

Pemetaan daerah rawan banjir berbasis SIG dan AHP di Perkotaan Singaraja, Bali

*Mapping of flood-prone areas based on GIS and AHP in Singaraja Urban Area,
Bali*

Putu Edi Yastika^{1,2*}, I GD Yudha Partama^{1,2}, Komang Agus Aprianto¹, dan Anak Agung Mas Untari¹

¹Program Studi Perencanaan Wilayah dan Perdesaan, Program Pascasarjana, Universitas Mahasaraswati Denpasar, Bali, Indonesia

²Center for Innovative Research and Empowerment on Sustainability, Universitas Mahasaraswati Denpasar, Bali, Indonesia

*Corresponding author's email: ediyastika@unmas.ac.id

Abstrak. Singaraja, ibukota Kabupaten Buleleng, Bali, memiliki kondisi geografis dataran rendah sempit dan berbukit yang berpotensi mengakibatkan bencana seperti banjir/banjir bandang dan tanah longsor. Sebagai upaya mitigasi dan pengendalian banjir diperlukan pemetaan potensi rawan bencana untuk menjadi dasar penentuan arah kebijakan dalam pembangunan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan daerah rawan dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan tiga pembeda yaitu (1) penggunaan lahan, (2) kelerengan, dan (3) curah hujan. Data curah hujan dari periode 2018-2022 dikumpulkan dari 5 stasiun/pos pantau milik BMKG. Dari *Analytic Hierarchy Process* (AHP) diperoleh bobot untuk penggunaan lahan adalah 0,2358, bobot kelerengan sebesar 0,4928, dan bobot pada curah hujan 0,2713. Analisis dengan metode Overlay Intersection pada ArcGIS 10.8 menunjukkan 5,3 km² (11,9 % wilayah) merupakan area paling rawan banjir, sementara area paling aman seluas 4,06 km². Hasil pemetaan ini sesuai dengan laporan kejadian banjir ekstrem yang pernah terjadi pada tahun 2018 dan 2021 di daerah-daerah tersebut.

Kata Kunci: Analytical Hierarchy Process; Rawan banjir; Sistem Informasi Geografis

Abstract. Singaraja, the capital of Buleleng Regency, Bali, has narrow and hilly lowland geographic conditions which have the potential to cause disasters such as floods/flash floods and landslides. As an effort to mitigate and control floods, mapping of potential disaster hazards is needed to become the basis for determining development policy. This research aims to map vulnerable areas by using Geographic Information System (GIS) with three variables, namely (1) Rainfall, (2) Slope and (3) Land Use. Rainfall data from the 2018-2022 period was collected from 5 BMKG stations/monitoring posts. From the Analytic Hierarchy Process (AHP), the weight for land use is 0.2358, the weight for slope is 0.4928, and the weight for rainfall is 0.2713. Analysis using the Overlay Intersection method in ArcGIS 10.8 shows that 5.3 km² (11.9% of the area) is the area most prone to flooding, while the safest area is 4.06 km². The results of this mapping are in accordance with reports of extreme flood events that occurred in 2018 and 2021 in these areas.

Keywords: Analytical Hierarchy Process; Flood-prone; Geographic Information System

1. Pendahuluan

Banjir adalah peristiwa atau keadaan di mana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat [1]. Hal ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan kondisi topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekung [2]. Selain itu, terjadinya banjir juga dapat disebabkan oleh limpasan air permukaan (*run off*) yang meluap dan volumenya melebihi kapasitas pengaliran sistem drainase atau sistem aliran sungai [3]. Terjadinya bencana banjir juga disebabkan oleh rendahnya kemampuan infiltrasi tanah, sehingga menyebabkan tanah tidak mampu lagi menyerap air [4]. Terdapat tiga faktor yang sangat berpengaruh terhadap banjir, yaitu: elemen meteorologi (intensitas, distribusi, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung) [2], karakteristik DAS (luas DAS, kemiringan lahan, ketinggian, dan kadar air tanah) [5], dan faktor manusia yang memiliki pengaruh terhadap alih fungsi suatu area konservasi yang dapat menurunkan kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air yang akhirnya memperbesar peluang terjadinya aliran permukaan (*run off*) dan erosi [4].

Permasalahan banjir dan genangan air di Singaraja makin sering terjadi pada setiap musim hujan. Berdasarkan lokasi sumber aliran permukaannya, banjir di Singaraja dibagi dua yaitu: (1) banjir kiriman (banjir bandang) adalah banjir yang diakibatkan oleh tingginya curah hujan di daerah hulu sungai, (2) banjir lokal, yaitu banjir yang terjadi karena volume hujan melebihi kapasitas pembuangan. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Buleleng, di sepanjang tahun 2022 Kota Singaraja telah mengalami banjir sebanyak 12 kali. Banjir tersebut mengakibatkan 1 korban jiwa dan kerusakan infrastruktur, kerugian ekonomi dengan estimasi kerugian 221,8 juta rupiah. Berkurangnya daerah resapan air dan sedimentasi saluran akibat drainase yang tidak baik adalah salah satu hal yang sering dituding sebagai penyebab terjadinya genangan. Kawasan yang dulunya merupakan daerah pertanian sejalan dengan kebutuhan terhadap perumahan sekarang banyak beralih fungsi menjadi kompleks permukiman baru, atau dikenal sebagai alih fungsi lahan (*landuse change*).

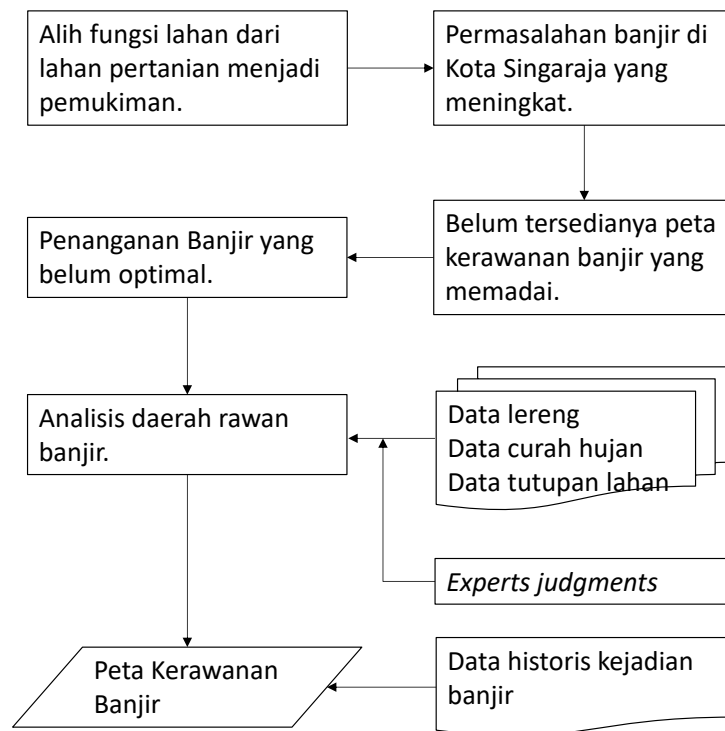
Kota Singajara mengalami terus mengalami alih fungsi lahan utamanya dari lahan pertanian menjadi kawasan terbangun [6]. *Urban sprawl* seperti ini membawa konsekuensi lahan pertanian menjadi terpecah-pecah di antara permukiman yang menyebabkan saluran irigasi ditutup pelat beton, menyempit atau bahkan hilang [7].

