nilai-nilai tengah.

Sumber: (Saaty, 1977; Mudin et al., 2015)

HASIL

Pengharkatan Parameter

Ide dasar dari AHP adalah untuk memecahkan masalah kompleks menjadi elemen-elemen komponennya dalam hierarki atau peringkat. Semakin besar skor, semakin besar dampak faktor-faktor tersebut terhadap bahaya risiko banjir (Mudin et al., 2015).

Sebagai masukan utama dari setiap kriteria penelitian, AHP menggunakan pendapat para ahli atau informan yang dianggap ahli. Keenam

parameter banjir yang diperoleh dari hasil perhitungan metode AHP, khususnya pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6, kemudian diberi bobot berdasarkan skala perbandingan antara kriteria yang disepakati. Hasil normalisasi seluruh parameter dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah, hasil analisis matriks perbandingan berpasangan, dari nilai skala perbandingan antara parameter banjir yang diperoleh, kemudian dianalisis kembali untuk menentukan bobotnya.

Tabel 4. Pengharkatan Faktor Faktor Penyebab Bahaya Banjir

Faktor bahaya banjir	Penggunaan lahan	Lereng	Jenis tanah	Curah hujan	Jarak dari sungai	Elevasi
Penggunaan lahan	1	3	3	5	7	8
Kemiringan lereng	0.33	1	3	3	5	6
Jenis tanah	0.33	0.33	1	3	3	5
Curah hujan	0.20	0.33	0.33	1	3	5
Jarak dari sungai	0.14	0.20	0.33	0.33	1	3
Elevasi	0.13	0.17	0.20	0.20	0.33	1
Total	2.13	5.03	7.87	12.53	19.33	28.00

Sumber: Hasil Pengolahan Data 2022.

Tabel 5. Normalisasi Pembobotan *Pairwise Matrix* Faktor Bahaya Banjir

Faktor	Penggunaan Lahan	Lereng	Jenis Tanah	Curah Hujan	Jarak Sungai	Elevasi	Priorita: Persen		Nilai Eigen
Peng. lahan	0.47	0.60	0.38	0.40	0.36	0.29	0.42	42	0.20
Lereng	0.16	0.20	0.38	0.24	0.26	0.21	0.24	24	0.05
Jenis tanah	0.16	0.07	0.13	0.24	0.16	0.18	0.15	15	0.02
Curah hujan	0.09	0.07	0.04	0.08	0.16	0.18	0.10	10	0.01
Jarak sungai	0.07	0.04	0.04	0.03	0.05	0.11	0.06	6	0.00
Elevasi	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	3	0.00
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	100	0.27

Sumber: Hasil Pengolahan Data 2022.

Uji konsistensi AHP dilakukan setelah mendapatkan nilai bobot untuk setiap kriteria. hasilnya dikontraskan dengan Indeks *Random Consistency* untuk mengukur konsistensi (RI). Dimana RI adalah indeks acak, rasio konsistensi didefinisikan sebagai CI/RI. Dapat dikatakan bahwa analisis AHP dinyatakan konsisten jika rasio konsistensi CR (0,045) 0,1.

Analisis Bahaya Banjir

Salah satu faktor penyebab dari banjir yaitu penggunaan lahan. Proses klasifikasi, kategori penggunaan lahan yang tertinggi (nilai 5) pada area terbangun karena memiliki bahaya yang sangat tinggi sementara kategori penggunaan lahan terendah dengan nilai 1 yaitu hutan karena memiliki bahaya yang sangat rendah (Tabel 6).

Penggunaan lahan aktual pada tahun 2022 yang berada di Kecamatan Sirimau lebih didominasi oleh kebun campuran dan Hutan dengan luasan masing masing yaitu 1346.684 ha (27,53%, 1346.684 Ha (36,37%) dan penggunaan

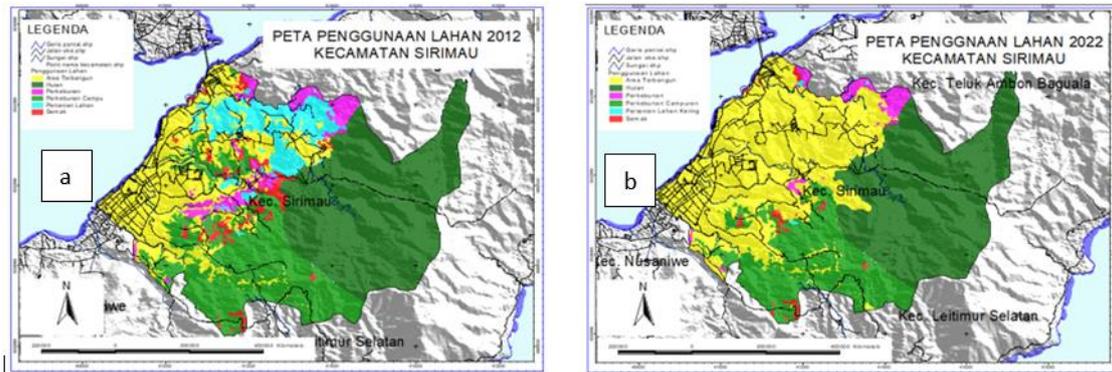
lahan dengan skala paling kecil adalah untuk semak belukar, yang memiliki luas 117.022 ha (3,16%), sedangkan penggunaan lahan yang paling luas sebagai pemukiman memiliki luas 907.497 ha (24, 51%). Secara keruangan, dapat dilihat pada Gambar 3a. Perubahan penggunaan lahan/penutup lahan adalah salah satu kontributor utama yang menyebabkan banjir sebagai akibat dari peningkatan dari ekspansi perkotaan, peningkatan tutupan yang *impervius* dan penurunan hutan sehingga berkontribusi terhadap peningkatan *run-off* yang selanjutnya dapat menyebabkan banjir (Hall et al., 2014).

