

Pemetaan Daerah Rawan Banjir dan Longsor di Kabupaten Buleleng Berbasis SIG dengan Metode MCDA

Ketut Adi Mardana¹, Gde Sastrawangsa², I Made Agus Wirahadi Putra³

^{1,2}Sistem Informasi, ³Bisnis Digital
Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali
Denpasar, Indonesia

E-mail: mardanaadi7@gmail.com, sastrawangsa@stikom-bali.ac.id, aguswirahadi@outlook.com

Abstrak

Bencana alam seperti banjir dan longsor adalah persoalan yang masih kerap terjadi saat ini, khususnya di daerah Kabupaten Buleleng. Kabupaten Buleleng merupakan kabupaten terbesar di Provinsi Bali dengan luas 24,25 % dari Pulau Bali. Kedua bencana tersebut dapat diakibatkan karena aktivitas geologi (alami) dan manusia. Terjadinya bencana tersebut di Kabupaten Buleleng menyebabkan kerugian dari segi materi, segi lingkungan secara fisik dan terancamnya keselamatan penduduk setempat. Penelitian ini dibuat untuk mengetahui tingkat kerawanan bencana banjir dan longsor yang ada di Kabupaten Buleleng dengan harapan pemerintah atau tokoh masyarakat dapat mengambil suatu langkah dan keputusan dalam melakukan penanganan dan pencegahan terjadinya dampak dari akibat bencana banjir dan longsor. Penelitian ini menggunakan metode MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) yaitu suatu metode dengan menggabungkan beberapa layer sebagai kriteria atau parameter dalam menentukan daerah kerawanan, dan pembobotan pada kriteria menggunakan metode AHP (Analytic Hierarchy Process). Hasil pembobotan dari perhitungan AHP pada kriteria banjir yaitu Curah Hujan = 0.097, Penggunaan Lahan = 0.227, Elevasi = 0.442, Kemiringan Lereng = 0.172, dan Jenis Tanah = 0.062. Lalu untuk kriteria longsor yaitu Curah Hujan = 0.155, Penggunaan Lahan = 0.358, Jenis Tanah = 0.065, Kemiringan Lereng = 0.358, dan Geologi = 0.065. Luas daerah dengan kerawanan banjir sangat tinggi sekitar 368166730,7 ha dan untuk daerah rawan longsor sekitar 66146225,11 ha.

Kata kunci: Pemetaan Rawan Banjir, Pemetaan Rawan Longsor, SIG, MCDA, AHP.

Abstract

Natural disasters such as floods and landslides are problems that still often occur today, especially in the Buleleng Regency area. Buleleng Regency is the largest regency in Bali Province with an area of 24.25% of the Bali Island. Both disasters can be caused due to geological (natural) and human activities. The occurrence of this disaster in Buleleng Regency caused losses in terms of material, physical environmental aspects and threatened the safety of the local population. This study was made to determine the level of vulnerability to floods and landslides in Buleleng Regency in hope that the government or community leaders can take steps and decisions in handling and preventing the impact of floods and landslides. This study uses the MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) method, which is a method by combining several layers as criteria or parameters in determining the area of vulnerability, and weighting the criteria using the AHP method. The weighting results of the AHP (Analytic Hierarchy Process) calculation on the flood criteria are Rainfall = 0.097, Land Use = 0.227, Elevation = 0.442, Slope = 0.172, and Soil Type = 0.062. Then the criteria for landslides are Rainfall = 0.155, Land Use = 0.358, Soil Type = 0.065, Slope = 0.358, and Geology = 0.065. The area with very high flood prone area is around 368166730,7 ha and for landslide prone areas around 66146225,11 ha.

Keywords: Flood Prone Mapping, Landslide Prone Mapping, GIS, MCDA, AHP.

1. Pendahuluan

Bencana alam tanah longsor dan banjir adalah proses geologis alam paling berbahaya yang menyebabkan berbagai jenis kerusakan dan juga mempengaruhi manusia, industri, dan lingkungan, terutama pada saat efek perubahan iklim yang dramatis di satu sisi, dan perluasan kota dan konsumsi lahan di sisi lain. Karena itu, pemetaan kerawanan longsor memberi kita salah satu informasi penting dalam perencanaan tata ruang untuk wilayah rawan longsor dan sangat penting bagi keberlanjutan ekonomi, budaya, lingkungan, dan sosial manusia [2]. Banjir dapat disebabkan oleh beberapa hal yang diantaranya adalah pendangkalan sungai, fluktuasi debit tanah air antar musim penghujan dengan musim kering semakin tinggi, terjadinya konversi lahan pertanian daerah *buffer* alami ke lahan non pertanian dengan mengabaikan