Saat ini tingkat kerawanan banjir di Kota Singaraja belum terpetakan dengan baik karena hanya mencakup sebagian kawasan Kota Singaraja. Selain efek domino dari alih fungsi lahan, hal lain yang perlu diperhatikan sebagai faktor penyebab banjir di Singaraja adalah hujan dengan intensitas tinggi dan berlangsung lama, serta kemiringan/ kelerengan atau topografinya. Pemetaan tingkat kerawanan banjir telah dilakukan, akan tetapi hasilnya masih kurang komprehensif karena tidak melibatkan *stakeholder* sebagai *local expert* dan hanya menggunakan pembobotan secara umum pada data fisik yaitu Curah Hujan, Kemiringan Lereng, Penggunaan Lahan, Elevasi, Bentuk Lahan [8]. Pada penelitian ini dilakukan analisa daerah rawan banjir melalui pendekatan kajian hidrologis dan geografis, dengan menggunakan sistem informasi geografis. Selain itu untuk mendapatkan peta kerawanan banjir yang lebih akurat, penelitian ini juga menggunakan metode AHP dengan melibatkan pendapat ahli yang lebih menguasai permasalahan banjir di lapangan. Kombinasi metode antara GIS dengan AHP terbukti memberikan hasil yang lebih baik dan menjadi tren saat ini [9–12]. Hasil pemetaan kemudian divalidasi dengan kejadian banjir masa lampau yang diperoleh dari Dinas PUPR Kabupaten Buleleng. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi acuan untuk penanganan banjir dan perumusan kebijakan dalam alih fungsi lahan di Kabupaten Buleleng, khususnya Kota Singaraja.

2. Metode

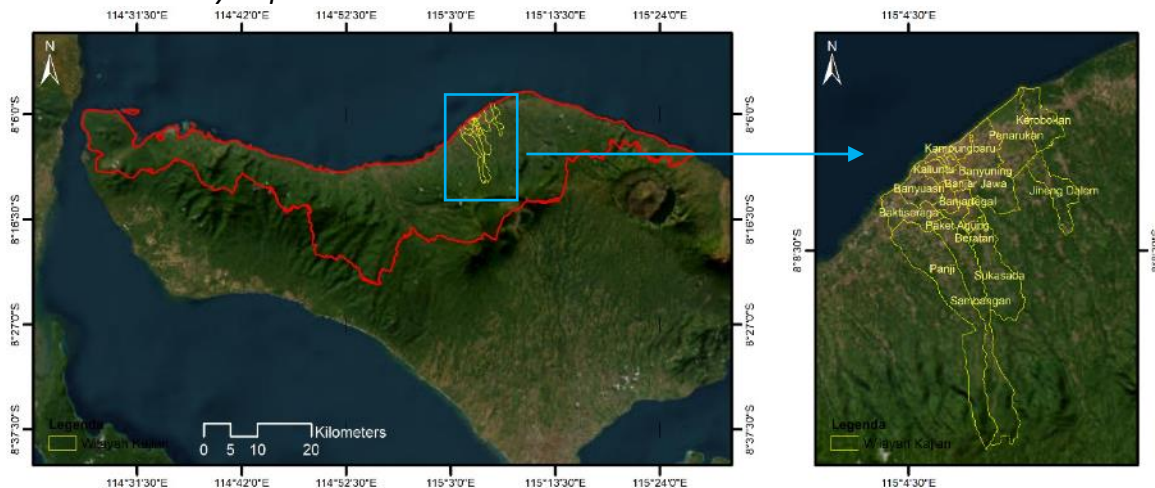
2.1. Kerangka Penelitian

Penelitian ini diawali dengan adanya permasalahan banjir di Kota Singaraja yang meningkat tiap tahunnya ditandai dengan area genangan yang makin luas dan durasi genangan yang semakin lama. Permasalahan ini diduga dipicu oleh semakin masifnya alih fungsi lahan dari lahan pertanian menjadi pemukiman. Di sisi lain penanganan banjir oleh pihak terkait belum optimal karena tidak tersedianya peta kerawanan banjir yang memadai. Oleh karenanya pada penelitian ini akan dilakukan pemetaan kerawanan banjir berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dikombinasikan dengan AHP untuk mendapat masukan dari *stakeholder* terkait yang sangat memahami kondisi di lapangan. Gambar 1 menunjukkan kerangka berpikir dari penelitian ini.



Gambar 1. Kerangka berpikir penelitian.

2.2. Delineasi wilayah penelitian



Gambar 2. Daerah kajian pada penelitian ini berada di Kabupaten Buleleng Bali yaitu Kota Singaraja dan sekitarnya.

Delineasi wilayah diperlukan guna menentukan wilayah penelitian berupa wilayah yang akan dikaji dan wilayah penyangga yang mendukung dan/atau memberikan dampak yang terikat erat pada wilayah yang dikaji. Kota Singaraja menurut Peraturan Bupati Buleleng Nomor 5 tahun 2021 tentang Rencana Detail Tata Ruang Kawasan Perkotaan: terdiri dari 23 desa/kelurahan yang secara administrasi kewilayahan berada di Wilayah Kecamatan

Buleleng, serta ada 3 desa yang berada di dua kecamatan lain yaitu Kecamatan Sukasada (Kelurahan Sukasada dan Desa Panji) dan Kecamatan Sawan (Desa Kerobokan). Secara geografis wilayah Kota Singaraja berada di dataran rendah dekat laut, namun sebelah selatan langsung terdapat daerah perbukitan yang masuk dalam daerah Kecamatan Sukasada dan Kecamatan Sawan. Dalam penelitian ini, wilayah yang dikaji adalah Kota Singaraja sesuai dengan deliniasi Kota Singaraja, dan daerah pendukung Kota Singaraja yaitu: Kecamatan Buleleng, Sukasada dan Sawan. Gambar 2 menunjukkan deliniasi lokasi atau wilayah kajian dalam penelitian ini.