Berbagai jenis tanah memiliki kapasitas yang berbeda, dimana, air bergerak menuruni lereng sebagai *run off* sehingga dapat menyebabkan banjir (Ouma & Tateishi, 2014). Karakteristik masing-masing kelompok berdasarkan satuan tanah yang direklasifikasi menjadi lima kelas dengan sangat tinggi yang menyebabkan banjir adalah dengan nilai 5 dan sangat rendah dengan nilai 1.

Tabel 6. Pembootan, Skoring dan Luasan Kawasan Bahaya Banjir

Parameter	Bobot	Reklasifikasi Parameter	Skoring	Bahaya	Luas (Ha)	Persen
Penggunaan lahan	42%	Area Terbangun	5	Sangat Tinggi	907.497	24.51
		Kebun Campur,	4	Tinggi	1019.326	27.53
		Perkebunan	3	Sedang	312.056	8.43
		Pertanian Lahan	2	Rendah	117.022	3.16
		Semak Hutan	1	Sangat Rendah	1346.684	36.37
Kemiringan lereng	24%	0–3%	5	Sangat Tinggi	209.351	5.69
		3–8%	4	Tinggi	336.674	9.16
		(8–15%	3	Sedang	1010.199	27.47
		15–30%	2	Rendah	1732.485	47.12
		>30%	1	Sangat Rendah	388.135	10.56
Jenis tanah	15%	Aluvial, Kambisol,	4	Tinggi	361.965	9.84
		Regosol, Gleisol	3	Sedang	2915.43	79.29
		Kambisol, Litosol,	2	Rendah	174.468	4.74
		Regosol	1	Sangat Rendah	225.152	6.12
		Rensina, Kambisol, Litosol Litosol, Kambisol				
Curah hujan	10%	Sangat lebat (>100 mm)	5	Sangat Tinggi	0.00	0.00
			4	Tinggi	0.00	0.00
		Lebat (51-100 mm)	3	Sedang	3677.017	100.00
		Sedang (21-50 mm)	2	Rendah	0.00	0.00
		Ringan (5-20 mm)	1	Sangat Rendah	0.00	0.00
		Sangat Ringan (< 5 mm)				
Jarak dari sungai	6%	0–25 m	5	Sangat Tinggi	104.875	2.85
		25–50 m	4	Tinggi	103.041	2.80
		50–75 m	3	Sedang	102.239	2.78
		75–100 m	2	Rendah	103.123	2.80
		>100 m	1	Sangat Rendah	3263.739	88.76
Elevasi	3%	0 - 25 mdpl	5	Sangat Tinggi	1012.253	27.53
		25 - 75 mdpl	4	Tinggi	1463.936	39.82
		75 - 150 mdpl	3	Sedang	1064.743	28.96
		150 - 250 mdpl	2	Rendah	120.462	3.28
		> 250 mdpl	1	Sangat Rendah	15.108	0.41

Sumber: Hasil Pengolahan Data 2022.



Gambar 2. a) Peta Penggunaan Lahan Kecamatan Sirimau Tahun 2012 (Landsat 7 dan b) Peta penggunaan lahan tahun 2022 (Landsat 8 Oli)

Untuk wilayah Kecamatan Sirimau hampir seluruh wilayahnya tersusun oleh jenis tanah Kambisol, Latosol, Regosol seluas 2915,430 ha (79,29%) dengan nilai 3 karena mereka memiliki Bahaya sedang. Pada wilayah pesisir mempunyai jenis Aluvial, Kambisol, Regosol, Gleysol seluas 361,965 ha (9,84%) dan berada pada nilai 4 karena mereka memiliki bahaya yang tinggi (Gambar 3c). Daerah dengan kondisi curah hujan yang relatif tinggi berdampak pada kejadian banjir; semakin besar curah hujan, semakin besar bahaya banjir (Febrianti et al., 2022). Data curah hujan direklasifikasi menjadi lima kelas dengan kategori tertinggi (diatas 100 mm) dengan nilai 5 karena memiliki pengaruh terhadap bahaya banjir dan terendah (dibawah < 5 mm) dengan nilai 1 karena berpengaruh sangat rendah untuk bahaya banjir.