konsevasi sehingga menyebabkan rusaknya daerah tangkapan air, eksploitasi air tanah yang berlebihan dan menyebabkan lapisan *aquifer* makin dalam, sehingga penetrasi air laut lebih jauh ke darat dan mengganggu keseimbangan hidrologi. Sedangkan penyebab terjadinya tanah longsor kurang lebih hampir serupa dengan penyebab terjadinya banjir seperti erosi tanah, curah hujan yang tinggi, getaran/gempa, hutan gundul, kemiringan lereng/tebing, kepadatan/kelembaban tanah, penggunaan lahan.

Buleleng adalah kabupaten terluas di Bali yang memiliki luas 1.365,88 KM² atau 24,25% dari luas Provinsi Bali (BPS Kabupaten Buleleng 2012). Kabupaten Buleleng memiliki model wilayah dataran rendah atau pesisir, kepadatan penduduk di perkotaan dan dataran tinggi atau pegunungan, sehingga wilayah Buleleng memiliki resiko yang cukup tinggi terjadinya bencana banjir dan longsor [1]. Berdasarkan dari beberapa penelitian terdahulu dan data dari Pemerintah Kabupaten Buleleng, lokasi rawan terjadinya banjir berada di daerah sekitaran perkotaan di Singaraja, di Gerokgak, lalu lokasi rawan terjadinya longsor berada di daerah sekitaran Desa Tajun, Sukasada, Gitgit, Bebetin dan lainnya. Melihat permasalahan seperti yang diuraikan diatas, maka dibuatkan suatu kajian mengenai penyebaran/luasan daerah yang memiliki rawan bencana banjir dan longsor yang ada di Kabupaten Buleleng. Penyebaran/luasan tersebut akan divisualisasikan berupa Peta Kerawanan Banjir dan Longsor di Kabupaten Buleleng, dengan menggunakan teknologi SIG (Sistem Informasi Geografis).

Persebaran daerah rawan banjir dan longsor akan mudah diinformasikan melalui gambar dalam bentuk peta. Tersedianya informasi mengenai sebaran daerah rawan banjir dan longsor di Kabupaten Buleleng akan membantu para *stakeholder* atau para pengambil keputusan untuk menangani atau menanggulangi mitigasi bencana banjir dan longsor. Hal ini juga diharapkan untuk mengurangi angka terjadinya bencana banjir dan longsor serta angka korban bencana. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan suatu kebijakan adalah Metode MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*). MCDA merupakan teknik pengambilan keputusan multi-variabel. Tahap pertama MCDA adalah menentukan alternatif-alternatif yang dipilih, yang merupakan skenario-skenario dalam penelitian. Selain itu, setiap alternatif tersebut dapat terdiri atas beberapa kriteria, sehingga MCDA juga melibatkan multi-kriteria [9]. Karena melibatkan multi kriteria, maka tahap selanjutnya yaitu melakukan pembobotan pada setiap kriteria dengan metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Metode ini dipilih untuk digunakan dalam pemberian bobot pada kriteria-kriteria dan menentukan kriteria utama dalam pengambilan keputusan. Metode AHP merupakan bagian dari *rank-order weighting method*. Pada akhirnya pembobotan ini tergantung pada tingkat kepentingan kriteria dan pilihan dari manajemen (*decision maker*). Keunggulan metode ini dapat memberikan alternatif terbaik dengan mempertimbangkan setiap kriteria dari alternatif tersebut, lalu dibuat matrik keputusannya.

Rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah ¹⁾ Bagaimana membuat Sistem Informasi Geografis menggunakan metode MCDA, ²⁾ Bagaimana melakukan pemetaan daerah rawan bencana banjir dan longsor di Kabupaten Buleleng. Metode MCDA masih relevan untuk digunakan saat ini dan banyak peneliti yang menggunakan metode MCDA untuk menentukan keputusan dengan metode multi-kriteria. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah ¹⁾ Untuk mengetahui klasifikasi tingkat kerentanan atau kerawanan daerah bencana banjir dan longsor dan pemetaan terkait sebaran/luasan daerah rawan bencana banjir dan longsor di Kabupaten Buleleng. ²⁾ Untuk mendukung pemerintah/masyarakat/tokoh tertentu dalam mengambil suatu keputusan dalam penanganan dan pencegahan daerah rawan banjir dan longsor di Kabupaten Buleleng.