2.3. Metode pengumpulan data

Pengumpulan data ditujukan untuk identifikasi permasalahan banjir yang terjadi di Kota Singaraja dan sekitarnya, meliputi sejarah kejadian banjir yang ada di semua wilayah, penggunaan lahan, curah hujan dan kelerengan. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara survei langsung ke lapangan untuk mendapatkan informasi kejadian banjir. Selain itu dilakukan juga kunjungan ke lokasi-lokasi banjir serta wawancara dengan masyarakat setempat dan petugas penanganan drainase dalam hal ini Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Buleleng. Sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi-instansi yang berwenang. Data peta dasar topografi, adalah data yang mengandung informasi ketinggian permukaan bumi yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia. Peta Digital RBI khususnya untuk peta batas administrasi dan penggunaan lahan juga diperoleh dari BIG. Data Curah Hujan, yaitu data pengukuran curah hujan di stasiun-stasiun hujan di Kota Singaraja serta wilayah pendukung/ penyangganya disediakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

2.4. Metode analisis data

2.4.1. *Curah hujan.* Data hujan yang diperoleh dari stasiun pengamatan hujan merupakan hujan yang terjadi pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), sehingga untuk kawasan yang luas satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan yang terjadi di wilayah tersebut. Oleh karena itu diperlukan hujan kawasan yang didapat dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau di sekitar kawasan tersebut.

Beberapa metode interpolasi digunakan untuk memperkirakan distribusi intensitas hujan seperti Isohyet, IDW, dan Krigging [13]. Pada penelitian ini menggunakan metode Inverse Distance Weighted (IDW). IDW merupakan metode interpolasi geostatistik yang memiliki formulasi paling sederhana, mudah dipahami dan mudah diimplementasikan. Dengan menentukan nilai dari suatu titik yang belum diketahui nilainya menggunakan kombinasi bobot linier dari suatu set titik-titik sampel. Titik-titik sampel yang dimaksud merupakan titik-titik yang sudah diketahui nilainya dan secara spasial letaknya paling dekat dengan titik yang akan ditentukan nilainya. Sementara bobot yang dimaksud adalah fungsi jarak terbalik (*inverse distance*) titik-titik sampel tersebut terhadap titik yang akan ditentukan nilainya [13]. Intensitas hujan dinyatakan dalam satuan mm dengan periode yang disesuaikan dari curah

hujan harian, curah hujan bulanan, hingga curah hujan tahunan. Di mana tinggi intensitas hujan dikelompokkan ke dalam 5 kelas.

Setiap kelas diberikan skor/bobot sesuai dengan rentang intensitasnya seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Kelas intensitas curah hujan.

Variabel	Kelas	Keterangan	skor
Curah Hujan	Sangat Rendah	0 – 1.000 mm/tahun	1
	Rendah	1.000 – 2.000 mm/tahun	2
	Sedang	2.000 – 3.000 mm/tahun	3
	Tinggi	3.000 – 4.000 mm/tahun	4
	Sangat tinggi	> 4.000 mm/tahun	5

2.4.2. *Kelerengan.* Kelerengan adalah penampakan permukaan alam yang memiliki beda tinggi. Apabila dua tempat yang memiliki beda tinggi dibandingkan dengan jarak lurus mendatar, maka akan diperoleh besarnya kelerengan. Wentworth mengemukakan pembuatan peta kelas kelerengan diperoleh melalui interpretasi dari data Digital Elevation Model (DEM) dengan menggunakan persamaan 1. Pada penelitian ini akan menggunakan data DEM Nasional (DEMNAS) yang diperoleh dari BIG dengan resolusi spasial 15 m.

$$S = \frac{(n-1) \times ki}{a \times \text{penyebut skala peta}} \times 100\%$$

Keterangan:

S adalah besar sudut lereng

n adalah jumlah kontur yang memotong diagonal jaring

ki adalah kontur interval

a adalah panjang diagonal jaring dengan panjang rusuk 1 cm.

Data kelerengan yang telah dibangun dari DEMNAS kemudian diklasifikasikan menjadi 5 kelas sesuai dengan rentang kemiringannya seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Setiap kelas kelerengan diberi indeks kerawanan banjir dari 1 sampai 5, di mana semakin besar indeksnya maka daerah tersebut semakin rawan terjadi banjir.

Tabel 2. Kelas kelerengan modifikasi [14].

Kemiringan (%)	Klasifikasi	Kelas Untuk Indeks Banjir
0 – 8	Datar	5
8 – 15	Agak Miring	4
15 – 25	Miring	3
25 - 45	Agak Curam	2
>45	Curam	1

2.4.3. *Penggunaan lahan*. Penggunaan lahan adalah bentuk lain dari tutupan lahan permukaan bumi. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan perbedaan tutupan lahan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tingkat kerawanan banjir [8,15]. Data tutupan lahan tahun 2019 oleh BIG digunakan pada penelitian ini. Dalam data yang disediakan oleh BIG terdapat lebih dari 10 jenis tutupan lahan di Kota Singaraja. Data tutupan lahan itu kemudian di klasifikasikan ulang menjadi 5 kelas dan setiap kelas diberi indeks seperti ditunjukkan oleh Tabel 3. Daerah tambang, danau, kolong air, sungai/rawa dianggap merupakan daerah yang paling rawan terhadap banjir dengan nilai indeks 5. Sedangkan hutan primer adalah daerah yang paling aman banjir dengan nilai indeks 1.

Tabel 3. Kelas kerawanan tutupan lahan [16].

Penggunaan Lahan	Indeks Kerawanan
Tambang, Danau/ Kolong Air, Sawah, Sungai/ Rawa	5
Perumahan	4
Perkebunan / Ladang, Semak/ Belukar	3
Hutan Sekunder	2
Hutan Primer	1

2.4.4. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. AHP adalah suatu model pendukung keputusan yang menguraikan masalah multi-faktor atau multi-kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki, yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Saaty mendefinisikan hierarki sebagai representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi-level di mana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub-kriteria, dan seterusnya. Konsep dasar dari AHP adalah penggunaan *matrix pairwise comparison* (matriks perbandingan berpasangan) untuk menghasilkan nilai bobot relatif antar kriteria maupun alternatif. Suatu kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya dalam hal seberapa penting terhadap pencapaian tujuan di atasnya [17]. Peralatan utama AHP adalah sebuah hierarki fungsional dengan *input* utamanya persepsi manusia. Keberadaan hierarki memungkinkan dipecahnya masalah kompleks atau tidak terstruktur dalam sub masalah, lalu menyusunnya menjadi suatu bentuk hierarki.