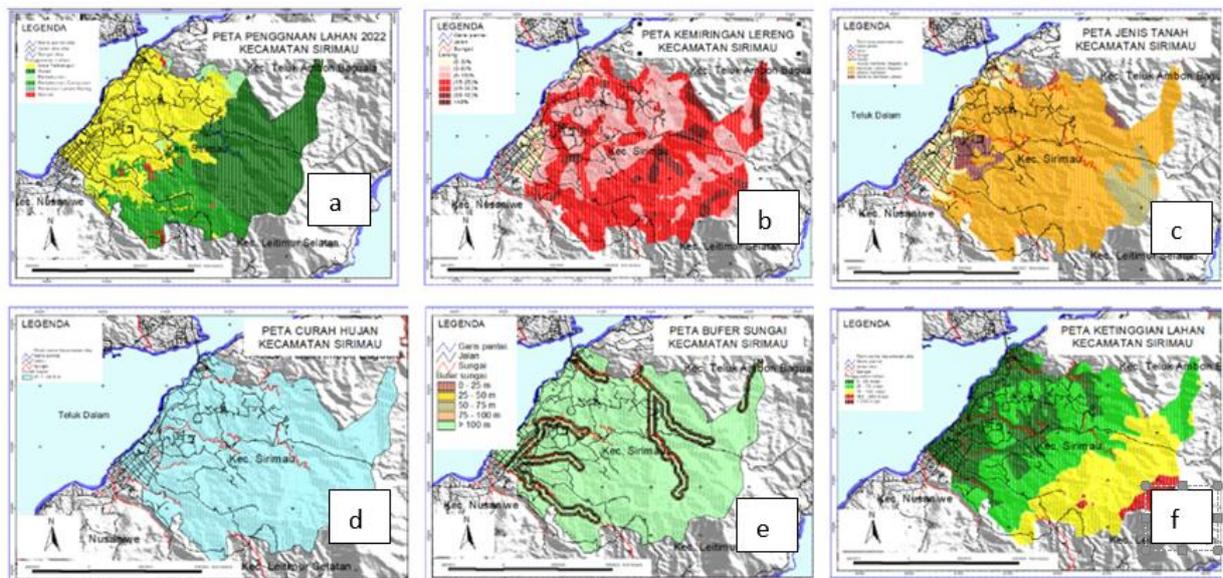
Berdasarkan Tabel 6, menurut data dari Stasiun Meteorologi Ambon Pattimura, curah hujan tahunan di Kabupaten Sirimau rata-rata sekitar 26.162 m selama 10 tahun terakhir (2013–2022). Dengan demikian, untuk intensitas curah hujan di lokasi penelitian berada pada kategori sedang dengan rata rata 21-50 m. Secara keruangan, dapat dilihat pada Gambar 3d.

Daerah dekat sungai ditetapkan dengan penyangga. Daerah tersebut semakin sering banjir semakin dekat dengan aliran sungai. Selama prosedur kategorisasi (Tabel 6), data jarak sungai direklasifikasi menjadi lima kelas dengan kategori tertinggi (0 - 25 m) berada pada nilai 5 yang sangat tinggi untuk bahaya banjir. Selanjutnya untuk kategori terendah (dibawah > 100 m) adalah nilai 1 yang sangat rendah untuk bahaya banjir. Kecamatan Sirimau terdapat empat sungai

yaitu Way-Ruhu ($\pm 9,10$ km) yang merupakan sungai terpanjang, Way-Batu merah ($\pm 4,25$ km), Way-Tomu ($\pm 4,20$ km) dan Way-Batu Gajah ($\pm 3,10$ km). Jarak Wilayah terhadap Sungai yang terdekat di Kecamatan Sirimau yaitu dengan jarak antara 0 -25 m seluas 104.875 ha (Gambar 3e).

Ketinggian merupakan salah satu faktor penyebab banjir dan memiliki peran kunci dalam mengendalikan pergerakan arah (Nkonu et al., 2022). Data ketinggian lahan direklasifikasi menjadi lima kelas dengan kategori ketinggian terendah pada nilai 5 (0 – 25 mdpl) yang sangat tinggi terhadap bahaya banjir sementara kategori ketinggian tertinggi (250 mdpl) dengan nilai 1 yang sangat rendah. Tabel 6 menunjukkan bahwa suatu tempat lebih berbahaya jika ketinggiannya lebih rendah. Dalam proses klasifikasi ini, Ketinggian lahan terluas di Kecamatan Sirimau yaitu pada ketinggian 25 – 75 mdpl seluas 1463,936 ha (39,82%), sedangkan luas ketinggian lahan terendah yaitu pada ketinggian lahan > 250 mdpl dengan luas 15,108 ha (3,28%) (Gambar 3f).

Hasil dari bahaya banjir di lokasi penelitian mengungkapkan bahwa bahaya banjir sebagaimana Tabel 7, dengan kategori tingkat bahaya sangat tinggi seluas 3,83% (146.163 ha), dan kategori bahaya sangat rendah 62,26% (2377.745 ha). Ini berarti bahwa proporsi didominasi oleh daerah dengan kategori rendah dan sangat rendah terjadinya bahaya banjir (87,84%). Hal ini disebabkan wilayah kecamatan Sirimau sebagian besar di dominasi oleh daerah perbukitan dan pegunungan dan hanya sekitar 12, 26% yang merupakan daerah dataran rendah.