2. Metode Penelitian

Adapun beberapa tahapan dalam penelitian yang dilakukan yaitu melakukan pengumpulan data, pengolahan data, hingga hasil dari penelitian ini.

2.1 Pengumpulan Data

Metode dalam melakukan penelitian ini dimulai dari melakukan pengumpulan data. pengumpulan data yang pertama adalah menentukan kriteria yang digunakan sebagai parameter dalam menentukan kerawanan bencana, pengumpulan data ini didapatkan dari wawancara langsung kepada narasumber dari BPBD Kabupaten Buleleng, dan data juga didapatkan dari beberapa studi literatur atau penelitian-penelitian terdahulu sebagai sumber informasi. Pengumpulan data selanjutnya adalah data geografis yang berupa data spasial dan atributnya. Ini didapatkan melalui situs resmi BIG dan melakukan permohonan langsung ke Dinas PUPR Provinsi Bali.

2.2 Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam melakukan pengolahan data adalah metode MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*). MCDA merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk memecahkan masalah dan membuat keputusan. Dalam terminology pembuatan keputusan biasanya disebut sebagai *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM)[11]. Setelah menentukan kriteria dengan menggunakan metode MCDA, kemudian masing-masing kriteria akan diberi bobot atau skor menggunakan metode AHP (*Analysis Hierarchy Process*). AHP merupakan salah satu metode yang dikembangkan secara *original* oleh Prof. Thomas L. Saaty (1997)[12]. Metode ini memberikan pengukuran yang konsisten melalui *Consistencu Index* (CI) dan *Consisency Ratio* (CR) sebagai validasi. Metode ini juga menghasilkan pilihan prioritas dari kriteria-kriteria yang ada dan alternatif lokasi menggunakan *pair-wise comparison* di dalamnya, metode ini menyederhanakan peringkat preferensi dari kriteria-kriteria penentuan lokasi dan alternatif-alternatif lokasi itu sendiri. Secara singkat, ini merupakan metode untuk menghasilkan skala rasio perbandingan dari *pair-wise comparison* di dalamnya.

Tabel 8. The Fundamental Scale of Absolute Number

<i>Intensity of Importance</i>	<i>Definition</i>
1	<i>Equal Importance</i>
2	<i>Weak or Slight</i>
3	<i>Moderate Importance</i>
4	<i>Moderate Plus</i>
5	<i>Strong Importance</i>
6	<i>Strong Plus</i>
7	<i>Very Strong or Demonstrated Importance</i>
8	<i>Very, Very Strong</i>
9	<i>Extreme Importance</i>

Sumber: Thomas L. Saaty, 1980

Random Index merupakan angka yang tetap atau *exact* sesuai dengan jumlah dari kriteria yang dipakai untuk menganalisa alternatif-alternatif lokasi yang ada. Angka-angka *random index* tersebut dikatakan konsisten jika hasil dari *Consistency Ratio* (CR) ≤ (kurang atau sama dengan) 0.1.

Tabel 9. Random Index (RI)

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

Jumlah desa yang dianalisa di Kabupaten Buleleng ada sebanyak 146 Desa dalam 9 Kecamatan. Untuk menentukan tingkat klasifikasi, maka ditentukan tingkat kerawannya dalam 5 kelas. Dalam menentukan interval nilai kerawanan tersebut menggunakan persamaan interval yaitu kemungkinan nilai tertinggi yang ada (*maks*) dikurangi kemungkinan nilai terendah yang ada (*min*) dan dibagi dengan jumlah kelas yang diinginkan, pada penelitian ini menggunakan 5 kelas maka akan dibagi 5.

Tabel 10. Kelas Kerawanan

Tingkat Kerawanan	Skor	Keterangan
Sangat Rendah	1	Hijau Tua
Rendah	2	Hijau Muda
1Sedang	3	Kuning
Tinggi	4	Jingga
Sangat Tinggi	5	Merah

$$Interval = \frac{maks - min}{kelas} \quad \text{(Rumus 1. Interval Kelas Kerawanan)}$$

Kriteria penyebab rawan bencana banjir dan longsor ini didapatkan dari data BPBD Kabupaten Buleleng[13], Data Dinas PUPR Provinsi Bali, dan hasil analisa dari beberapa jurnal yang terkait.