Pada penelitian ini metode AHP dipilih karena memiliki beberapa keunggulan yaitu:

- Struktur yang berhierarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai pada sub-kriteria yang paling dalam.
- Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi berbagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.
- Memperhitungkan daya tahan *output* analisis sensitivitas pengambilan keputusan

Analisa AHP dengan metode Pairwise Comparison ditujukan untuk menentukan tingkat kepentingan (skala prioritas) dari parameter curah hujan, kelerengan dan penggunaan lahan yang dipakai sebagai parameter pada analisa daerah rawan banjir ini. Kriteria yang digunakan atas tiga parameter direpresentasikan dengan responden ahli dalam penentuan bobot,

dengan perbandingan 3 parameter tersebut. Nilai skala perbandingan berpasangan dari masing-masing parameter mengikuti acuan yang ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Tabel skala perbandingan berpasangan [17].

Nilai	Definisi	Keterangan
1	Sama Penting	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama.
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya.
5	Lebih Penting	Satu elemen sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan elemen pasangannya.
7	Sangat Penting	Satu elemen terbukti sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan elemen pasangannya.
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen terbukti mutlak lebih disukai dibandingkan dengan pasangannya, pada keyakinan tertinggi.
2,4,6,8	Nilai Tengah	Diberikan bila terdapat keraguan penilaian di antara dua tingkat kepentingan yang berdekatan.

Nilai perbandingan pembobotan antar kriteria yang diperoleh dari tiap koresponden ahli dianalisis melalui 3 tahapan, yaitu:

- Menyusun perbandingan antara kriteria.
- Menyusun perbandingan per jumlah kriteria dengan cara perbandingan per kriteria dengan total nilai kriteria.
- Menentukan prioritas relatif dengan menentukan rata-rata nilai prioritas.

Tiap penilaian responden diberlakukan uji konsistensi, melalui penentuan rasio konsistensi dengan membandingkan indeks konsistensi dengan nilai *random* konsistensi [18].

2.4.5. Perhitungan indeks kerawanan banjir. Perhitungan indeks kerawanan banjir dilakukan untuk menentukan nilai kerawanan dan risiko daerah kota Singaraja dan sekitarnya terhadap bencana banjir. Penentuan tingkat kerawanan dilakukan dengan membagi sama banyak nilai-nilai kerawanan dengan jumlah interval kelas, daerah yang sangat rawan terhadap banjir akan mempunyai total nilai yang tinggi, dan sebaliknya daerah yang tidak rawan terhadap banjir akan mempunyai total nilai yang rendah. Nilai kerawanan banjir ditentukan dari total penjumlahan skors seluruh parameter yang dipakai dalam analisis (yang berpengaruh terhadap banjir). Nilai kerawanan didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K = \sum(W_i \times X_i)$$

Dimana:

K = Nilai Kerawanan

Wi= Bobot untuk parameter ke-i

Xi = Skor kelas pada parameter ke-i

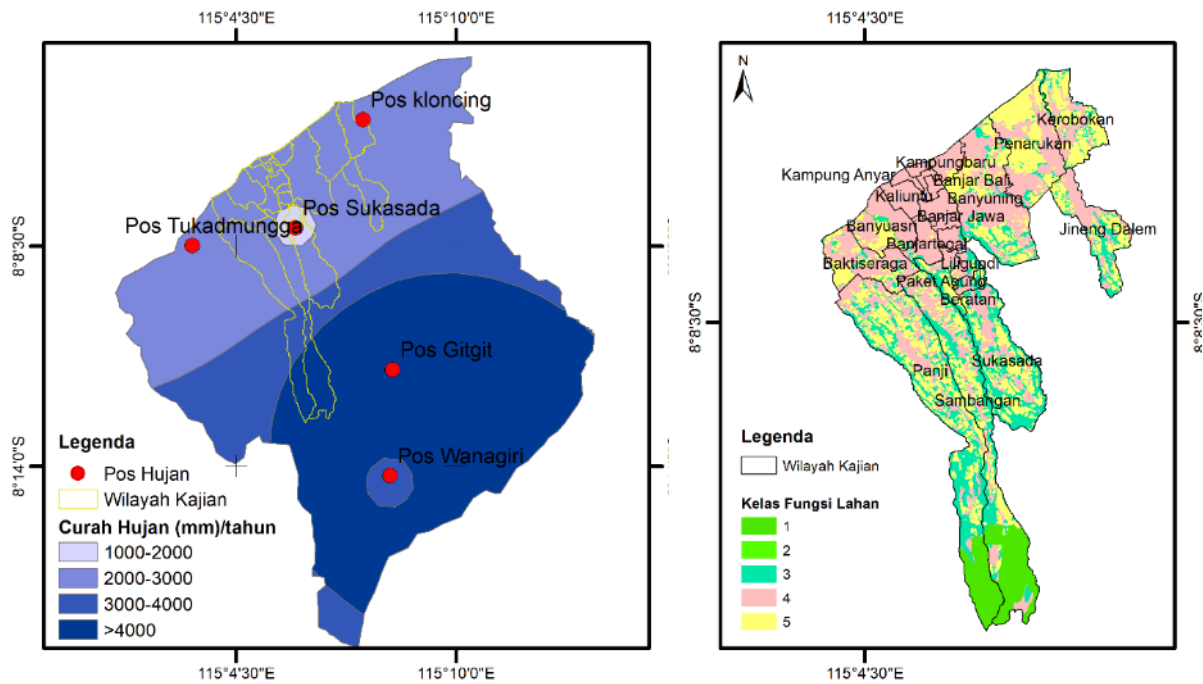
3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Hasil analisis data curah hujan, keterangan dan tutupan lahan

Data curah hujan yang digunakan bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Klimatologi Bali yang diambil dari semua stasiun pos hujan di wilayah delineasi dan daerah pendukung. Terdapat 5 stasiun pos hujan di wilayah ini yaitu: Pos Git-Git, Wanagiri dan Sukasada (Wilayah Kecamatan Sukasada), Pos Tukadmungga (Wilayah Kecamatan Buleleng), Pos Kloncig (Wilayah Kecamatan Sawan). Rata-rata curah hujan selama 5 tahun kemudian di hitung dan di interpolasi dengan metode IDW. Tabel 5 memperlihatkan data curah hujan dari tahun 2018-2022 dari semua stasiun yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 5. Data curah hujan dari 5 pos stasiun pengamatan hujan oleh BMKG.