Gambar 3. a) Peta Penggunaan Lahan b), Peta Kemiringan Lereng, c) Peta Jenis Tanah, d) Peta Curah Hujan e) Peta Jarak dari Sungai dan f) Peta Ketinggian Lahan

Tabel 7. Pembobotan, Skoring dan Luasan Kawasan Resiko Banjir

Parameter	Bobot	Reklasifikasi Parameter	Skoring	Bahaya	Luas (Ha)	Persen
Bahaya Banjir	33,33%	Sangat Tinggi	5	Sangat Tinggi	146.163	3.83
		Tinggi	4	Tinggi	108.637	2.84
		Sedang	3	Sedang	209.502	5.49
		Rendah	2	Rendah	977.034	25.58
		Sangat Rendah	1	Sangat Rendah	2377.745	62.26
Kepadatan Penduduk	33,33%	206 – 238/ Ha	5	Sangat Tinggi	31.279	0.85
		174 – 206/ Ha	4	Tinggi	49.271	1.34
		142 – 174 /Ha	3	Sedang	251.443	6.84
		110 – 142 /Ha	2	Rendah	1355.929	36.88
		78 – 110 /Ha	1	Sangat Rendah	1989.092	54.10
Penggunaan lahan	33,39%	Area Terbangun	5	Sangat Tinggi	907.497	24.51
		Kebun Campur, Perkebunan	4	Tinggi	1019.326	27.53
		Pertanian Lahan	3	Sedang	312.056	8.43
		Semak	2	Rendah	117.022	3.16
		Hutan	1	Sangat Rendah	1346.684	36.37

Sumber: Hasil Pengolahan Data 2022.

Berdasarkan tingkat bahaya banjir, maka dapatlah ditentukan zonasi wilayahnya yang dapat dilihat pada Tabel 7. Daerah yang paling tidak rentan terhadap bahaya, seperti banjir, adalah zona bahaya yang tidak rawan. Hal ini disebabkan karena wilayah ini merupakan kawasan hutan dan perkebunan dan terletak di ketinggian antara 0 sampai 25 mdpl (Gambar 4).

Analisis Risiko Banjir

Kepadatan penduduk untuk tahun 2022 di setiap desa direklasifikasi menjadi lima kelas dengan asumsi bahwa semakin padat penduduk, semakin rentan kondisi itu akan menjadi bahaya banjir. Dengan demikian, kategori kepadatan penduduk tertinggi berada pada nilai 5 dan kategori kepadatan penduduk terendah berada

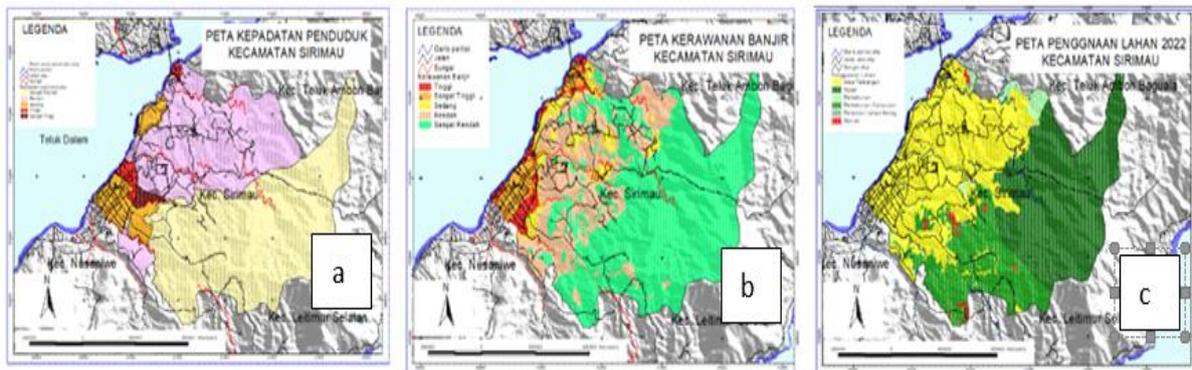
pada nilai 1 (Tabel 7). Kepadatan yang sangat tinggi (206 – 238 Ha) seluas 31,279 ha (0,85%) dengan desa terpadat adalah Kelurahan Rijali, sedangkan kepadatan penduduk terendah adalah 78 – 110 penduduk/ha, dengan luasan 1989,092 jiwa/ha, dengan desa/kelurahan terpadat adalah Desa Soya (Gambar 4a).

Kelas penggunaan lahan yang terdapat di daerah direklasifikasi menjadi lima kelas dalam menganalisis risiko banjir. Dengan demikian, untuk kategori yang tertinggi pada area terbangun dengan nilai 5 karena sangat rentan terhadap risiko banjir. Penggunaan lahan hutan diberikan nilai 1 karena sangat rendah rentan

terhadap risiko banjir. Penggunaan lahan dianggap sebagai salah satu faktor risiko banjir yang berkontribusi di daerah Kecamatan Sirimau (Tabel 7). Risiko banjir lahan dinilai sangat rendah, sedang, sedang, dan sangat tinggi untuk berbagai penggunaan lahan, termasuk hutan, semak belukar, perkebunan lahan kering, kebun campuran, dan pertanian terbangun.