Tabel 11. Indikator Daerah Potensi Rawan Banjir dan Longsor

No.	Kriteria	Kelas Interval Banjir	Skor	Kelas Interval Longsor	Skor
-----	----------	-----------------------	------	------------------------	------

1.	Curah Hujan	Curah Hujan > 300 mm	5	<200 mm	1
		Curah Hujan 200 mm – 300 mm	4	200 – 300 mm	2
		Curah Hujan 100 – 200 mm	3	300 – 400 mm	3
		Curah Hujan 50 – 100 mm	2	400 – 500 mm	4
		Curah Hujan < 50 mm	1	>500 mm	5
2.	Penggunaan Lahan	Permukiman/Lahan Terbuka/Sungai	5	Hutan Alam	1
		Sawah/Tambak/Mangrove	4	Perkebunan/Tegalan	2
		Ladang/Tegalan/Kebun	3	Semak/Belukar/Rumput	3
		Semak Belukar/Pasir	2	Sawah/Permukiman/Gedung	4
		Hutan	1	Sungai/Danau/Rawa/Mangrove	5
3.	Kemiringan Lereng (<i>Slope</i>)	Kemiringan 0 – 8 %	5	0 – 8 %	1
		Kemiringan 8 – 15 %	4	8 – 15 %	2
		Kemiringan 15 – 25 %	3	15 – 25 %	3
		Kemiringan 25 – 45 %	2	25 – 45 %	4
		Kemiringan > 45 %	1	>45 %	5
4.	Elevasi	0 – 50 m	5		
		50 – 100 m	4		
		100 – 150 m	3		
		150 – 200 m	2		
		> 200 m	1		
5.	Jenis Tanah	Grumusol	5	Aluvial	1
		Litosol. Mediteran	4	Latosol	2
		Laltosol	3	Mediteran	3
		Aluvial, Andosol	2	Andosol, Grumusol	4
		Regosol, Organosol	1	Regosol. Litosol	5
6	Geologi			Dataran Aluvial	1
				Perbukitan Kapur	2
				Perbukitan Batuan Sedimen	3
				Perbukitan Batuan Vulkanis	4

Sumber: BPBD Kabupaten Buleleng (2017) dengan dimodifikasi

Pembobotan dilakukan pada masing-masing kriteria dengan menggunakan matriks perbandingan antar kriteria untuk banjir dan longsor. Setelah menentukan matriks perbandingannya, selanjutnya mencari nilai *eigen* dari setiap kriteria, maka kemudian akan menghasilkan rata-rata dari setiap kriteria. Rata-rata tersebutlah merupakan bobot pada masing-masing kriteria. Untuk menguji keakuratan perhitungan yang dilakukan, maka perlu dicari nilai CI dan CR.

2.3 AHP Rawan Banjir

Tabel 12. Nilai Rata-rata AHP Banjir

Kriteria	Jumlah	Rata-rata
Curah Hujan	0.485	0.097
Penggunaan Lahan	1.133	0.227
Elevasi	2.212	0.442
<i>Slope</i>	0.860	0.172
Jenis Tanah	0.310	0.062

Hasil AHP Rawan Banjir yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa bobot tertinggi dimiliki oleh kriteria elevasi dengan bobot 0.501, lalu *diikuti* oleh penggunaan lahan, *slope*, dan curah hujan. Untuk mengetahui keakuratan dari hasil tersebut maka dilakukan tahap pengujian dengan mencari hasil dari *Consistency Ratio* (CI).

$$CI = \frac{0.169}{5} = 0.042, CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.042}{1.12} = 0.03775$$

Nilai λ maks mendapatkan hasil 5.169, lalu nilai n adalah jumlah kriteria yaitu 5 dan untuk nilai RI (*Random Index*) karena jumlah kriteria yang digunakan adalah 5 maka nilai RI adalah 1.12. Jadi hasil dari CI dan CR adalah sebagai berikut:

Berdasarkan hasil CR diatas dengan hasil 0.03775 menunjukkan bahwa hasilnya tidak melebihi atau sama dengan 1 (0.1). Artinya jika angkanya berada dibawah 0.1 maka hasil dari analisa AHP ini dapat dinyatakan konsisten.