Stasiun	2018	2019	2020	2021	2022	Rata-rata
Pos Gitgit	2532	2317.5	3084	6168	3886.5	3597.6
Pos Wanagiri	2901.6	2965.4	2844.6	3449.4	3941.1	3220.42
Tukadmungga	1306.5	1183	1586.5	1986.9	2167.7	1646.12
Pos Sukasada	1127	1350	1420.6	1755.4	1923	1515.2
Pos kloncig	779	814.5	774.5	1519	2009.4	1179.28

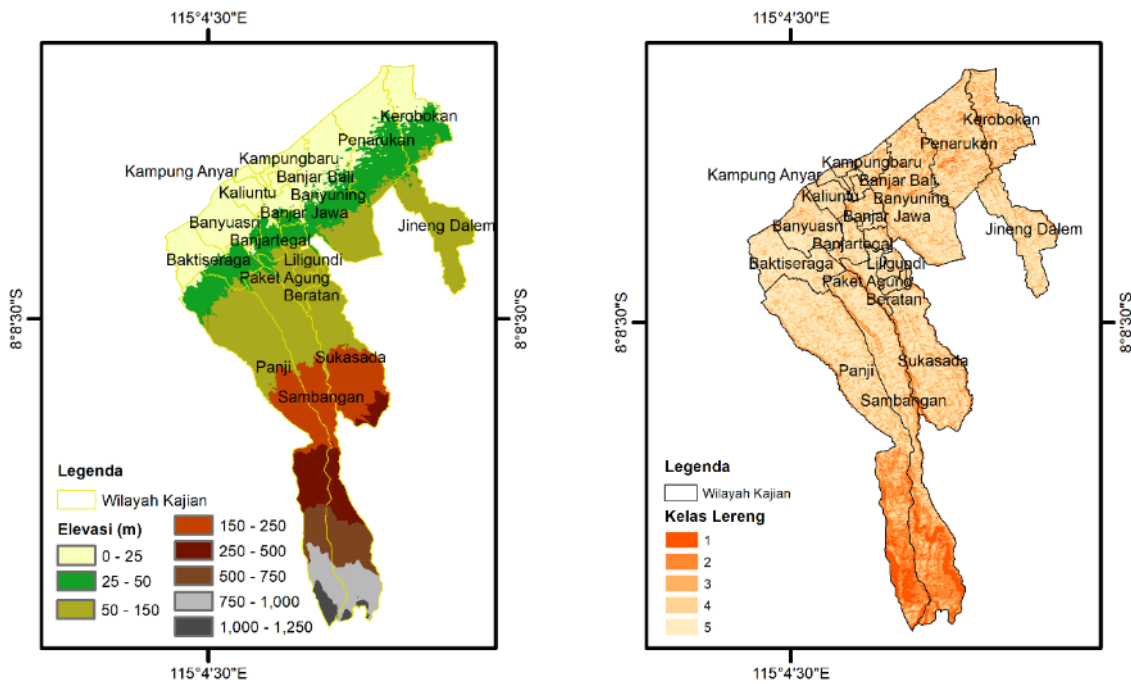


Gambar 3a. (Kiri) Sebaran intensitas rata-rata curah hujan hasil interpolasi IDW dengan data dari 5 stasiun hujan. **Gambar 3b.** (Kanan) Peta kelas tutupan lahan pada daerah kajian.

Hasil interpolasi dengan IDW memperoleh rata-rata curah hujan minimum 1179 mm dan maksimum pada 3597 mm per tahun. Data interpolasi kemudian dibagi menjadi 5 kelas dan diberi bobot seperti pada Tabel 1. Diperoleh 3 kelas intensitas curah hujan pada daerah kajian seperti ditunjukkan oleh Gambar 3a. Wilayah kajian didominasi oleh curah hujan sedang dengan intensitas 2000-3000 mm/tahun. Sedangkan pada daerah dataran tinggi curah hujan cenderung lebih tinggi di antara 3000-4000 mm/tahun. Curah hujan yang tinggi pada daerah hulu menyebabkan umumnya terjadi banjir bandang hal ini juga terjadi di Kota Singaraja [19].

Selain curah hujan, alih fungsi lahan juga berperan penting dalam peningkatan risiko terjadinya banjir seiring dengan berkurangnya daerah resapan. Gambar 3b. memperlihatkan tutupan lahan pada daerah kajian yang diolah dari data BIG tahun 2019. Dalam data tersebut terdapat lebih dari 10 jenis tutupan lahan yang ada pada daerah kajian yang kemudian di klasifikasi ulang dan diberi indeks kerawanan menurut kriteria pada Tabel 3

Berdasarkan elevasinya daerah kajian didominasi oleh dataran rendah di bagian utara dan meninggi di bagian selatan. Daerah dataran rendah cenderung sempit dengan geometri memanjang seperti ditunjukkan oleh Gambar 4a. Kelerengan memiliki faktor yang penting terhadap kerawanan banjir di suatu wilayah [20]. Dari data elevasi kemudian dihitung kelerengannya dan diklasifikasi tingkat kerawanan banjirnya menurut Tabel 2. Hasil klasifikasi lereng ini ditunjukkan pada Gambar 4b.



Gambar 4a. (Kiri) Elevasi pada daerah kajian dibuat berdasarkan data DEMNas oleh BIG.
Gambar 4b. (Kanan) Peta kelereng pada daerah kajian yang sudah diklasifikasi menurut kriteria pada Tabel 2.

3.2. Hasil analisis kerawanan banjir

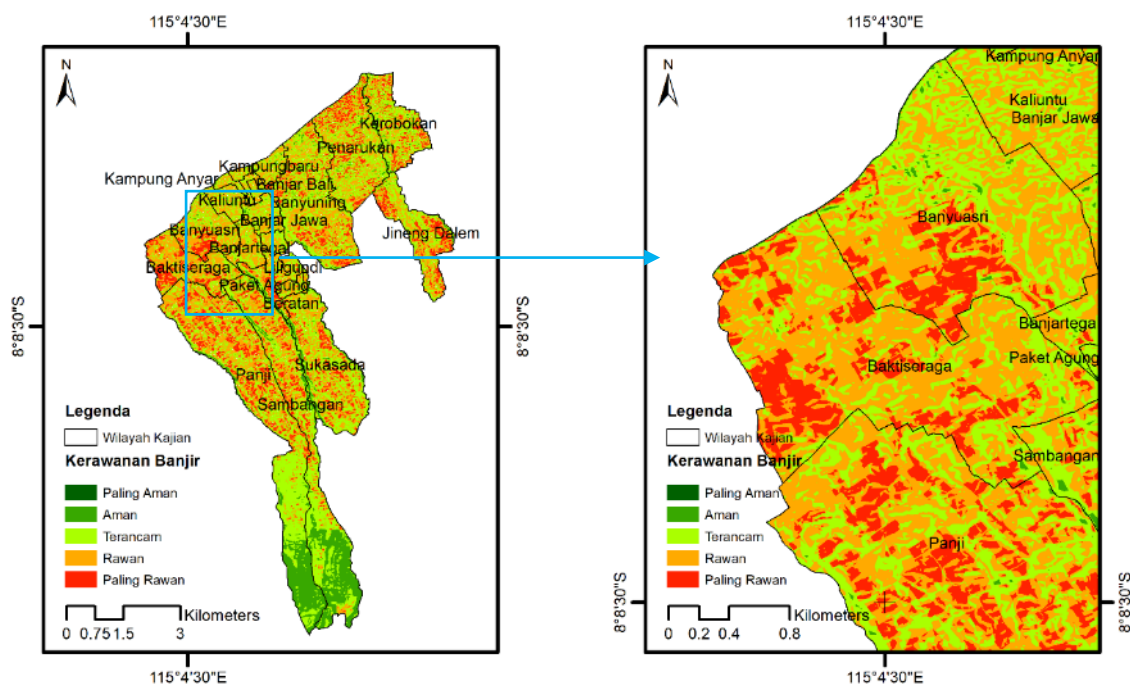
Dalam menentukan bobot masing-masing kriteria (curah hujan, kelereng, dan fungsi lahan) digunakan metode AHP dengan pendapat 5 orang ahli dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dan Dinas PUPR Kabupaten Buleleng. Bobot atau nilai yang didapat dari perhitungan Pairwise Comparison oleh 5 responden ahli ditampilkan pada Tabel 6. Setiap pendapat ahli kemudian dirata-ratakan untuk masing-masing kriteria. Hasil AHP menunjukkan faktor kelereng menjadi faktor yang menentukan kerawanan banjir pada daerah kajian dengan bobot 0,4928. Faktor dari curah hujan dan penggunaan lahan memiliki bobot yang hampir sama yaitu masing-masing 0,2713 dan 0,2358. Sehingga berdasarkan pembobotan Pairwise Comparison maka peta rawan banjir dirumukan sebagai berikut, di mana Z adalah indeks kerawanan.