Penggunaan lahan di Kecamatan Sirimau lebih didominasi oleh kebun campuran dengan luas 1346.684 ha (27,53%), Permukiman tersebar di wilayah pesisir, seluas 907,497 ha (24,51%), sedangkan semak-semak memiliki luas terkecil, yaitu 117.022 ha (3,16%). (Gambar 4b).

Gambar 4. a) Peta Bahaya Banjir, b) Peta Kepadatan Penduduk, dan c) Peta Penggunaan Lahan Kecamatan Sirimau



Bahaya banjir dianggap sebagai salah satu faktor penyebab risiko banjir di daerah Kecamatan Sirimau. Kelas bahaya banjir yang sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah dan sangat rendah diklasifikasikan terhadap risiko banjir. Bahaya banjir yang sangat tinggi diberi peringkat 5 karena memiliki bahaya tertinggi terhadap risiko banjir (Tabel 7). Bahaya banjir sangat rendah dengan nilai 1 karena memiliki bahaya terendah terhadap risiko banjir. Risiko banjir yang tertinggi memiliki luasan 146,163 ha (3,82%), sedangkan terendah dengan luasan 2377,745 ha (25,58%). Secara keruangan dapat dilihat pada Gambar 4c.

Hasil dari resiko banjir di lokasi penelitian mengungkapkan bahwa resiko banjir

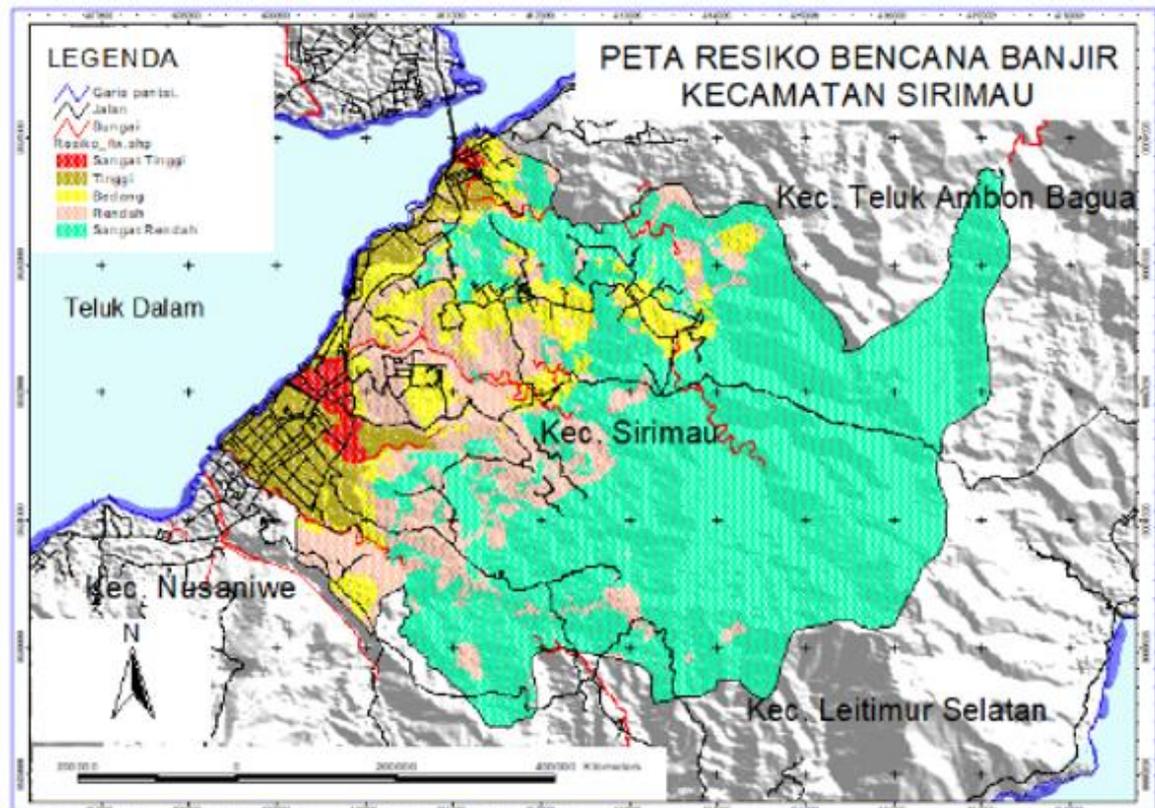
sebagaimana Tabel 8, dengan kategori tingkat resiko sangat tinggi seluas 1.31% (51.192 ha), kategori resiko tinggi 6.38% (249.417 ha), kategori resiko sedang 9.55% (373.586 ha), kategori resiko rendah 19.21% (751.273 ha), dan kategori resiko sangat rendah 63.56% (2486.008 ha). Ini berarti bahwa proporsi didominasi oleh daerah dengan kategori rendah dan sangat rendah daerah resiko banjir (82,77%). Hal ini disebabkan wilayah kecamatan Sirimau sebagian besar di didominasi oleh daerah perbukitan dan pegunungan dan hanya sekitar 17, 28% yang merupakan daerah dataran rendah dengan tingkat resiko banjir yang terjadi (Gambar 5).