2.4 AHP Rawan Longsor

Tabel 9. Nilai Rata-rata AHP Longsor

Kriteria	Jumlah	Rata-rata
Curah Hujan	0.774	0.155
Penggunaan Lahan	1.790	0.358
Jenis Tanah	0.323	0.065
Kemiringan Lereng (<i>Slope</i>)	1.790	0.358
Geologi	0.323	0.065

$$CI = \frac{0.056}{4} = 0.014, CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.014}{1.12} = 0.01250$$

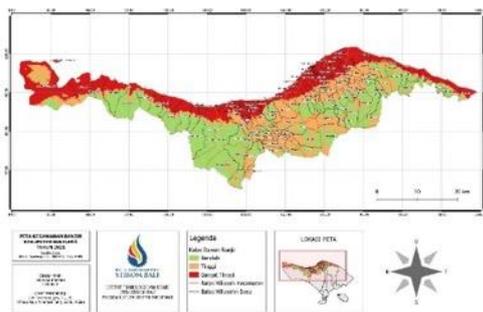
Hasil AHP Rawan Longsor yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa bobot tertinggi dimiliki oleh kriteria Penggunaan Lahan dan Kemiringan Lereng dengan bobot yang sama yaitu 0.358, lalu diikuti oleh Curah Hujan, terakhir Jenis Tanah dan Geologi. Metode yang sama seperti AHP Banjir diatas yaitu selanjutnya dilakukan pengukuran atas konsistensi AHP yang sudah dilakukan maka harus mencari nilai CI dan CR. Berdasarkan hasil CR diatas dengan hasil 0.01250 menunjukkan bahwa hasilnya tidak melebihi atau sama dengan 1 (0.1). Artinya jika angkanya berada dibawah 0.1 maka hasil dari analisa AHP ini dapat dinyatakan konsisten.

3. Hasil dan Pembahasan

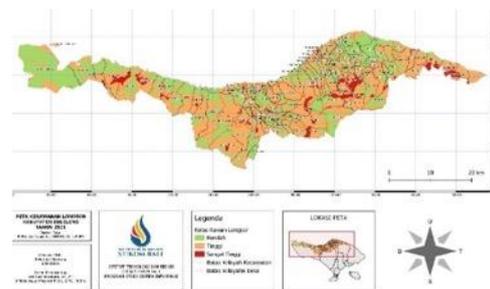
Hasil analisa kriteria yang dilakukan berdasarkan data yang sudah diproses menghasilkan beberapa layer. Layer-layer ini akan dilakukan proses *overlay*, jika pada analisa *geoprocessing* menggunakan analisa *intersect*. Hasil *overlay* tersebut menghasilkan sebuah peta kerawanan banjir dan longsor berdasarkan *scoring* pada masing-masing kriteria.

3.1 Hasil Penskoran dan Analisa Kerawanan

Pada masing-masing kriteria yang sudah diklasifikasikan pada layer diatas akan diberikan skor dan bobot sesuai dengan kriterianya masing-masing. Pada penelitian ini akan menganalisa bencana banjir dan longsor, maka pada masing-masing kriteria yang sama akan memiliki skor dan bobot yang berbeda untuk banjir dan longsor sesuai dengan perhitungan AHP yang sudah dilakukan. Sub-kriteria pada masing-masing kriteria akan diberikan skor sesuai dengan data yang dijelaskan pada tabel 4 dan tabel 5. Sub-kriteria tersebut dikalikan dengan bobot pada masing-masing kriteria dan dijumlahkan nilai keseluruhannya pada masing-masing kriteria. Untuk menentukan tingkat kerawanannya maka akan dicari nilai interval berdasarkan persamaan interval yang dijelaskan pada Rumus 1. Interval Kelas Kerawanan. Berikut ini hasil analisa Peta Kerawanan Banjir dan Longsor yang diimplementasikan pada aplikasi QGIS.



Gambar 5. Peta Kerawanan Banjir di Kabupaten Buleleng



Gambar 6. Peta Kerawanan Longsor di Kabupaten Buleleng

Hasil analisa dari peta kerawanan banjir dan longsor berdasarkan data diatas menunjukkan bahwa area yang memiliki tingkat kerawanan banjir berada daerah utara Kabupaten Buleleng atau daerah yang dekat dengan pesisir pantai. Hal ini dikarenakan daerah tersebut dipadati oleh permukiman atau bangunan dan tempat umum, dan kurangnya daerah resapan yang ada. Lalu area yang memiliki tingkat kerawanan longsor berada di daerah yang ketinggian atau di pegunungan dan memiliki kemiringan lereng yang cukup

curam seperti di Desa Bebetin, Galungan, Les, Gobleg, Wanagiri, Tajun dan sebagainya. Luasan area yang memiliki kerawanan banjir dengan kelas sangat tinggi yaitu sekitar 368166730,7 ha dan untuk kerawanan longsor yaitu sekitar 66146225,11 ha.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka berikut ini beberapa hal yang dapat ditarik kesimpulan adalah:

- i. Telah menghasilkan Peta Kerawanan Banjir dan Longsor di daerah Kabupaten Buleleng menggunakan metode MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*) sebagai metode *overlay* dan menggunakan metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) sebagai metode pembobotan kriteria.
- ii. Berhasil melakukan pengukuran atas keakuratan pada pembobotan AHP yang dilakukan, atau CR (*Consistency Ratio*) telah mendapatkan hasil yang akurat yaitu tidak lebih dari 0.1. Masing-masing hasil pembobotan dari setiap kriteria banjir yaitu Curah Hujan = 0.097, Penggunaan Lahan = 0.227, Elevasi = 0.442, Kemiringan Lereng = 0.172, dan Jenis Tanah = 0.062. Lalu untuk hasil pembobotan dari setiap kriteria longsor yaitu Curah Hujan = 0.155, Penggunaan Lahan = 0.358, Jenis Tanah = 0.065, Kemiringan Lereng = 0.358, dan Geologi = 0.065.
- iii. Pada hasil *overlay* yang telah dilakukan telah menghasilkan luasan sekitar 368166730,7 ha untuk daerah rawan banjir dengan klasifikasi kerawanan sangat tinggi, nilai ini didapatkan berdasarkan penjumlahan luas dari 92 desa yang memiliki kerawanan sangat tinggi (dapat dilihat pada tabel 4.19). Lalu, luasan untuk daerah rawan longsor dengan klasifikasi kerawanan sangat tinggi adalah 66146225,11 ha, luas ini didapatkan berdasarkan penjumlahan luas dari 23 desa yang memiliki kerawanan sangat tinggi (dapat dilihat pada tabel 4.20).

Daftar Pustaka

- [1] M. C. Ahmat Adil, S.Kom., *Sistem Informasi Geografis*. Andi, 2017.
- [2] L. Gigović, S. Drobnjak, and D. Pamučar, "The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 8, no. 2, pp. 1–29, 2019.
- [3] et all Hendriana, "Sistem Informasi Geografis Penentuan Wilayah Rawan Banjir di Kabupaten Buleleng," *J. Tek. Inform.*, vol. 2, no. No. 05, pp. 608–616, 2013.
- [4] I. W. H. I. Dinata and I. W. T. dan I. K. Suratha, "PEMETAAN DAERAH RAWAN BENCANA LONGSOR DI KECAMATAN SUKASADA, KABUPATEN BULELENG," *Jur. Pendidik. Geogr. FIS Undiksha*, pp. 1–10.
- [5] K. Multi, K. Pada, and A. Kerawanan, "longsor di berbagai tempat di Indonesia , yang mengakibatkan kerugian harta," no. May, 2020.
- [6] A. Aini, "Sistem Informasi Geografis Pengertian dan Aplikasinya," *Diakses Dari http//stmik. amikom.ac. id/[Diakses 24 Maret 2013]*, 2007.
- [7] Densham, Jankowski, Andrienko, Sugumaran, DeGroote, and Nyerges, *GIScience*. 2011.
- [8] J. Malczewski and C. Rinner, *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. New York Heidelberg Dordrecht London: Springer, 2015.
- [9] T. Belton, Valerie, Stewart, *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. 2002.
- [10] S. H. Dony Pratidana and B. S. S. I. Agus, "Analisa Lokasi PT. Kadujaya Perkasan Dengan Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) Dan Weighted Sum Method (WSM) Yang Berbasis Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)," *J. Exp. Psychol. Gen.*, vol. 136, no. 1, pp. 23–42, 2017, [Online]. Available: <http://kc.umn.ac.id/5548/1/BAB II.pdf>
- [11] Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley, New York, 1999.
- [12] P. T. L. Saaty, *No Title*. 1997.
- [13] Haryani, *Pendataan Daerah Potensi Rawan Bencana Kabupaten Buleleng*, 2012th ed. Kabupaten Buleleng.
- [14] N. A. Saputra, A. P. M. Tarigan, and A. B. Nusa, "Penggunaan Metode AHP dan GIS Untuk Zonasi Daerah Rawan Banjir Rob di Wilayah Medan Utara," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 26, no. 1, pp. 73–82, 2020.