$$Z = (0,2713 \times \text{Curah Hujan}) + (0,4928 \times \text{Kelereng}) + (0,2358 \times \text{Penggunaan Lahan})$$

Tabel 6. Relative priority vector untuk semua kriteria penentu kerawanan banjir pada daerah kajian.

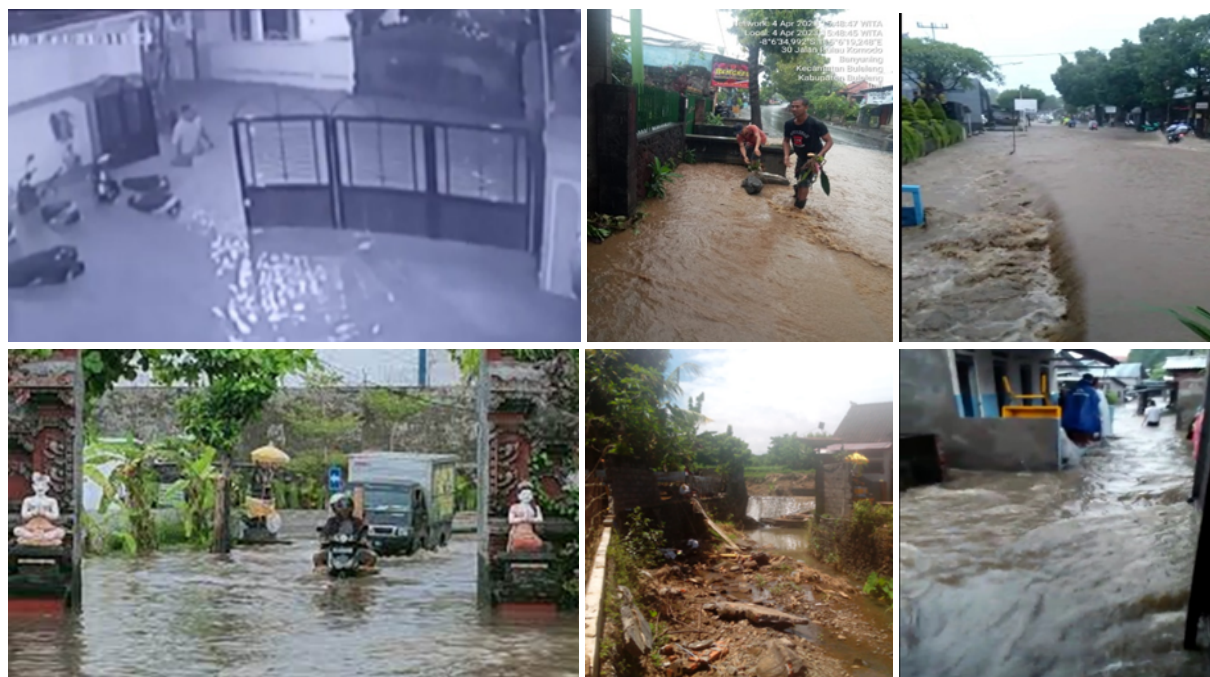
Parameter	<i>Relative priority vector</i>					Rata-Rata
	Responden 1	Responden 2	Responden 3	Responden 4	Responden 5	
Curah Hujan	0,0637	0,0738	0,7235	0,1932	0,2025	0,2713
Kelerengan	0,2674	0,6433	0,1932	0,7235	0,6366	0,4928
Penggunaan Lahan	0,6688	0,2828	0,0833	0,0833	0,0609	0,2358

Peta kerawanan banjir kemudian dibangun dari ketiga parameter dan persamaan di atas dengan menggunakan bantuan aplikasi GIS. Hasil pemetaan kerawanan banjir ditunjukkan pada Gambar 5a dan 5b. Warna oranye pada peta merupakan daerah rawan banjir dan warna merah menunjukkan daerah yang paling rawan. Seluas 5,3 km² merupakan daerah yang paling rawan banjir atau sekitar 11,9% dari luas total wilayah kajian. Sedangkan untuk wilayah yang rawan banjir seluas 15,71 km² atau 35,6%. Untuk daerah terancam banjir ditunjukkan dengan warna hijau muda dengan luas total 19,11 km². Daerah dengan kategori aman dan paling aman seluas masing-masing 19,11 km² dan 4,06 km².



Gambar 5a. (kiri) Peta kerawanan banjir untuk Kota Singaraja dan sekitarnya. **Gambar 5b.** (kanan) Daerah yang paling dominan termasuk kategori rawan dan paling rawan banjir.

3.2.1. Pembahasan. Hasil penelitian ini menunjukkan 47,5% Kota Singaraja merupakan daerah rawan banjir. Wilayah rawan banjir tersebar di berbagai titik dan yang terluas ditemukan di Desa Baktiseraga, Desa Panji, dan Banyuasri. Validasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara kondisi daerah sebenarnya dengan hasil peta kerawanan banjir. Lokasi titik sampel yang diambil itu menyebar ke seluruh wilayah cakupan. Validasi dilakukan dengan survei dan wawancara kepada dinas yang menangani drainase dan kebencanaan yaitu Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Buleleng dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Buleleng, serta dengan warga masyarakat yang pernah terdampak banjir, dokumentasi yang dipakai adalah dokumentasi banjir milik dinas dan warga. Gambar 6a-f memperlihatkan beberapa kejadian banjir yang terdokumentasikan. Pada daerah-daerah tersebut merupakan daerah langganan banjir tiap tahun. Hasil pemetaan kerawanan banjir memiliki kesesuaian dengan kejadian banjir.