Tabel 8. Luas Wilayah Resiko Banjir

No	Resiko Banjir	Luas (Ha)	Persen
1.	Sangat Tinggi	51.192	1.31
2.	Tinggi	249.417	6.38
3.	Sedang	373.586	9.55
4.	Rendah	751.273	19.21
5.	Sangat Rendah	2486.008	63.56
Total		3911.476	100.00

Sumber: Hasil Pengolahan Data 2022.

Gambar 5. Peta Resiko Banjir di Kecamatan Sirimau



PEMBAHASAN

Bencana yang sangat intensif terjadi serta menjadi bencana terbesar di dunia adalah banjir. Untuk menjaga pertumbuhan yang sehat dan berkelanjutan, sangat penting untuk menganalisis bahaya dan risiko banjir. Hal ini kemudian menjadi tema yang selalu diperdebatkan dalam bidang ilmu pengetahuan alam dan teknologi secara global. (Fatih, 2022). Banyak ahli membuktikan bahwa perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan adalah salah satu kontributor utama terjadinya bahaya banjir karena adanya

perluasan kota yang terus meningkat, peningkatan tutupan kedap air dan penurunan tutupan hutan di daerah perkotaan juga berkontribusi terhadap peningkatan *run-off* (Hall et al., 2014). Jumlah limpasan air hasil hujan yang lebih besar dari laju infiltrasi berperan dalam risiko banjir suatu wilayah yang dipengaruhi oleh tata guna lahan.

Menurut (Gigović et al., 2017) elevasi memiliki peran kunci dalam mengendalikan pergerakan arah luapan dan kedalaman muka air. Kemiringan merupakan faktor utama dalam

menentukan laju dan durasi aliran air karena area permukaan yang lebih datar lebih berisiko terhadap terjadinya banjir dibandingkan dengan permukaan yang lebih curam. Karakteristik tanah di suatu daerah seperti ketebalan lapisan tanah, permeabilitas, laju infiltrasi dan derajat kelembaban tanah berpengaruh langsung terhadap proses *runoff* pada musim penghujan (Rimba et al., 2017). Lereng adalah indikator penting dari zona permukaan, yang sangat rentan terhadap banjir. Lereng adalah faktor utama dalam menentukan laju dan durasi aliran air. Di permukaan yang lebih datar, air bergerak lebih lambat, terumpul dan terakumulasi lebih lama sehingga daerah ini lebih berisiko dengan terjadinya banjir jika dibandingkan dengan permukaan yang curam (Gigović et al., 2017). Penilaian risiko banjir yang komprehensif adalah evaluasi sintesis yang terdiri dari banyak faktor, termasuk bahaya dari faktor pemicu bencana dan lingkungan perkembangan bencana, serta kerentanan dari tubuh penghantarnya (Fatih, 2022). Studi ini mempertimbangkan resiko banjir yang meliputi tiga faktor penting untuk pemetaan risiko banjir yaitu kepadatan penduduk, dan jenis penggunaan sebagai dan ketiga faktor ini dianggap sama pentingnya dalam proses *overlay* tertimbang. (Wondim, 2016).

Elemen bahaya banjir mewakili proses fisik, sedangkan kerentanan banjir mewakili kerentanan terhadap kerusakan atau kerugian, risiko kehidupan manusia, harta benda atau aktivitas manusia (Arfani, 2022). Peta risiko banjir yang dikembangkan berguna bagi pembuat kebijakan dan otoritas yang bertanggung jawab, serta bagi penduduk lokal dalam menemukan langkah-langkah yang sesuai untuk mengurangi risiko banjir di wilayah studi. Ketersediaan rencana penggunaan lahan memberikan panduan yang tersedia untuk pengembang dan perencana di area mana yang dapat dikembangkan untuk penggunaan yang mana, dan memungkinkan penggabungan informasi risiko banjir ke dalam keputusan dan penilaiannya (Sela & Tilaar, 2017). Urbanisasi, sebagai fitur yang mendefinisikan pertumbuhan demografis dunia, baik terlibat di dalamnya dan bersenyawa dengan risiko banjir (Savitri, 2019). Kerentanan manusia terhadap

banjir dipengaruhi oleh pendorong perubahan seperti pertumbuhan penduduk dan pola pemukiman (Santato et al., 2013). Pertumbuhan penduduk dinyatakan sebagai salah satu kontributor terhadap risiko banjir perkotaan karena pertumbuhan penduduk di kota-kota baik kecil maupun besar yang pesat dan terdapat pemukiman yang berkembang di daerah aliran sungai dan dasar lembah yang sangat mengubah pola drainase serta destabilisasi lereng yang mengakibatkan peningkatan risiko banjir dan tanah longsor (Wilby & Keenan, 2012).

Santato et al., (2013) berpendapat bahwa peningkatan tekanan penduduk dapat memaksa banyak orang untuk memasuki lahan kosong di kota-kota pada negara-negara kurang berkembang dengan mengisi saluran alami dan dataran banjir yang dapat menyebabkan peningkatan risiko banjir. Menurut (Jha et al., 2012), percepatan urbanisasi dan pembangunan perkotaan juga dapat meningkatkan risiko banjir yang tidak tergantung dari perubahan iklim. Dampak pertumbuhan perkotaan masa depan terhadap risiko banjir dipengaruhi oleh kebijakan dan pilihan penghuni perkotaan.