Gambar 6a. (kiri atas) Banjir di Jalan Jalak Putih, Kelurahan Banyuasri pada tahun 2021. **Gambar 6b.** (tengah atas) Banjir di Jalan Komodo, Kelurahan Banyuning. **Gambar 6c.** (kanan atas) Banjir di Jalan Laksemana, Banjar Seraya, Desa Baktiseraga. **Gambar 6d.** (kiri bawah) Banjir ekstrem di Desa Panji pada tahun 2018. **Gambar 6e.** (tengah bawah) Banjir di Desa Sambangan bagian bawah. **Gambar 6f.** (kanan bawah) Banjir di Kelurahan Kampung Anyar.

Berkurangnya daerah resapan dihilu akibat pembangunan ditengarai menjadi penyebab meningkatnya kejadian banjir di Kota Singaraja. Selain itu alih fungsi lahan yang makin masif dan pelanggaran tata ruang utamanya pembangunan pada sempadan sungai dan pantai ikut turut andil dalam memperparah risiko banjir [15]. Gambar 7 memperlihatkan salah satu alih fungsi lahan pertanian menjadi pemukiman. Alih fungsi lahan merupakan hal yang tidak terhindarkan terlebih dengan meningkatnya jumlah penduduk [21]. Perkembangan

permukiman pada daerah pertanian, sering kali menyebabkan kesulitan tersendiri dalam penanganan banjir dan genangan air. Saluran drainase yang ada saat ini berasal dan masih berfungsi sebagai saluran irigasi ataupun saluran pembuang irigasi. Pada prinsipnya drainase dirancang untuk menurunkan muka air agar tidak meluap ke permukiman, akan tetapi saluran irigasi dirancang untuk menaikkan muka air agar dapat mengairi lahan. Hal ini menjadi kontradiktif karena saluran drainase bertujuan untuk mengeringkan sedangkan irigasi bertujuan membasahi (menggenangi sawah), dari segi dimensi saluran drainase dari hulu ke hilir semakin besar sedangkan saluran irigasi semakin ke hilir akan semakin mengecil. Di samping dwifungsi yang kontradiktif, akibat kepadatan penduduk saluran drainase sering juga difungsikan tempat pembuangan limbah rumah tangga dan tempat pembuangan sampah. Dengan terbatasnya lahan maka pembuangan sampah akan menemui hambatan sehingga tidak jarang saluran drainase dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan sampah. Ditambah lagi kesadaran dan kebiasaan masyarakat terutama yang tinggal di bantaran sungai sering menjadikan sungai sebagai tempat pembuangan sampah dan limbah rumah tangga. Dampak dari “mal fungsi” drainase adalah suatu daerah atau kawasan menjadi daerah rawan genangan dan banjir.



Gambar 7. Alih fungsi lahan menjadi permukiman yang makin masif di Kota Singaraja.

Beberapa hal dapat dilakukan untuk mengatasi banjir di antaranya peningkatan kapasitas drainase. Pemerintah perlu meningkatkan kapasitas drainase di Kota Singaraja, baik dari segi lebar, kedalaman, maupun kemiringan. Hal ini dapat dilakukan dengan membangun sodetan, memperlebar saluran drainase, dan menguras sedimentasi. Secara umum manajemen drainase di Kota Singaraja sudah cukup baik [22]. Di samping itu masyarakat juga harus berperan aktif dengan meningkatkan kesadaran untuk menjaga lingkungan, terutama dalam hal membuang sampah. Sampah yang dibuang sembarangan dapat menyumbat saluran drainase dan memperlambat aliran air. Selain itu pemerintah dan masyarakat perlu memanfaatkan lahan resapan, seperti taman, kebun, dan lahan kosong.

Manajemen berbasis risiko juga harus segera diterapkan untuk mengurangi dampak buruk terhadap banjir perkotaan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mendorong pengelola keadaan darurat dan otoritas perencanaan daerah untuk mempertimbangkan solusi berbasis alam dalam pendekatan perencanaan kota terpadu untuk meningkatkan ketahanan perkotaan terhadap banjir [23].

4. Kesimpulan

Sebagai Ibu Kota Kabupaten Buleleng, Bali., selain sebagai pusat pemerintahan daerah Kota Singaraja juga merupakan pusat pendidikan dan perekonomian di Kabupaten Buleleng. Secara geografis wilayah Kota Singaraja berada di dataran rendah dekat laut, namun sebelah selatan langsung terdapat daerah perbukitan. Kondisi ini berpotensi mengakibatkan bencana seperti banjir/banjir bandang dan tanah longsor. Potensi bencana ini menjadi momok dan faktor yang harus diperhitungkan dalam perencanaan pengembangan kota. Sebagai upaya pengendalian banjir diperlukan peta potensi rawan bencana sebagai bagian dari pencegahan dan penentuan arah kebijakan dalam pembangunan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis daerah rawan banjir berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan tiga parameter pembeda yaitu (1) Curah Hujan, (2) Kelerengan dan (3) Penggunaan Lahan. Data curah hujan dari periode 2018-2022 dikumpulkan dari 5 stasiun/pos pantau milik BMKG yang tersebar di Kota Singaraja dan daerah penyangganya. Data curah hujan kemudian di interpolasi dengan metode Inverse Distance Weighting (IDW) untuk mendapat sebaran curah hujan maksimum. Hasil analisis memperoleh daerah Singaraja dan sekitarnya memiliki curah hujan sedang sampai tinggi atau sekitar 2000-4000 mm/tahun. Analisis kelerengan menggunakan data DEMnas dan diperoleh bahwa kemiringan Kota Singaraja adalah dominan datar dengan kemiringan 0-8% dan agak miring 8% - 15%. Penggunaan lahan di Singaraja dan sekitarnya digolongkan dalam 10 tutupan lahan, tetapi dalam penelitian ini diklasifikasi menjadi 5 kelas untuk selanjutnya diberi bobot pada masing-masing kelas. Pembobotan parameter selanjutnya menggunakan metode Analytic Hierarchy Process (AHP), dengan menggunakan pendapat 5 koresponden ahli. Dari AHP diperoleh persamaan perbandingan bobot untuk penggunaan lahan adalah 0,2358, bobot kelerengan sebesar 0,4928, dan bobot pada curah hujan 0,2713. Analisis kemudian dilanjutkan dengan menggunakan metode *overlay intersection* pada ArcGIS 10.8 untuk membuat peta daerah rawan banjir. Hasil penelitian mendapatkan seluas 5,3 km² merupakan daerah yang paling rawan banjir atau sekitar 11,9% dari luas total wilayah kajian. Sedangkan untuk wilayah yang rawan banjir seluas 15,71 km² atau 35,6 %. Daerah dengan kategori aman dan paling aman seluas masing-masing 19,11 km² dan 4,06 km². Hasil analisis mendapatkan bahwa wilayah yang terletak pada daerah potensi banjir tertinggi adalah pada Kelurahan Banyuasri, Kelurahan Kaliuntu, Kelurahan Kampung Anyar, Kelurahan Kampung Bugis, Kelurahan Kampung Kajanan, Desa Baktiseraga dan Desa Pamaron. Hasil pemetaan ini sesuai dengan laporan kejadian banjir ekstrem yang pernah terjadi pada tahun 2018 dan 2021 di daerah-daerah tersebut. Diharapkan hasil penelitian ini dijadikan dasar dalam upaya mitigasi dan merumuskan upaya-upaya pengendalian banjir, baik dengan intervensi secara teknis maupun kebijakan.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih ke beberapa pihak atas terpublikasinya hasil penelitian ini yaitu Program Pascasarjana Universitas Mahasaraswati Denpasar yang merupakan tempat institusi penulis bernaung, kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) karena sudah menyediakan RBI dan DEMNas, kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atas data curah hujan pada daerah kajian. Penelitian ini merupakan bagian dari hibah internal LPPM Unmas Denpasar.

Referensi

- [1] Pemerintah Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana 2007.
- [2] Murray V, Ebi KL. IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). *J Epidemiol Community Health* (1978) 2012;66:759–60. <https://doi.org/10.1136/jech-2012-201045>.
- [3] Holmes RR, Dinicola K. 100-Year Flood—It’s All About Chance Haven’t We Already Had One This Century? . *US Geological Survey* 2010:1–3.
- [4] UN Environment. *Frontiers 2016: Emerging Issues of Environmental Concern*. 2016.
- [5] Douinot A, Roux H, Garambois P-A, Larnier K, Labat D, Dartus D. Accounting for Rainfall Systematic Spatial Variability in Flash Flood Forecasting. *J Hydrol (Amst)* 2016;541:359–70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.024>.
- [6] Fahyudi DI, Christiawan PI, Sarmita IM. Perkembangan Luas Permukiman dan Penggunaan Lahan pada Daerah Peri-Urban Kota Singaraja Tahun 2010, 2015 dan 2020. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha* 2020;8:140–7.
- [7] Lokantara IGW, Amo FM. Analisis Transformasi Spasial Akibat Urban Sprawl di Pinggiran Kota Singaraja, Kabupaten Buleleng. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan* 2021;9:213–25. <https://doi.org/10.14710/jwl.9.3.213-225>.
- [8] Luh Putu Widiasih, I Gst Ngr Yoga Jayantara, I Gede Yudi Wisnawa. Pemetaan Tingkat Kerawanan Banjir di Kecamatan Sukasada Kabupaten Buleleng Provinsi Bali. *Jurnal ENMAP* 2022;3:45–55. <https://doi.org/10.23887/em.v3i1.51831>.
- [9] Ayenew WA, Kebede HA. GIS And Remote Sensing Based Flood Risk Assessment and Mapping: The Case of Dikala Watershed in Kobo Woreda Amhara Region, Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators* 2023;18:100243. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100243>.
- [10] Nahin KTK, Islam SB, Mahmud S, Hossain I. Flood Vulnerability Assessment in The Jamuna River Floodplain Using Multi-Criteria Decision Analysis: A Case Study in Jamalpur District, Bangladesh. *Heliyon* 2023;9:e14520. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14520>.
- [11] Chaulagain D, Ram Rimal P, Ngando SN, Nsafon BEK, Suh D, Huh J-S. Flood Susceptibility Mapping of Kathmandu Metropolitan City Using GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis. *Ecol Indic* 2023;154:110653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110653>.
- [12] Ogato GS, Bantider A, Abebe K, Geneletti D. Geographic Information System (GIS)-Based Multicriteria Analysis of Flooding Hazard and Risk in Ambo Town and Its Watershed,

- West Shoa Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *J Hydrol Reg Stud* 2020;27:100659. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>.
- [13] Setiawan H, Wibowo A, Supriatna S. Pembuatan Peta Curah Hujan untuk Evaluasi Kesesuaian Rencana Tata Ruang Kawasan Hutan Kabupaten Bogor. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian* 2021;19:113–21.
- [14] Matondang JP, Kahar S, Sasmito B. Analisis Zonasi Daerah Rentan Banjir dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kota Kendal dan Sekitarnya). *Jurnal Geodesi Undip* 2013;2.
- [15] Farid M, Pratama MI, Kuntoro AA, Adityawan MB, Rohmat FIW, Moe IR. Flood Prediction due to Land Cover Change in the Ciliwung River Basin. *International Journal of Technology* 2022;13:356–66. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i2.4662>.
- [16] Hamdani H, Permana S, Susetyaningsih A. Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Bangka). *Jurnal Konstruksi* 2016;12:1–13. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.12-1.283>.
- [17] Saaty RW. The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used. *Mathematical Modelling* 1987;9:161–76. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).
- [18] Ivanco M, Hou G, Michaeli J. Sensitivity Analysis Method to Address User Disparities in The Analytic Hierarchy Process. *Expert Syst Appl* 2017;90:111–26. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.003>.
- [19] Hidayah E, Widiarti WY, Ammarulsyah AR. Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir Bandang dengan Sistem Informasi Geografis di Sub-DAS Kaliputih Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik Pengairan* 2022;13:273–82. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.12>.
- [20] Osei BK, Ahenkorah I, Ewusi A, Fiadonu EB. Assessment of Flood Prone Zones in The Tarkwa Mining Area of Ghana Using A GIS-Based Approach. *Environmental Challenges* 2021;3:100028. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100028>.
- [21] Putri NNS, Wibawa IKA. Kajian Daya Dukung Permukiman Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif* 2023;18:396–412. <https://doi.org/10.20961/region.v18i2.60552>.
- [22] Utama IGDS, Agustana P. Manajemen Drainase Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang (PUTR) Kabupaten Buleleng dalam Mengatasi Banjir di Kota Singaraja. *Locus* 2021;13:18–31.
- [23] Manandhar B, Cui S, Wang L, Shrestha S. Urban Flood Hazard Assessment and Management Practices in South Asia: A Review. *Land (Basel)* 2023;12:627. <https://doi.org/10.3390/land12030627>.