SIMPULAN

Studi ini berfokus pada analisis bahaya dan risiko banjir dari perspektif multi kriteria berbasis pada Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kecamatan Sirimau. Faktor bahaya banjir ditentukan berdasarkan studi pustaka, observasi lapangan, dan diskusi dengan pakar dan penduduk setempat. Tanah, curah hujan, ketinggian, kemiringan, dan jarak dari sungai semuanya diperhitungkan sebagai elemen bahaya banjir yang signifikan di lokasi penelitian. Analisis risiko banjir dilakukan menggunakan parameter bahaya banjir dan dua elemen berisiko, yaitu kepadatan penduduk dan penggunaan lahan. Metode Weighted Linear Combination (WLC) digunakan dalam proses agregasi peta kriteria untuk bahaya banjir dan risiko banjir.

Hasil dari bahaya banjir di lokasi penelitian mengungkapkan bahwa bahaya banjir dengan kategori tingkat bahaya sangat

tinggi seluas 3,83% (146.163 ha), dan kategori bahaya sangat rendah 62,26% (2377.745 ha). Ini berarti bahwa proporsi didominasi oleh daerah dengan kategori rendah dan sangat rendah terjadinya bahaya banjir (87,84%). Hasil dari resiko banjir di lokasi penelitian mengungkapkan bahwa resiko banjir dengan

kategori tingkat resiko sangat tinggi seluas 1.31% (51.192 ha), kategori resiko tinggi 6.38% (249.417 ha), kategori resiko sedang 9.55% (373.586 ha), kategori resiko rendah 19.21% (751.273 ha), dan kategori resiko sangat rendah 63.56% (2486.008 ha).

REFERENSI

- Antzoulatos, G., Kouloglou, I.-O., Bakratsas, M., Moumtzidou, A., Gialampoukidis, I., Karakostas, A., Lombardo, F., Fiorin, R., Norbiato, D., Ferri, M., Symeonidis, A., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. (2022). Flood Hazard and Risk Mapping by Applying an Explainable Machine Learning Framework Using Satellite Imagery and GIS Data. *Sustainability*, *14*(6). <https://doi.org/10.3390/su14063251>
- Arfani, M. (2022). Kolaborasi Pentahelix dalam Upaya Pengurangan Risiko Bencana pada Destinasi Wisata Di Desa Kalanganyar Sidoarjo. *Jurnal Syntax Transformation*, *3*(1), 104–120.
- BNPB. (2021). *Korban dan Kerusakan Menurut Bencana*. Bidang Pengelolaan Data Dan Sistem Informasi (PDSI), BNPB. <https://dibi.bnpb.go.id/kbencana?pr=>
- Fatih, S. (2022). Natural Disaster Risk Assessments for Pine Honey Apiaries in Muğla, Turkey. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *8*(2), 250–263. <https://doi.org/https://doi.org/10.21324/dacd.1009499>
- Febrianti, T., Ramdani, Y., & Badruzzaman, F. H. (2022). Analisis Curah Hujan dalam Menentukan Debit Banjir Rencana pada Daerah Aliran Sungai Cisadane Menggunakan Metode Rasional. *Bandung Conference Series: Mathematics*, *2*(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.29313/bcs m.v2i1.1822>
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobnjak, S. (2017). Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. *Water*, *9*(6). <https://doi.org/10.3390/w9060360>
- Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kriaučiūnienė, J., Kundzewicz, Z. W., Lang, M., Llasat, M. C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., ... Blöschl, G. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, *18*(7), 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. World Bank Publications.
- Jongman, B. (2018). Effective adaptation to rising flood risk. *Nature Communications*, *9*(1), 1986. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04396-1>
- Kwak, Y. (2017). *Nationwide Flood Monitoring for Disaster Risk Reduction Using Multiple Satellite Data*. <https://doi.org/10.3390/ijgi6070203>
- Lin, L., Tang, C., Liang, Q., Wu, Z., Wang, X., & Zhao, S. (2023). Rapid urban flood risk mapping for data-scarce environments using social sensing and region-stable deep neural network. *Journal of Hydrology*, *617*, 128758. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128758>
- Madani, I., Bachri, S., & Aldiansyah, S. (2022). Pemetaan Kerawanan Banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendo Kabupaten Banyuwangi Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geosaintek*, *8*(2), 192. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v8i2.11907>
- Matondang, J., Kahar, S., & Sasmito, B. (2013). Analisis Zonasi Daerah Rentan Banjir Dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kota Kendal Dan Sekitarnya). *Jurnal Geodesi Undip*, *2*(2), 84658. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/2442>
- Meng, M., Dąbrowski, M., Xiong, L., & Stead, D. (2022). Spatial planning in the face of flood risk: Between inertia and transition. *Cities*,

- 126, 103702.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103702>
- Mudin, Y., Ende, F., & Rusydi, M. (2015). Spatial analysis on the location of potential danger of flooding in regency of donggala using analytical hierarchy process (AHP). *Gravitasi*, *14*(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.22487/gravitasi.v14i1.4439>
- Musfida, A., Manaf, M., Tantu, A. G., Hadijah, H., Syafri, S., & Kastono, K. (2021). Kajian Lokasi Rawan Bencana Banjir Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Walanae Kecamatan Dua Boccoe Kabupaten Bone. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, *21*(2), 348–357.
<https://doi.org/10.35965/eco.v21i2.1111>
- Nkonu, R. S., Antwi, M., Amo-Boateng, M., & Dekongmen, B. W. (2022). *GIS-Based Multi-Criteria Analytical Hierarchy Process Modelling for Urban Flood Risk Analysis and Assessment*, *Accra Metropolis*.
<https://orcid.org/0000-0002-4433-1683>
- Nuryanti, Tanesib, J. L., & Warsito, A. (2018). Pemetaan Daerah Rawan Banjir Dengan Penginderaan Kupang Timur Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Fisika, Fisika Sains Dan Aplikasinya*, *3*(1), 73–79.
<http://ejurnal.undana.ac.id/index.php>
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. *Water*, *6*(6), 1515–1545.
<https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., & Hanson, C. (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, *6*(2), 99–110.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>
- Pourghasemi, H. R., Gayen, A., Panahi, M., Rezaie, F., & Blaschke, T. (2019). Multi-hazard probability assessment and mapping in Iran. *Science of The Total Environment*, *692*, 556–571.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.203>
- Primayuda, A. (2006). *Pemetaan daerah rawan dan resiko banjir menggunakan sistem informasi geografis (Studi kasus Kabupaten Trenggalek, Propinsi Jawa Timur)* [IPB (Bogor Agricultural University)].
<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/50538>
- Rahman, M., Ningsheng, C., Islam, M. M., Dewan, A., Iqbal, J., Washakh, R. M. A., & Shufeng, T. (2019). Flood Susceptibility Assessment in Bangladesh Using Machine Learning and Multi-criteria Decision Analysis. *Earth Systems and Environment*, *3*(3), 585–601.
<https://doi.org/10.1007/s41748-019-00123-y>
- Rahmati, O., Darabi, H., Panahi, M., Kalantari, Z., Naghibi, S. A., Ferreira, C. S. S., Kornejady, A., Karimidastenaie, Z., Mohammadi, F., Stefanidis, S., Tien Bui, D., & Haghighi, A. T. (2020). Development of novel hybridized models for urban flood susceptibility mapping. *Scientific Reports*, *10*(1), 12937.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-69703-7>
- Rimba, A. B., Setiawati, M. D., Sambah, A. B., & Miura, F. (2017). Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. *Urban Science*, *1*(1).
<https://doi.org/10.3390/urbansci1010007>
- Rusk, J., Maharjan, A., Tiwari, P., Chen, T.-H. K., Shneiderman, S., Turin, M., & Seto, K. C. (2022). Multi-hazard susceptibility and exposure assessment of the Hindu Kush Himalaya. *Science of The Total Environment*, *804*, 150039.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150039>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, *15*(3), 234–281.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saddam, M. A., Dewantara, E. K., & Solichin, A. (2023). Sentiment Analysis of Flood Disaster Management in Jakarta on Twitter Using Support Vector Machines. *Sinkron*, *8*(1), 470–479.

- <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.12063>
Santato, S., Bender, S., & Schaller, M. (2013). The European floods directive and opportunities offered by land use planning. *CSC Report*, 12.
https://www.coastdat.de/imperia/md/content/csc/csc-report_12.pdf
- Savitri, A. (2019). *Bonus Demografi 2030: menjawab tantangan serta peluang edukasi 4.0 dan revolusi bisnis 4.0*. Penerbit Genesis.
- Sela, R. L., & Tilaar, S. (2017). Arahan pengembangan penggunaan lahan permukiman di Kecamatan Amurang Barat, Kabupaten Minahasa Selatan. *SPASIAL*, 4(2), 1–11.
<https://doi.org/10.35793/sp.v4i2.15987>
- Sholikha, D. E. Z., Sutoyo, S., & Rau, M. I. (2022). Pemodelan Sebaran Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS di Sub DAS Cisadane Hilir. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(2), 147–160.
<https://doi.org/10.29244/jsil.7.2.147-160>
- Vojtek, M. (2019). *Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process*.
<https://doi.org/10.3390/w11020364>
- Wang, Y., Xie, X., Liang, S., Zhu, B., Yao, Y., Meng, S., & Lu, C. (2020). Quantifying the response of potential flooding risk to urban growth in Beijing. *Science of The Total Environment*, 705, 135868.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135868>
- Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 36(3), 348–378.
<https://doi.org/10.1177/0309133312438908>
- Wondim, Y. K. (2016). Flood hazard and risk assessment using GIS and remote sensing in lower Awash sub-basin, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 6(9), 69–86.
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57151989>
- Yousefi, S., Pourghasemi, H. R., Rahmati, O., Keesstra, S., Emami, S. N., & Hooke, J. (2021). Geomorphological change detection of an urban meander loop caused by an extreme flood using remote sensing and bathymetry measurements (a case study of Karoon River, Iran). *Journal of Hydrology*, 597, 125712.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125712>
- Zhang, M., & Wang, J. (2023). Automatic Extraction of Flooding Control Knowledge from Rich Literature Texts Using Deep Learning. In *Applied Sciences* (Vol. 13, Issue 4).
<https://doi.org/10.3390/app13042115>