

Analisis Bahaya Banjir Sungai Bone-Bone dengan Metode *Geographical Information Sistem (GIS)* Pada Daerah Bantimurung Kecamatan Bone-Bone Kabupaten Luwu Utara Provinsi Sulawesi Selatan

Flood Hazards Analysis of the Bone-Bone River with Geographical Information System Method (GIS) in Bantimurung Area, Bone-Bone District, North Luwu Regency South Sulawesi Province

Rohaya Langkoke*, Andi Zarkia Nur
Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
*Corresponding email: rlangkoke@gmail.com

ABSTRACT

The research area is included in the Malili Sheet, located in the Bone-Bone River Sub-watershed, Bantimurung District, Bone–Bone District, Luwu Regency, South Sulawesi Province with coordinates 120°29'00" east longitude – 120°34'00" east longitude and 2°30'00" "LS – 2°37'00" South. In general, this study aims to determine the causes of flood hazards by using the field survey method and data management with geographic information systems (GIS), Analytical Hierarchy Process (AHP) weighting, and potential flooding in the research area. The parameters used in making the map are slope maps, elevation maps, land use maps, distance maps to rivers, and rainfall maps. The results of the flood hazard map showed the highest hazard level of 7.32% of the research area or 5.56 km². But the map is dominated by a low hazard level of 73.01% of the total area of 55.49 km². Based on field observations, several factors that can cause flooding at the research location are the results of landslides in the river body, which can cause river silting.

Keywords: Geology, Mapping, Flood, GIS, AHP, Bantimurung Area, Luwu Utara

ABSTRAK

Daerah penelitian termasuk dalam Lembar Malili yang terletak di Sub-DAS Sungai Bone-Bone, Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Bone-Bone, Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan dengan koordinat 120°29'00" BT – 120°34'00" Bujur Timur dan 2°30'00" "LS – 2°37'00" Selatan. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab bahaya banjir dengan menggunakan metode survei lapangan dan pengelolaan data dengan *geographic information systems (GIS)*, pembobotan AHP (Analytical Hierarchy Process) dan potensi banjir di daerah penelitian. Parameter yang digunakan dalam pembuatan peta adalah peta kemiringan lereng, peta elevasi, peta tata guna lahan, peta jarak ke sungai, dan peta curah hujan. Hasil peta kerawanan banjir menunjukkan tingkat kerawanan tertinggi sebesar 7,32% dari luas daerah penelitian atau 5,56 km². Tetapi peta tersebut didominasi oleh tingkat bahaya rendah sebesar 73,01% dari luas total 55,49 km². Berdasarkan observasi lapangan, beberapa faktor yang dapat menyebabkan banjir di lokasi penelitian adalah akibat longsor di badan sungai yang dapat menyebabkan pendangkalan sungai.

Kata Kunci: Geologi, Pemetaan, Banjir, GIS, AHP, Kecamatan Bantimurung, Luwu Utara

1. PENDAHULUAN

Pengaplikasian dari hasil pemetaan geologi salah satunya yaitu melakukan mitigasi bencana alam geologi (Faizana et al., 2015). Pada lokasi penelitian dijumpai adanya potensi banjir dari sungai. Banjir adalah bencana yang serius dan sering dihadapi banyak daerah di Indonesia (BNPB, 2016). Kerugian yang disebabkan oleh banjir tidaklah sedikit. Ada ribuan nyawa yang hilang secara langsung maupun tidak langsung akibat dari banjir. Banyak kerugian yang dialami masyarakat ketika banjir melanda, kerugian fisik materi yaitu barang - barang yang rusak akibat banjir tersebut, atau penyakit akibat air tanah yang kotor. Menurut BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), banjir yang terjadi di Daerah Luwu Utara pada Tahun 2020 disebabkan karena beberapa hal, yaitu curah hujan dengan intensitas tinggi di daerah aliran sungai (DAS) Balease dan Bone-Bone, kemiringan lereng di bagian daerah hulu yang curam, serta faktor dari geologi daerah tersebut.

Analisis bahaya banjir banyak dilakukan dengan aplikasi *Geographic Information System* (GIS) dengan metode pembobotan AHP. Metode ini banyak digunakan karena bersifat komprehensif baik secara kualitatif maupun kuantitatif, multikriteria (Mosadeghi et al., 2015), dan mampu memecahkan persoalan yang kompleks karena terstruktur dengan baik (hierarki) (Amin et al., 2021). Metode AHP mampu menjadi pedoman untuk pengendalian banjir di DAS Himalayan (Hasanuzzaman et al., 2022), dan mampu meminimalkan kesalahan dalam proses penilaian untuk pembobotan banjir di DAS Uraim Brazil (Correa et al., 2018).

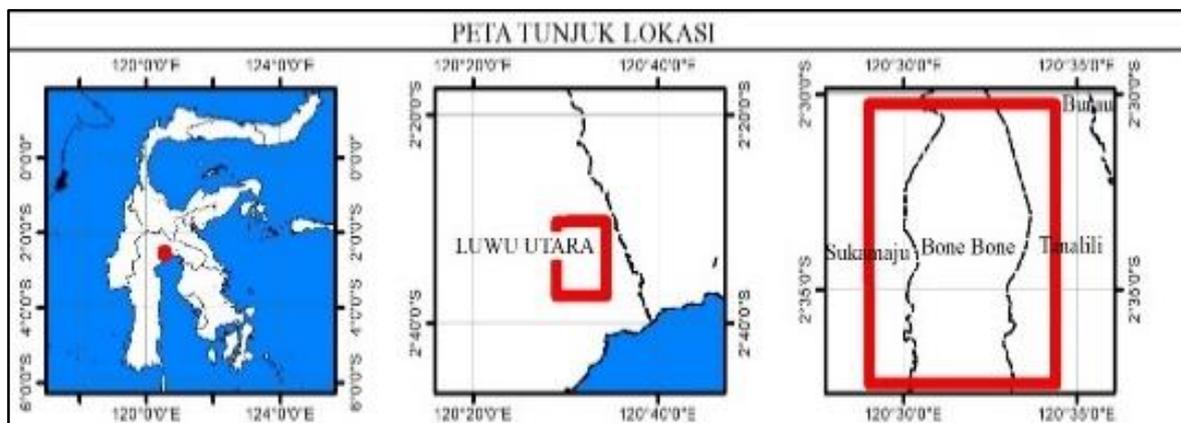
Berkaitan dengan hal-hal tersebut diatas, maka perlu diadakannya penelitian geologi secara langsung dilapangan dengan mengaplikasikan ilmu geologi yang mencakup analisis penyebab bahaya banjir pada Sungai Bone – Bone. Penelitian dilakukan pada Daerah Sub DAS Sungai Bone-Bone, Desa Bantimurung, Kecamatan Bone-Bone, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis dan membuat peta bahaya banjir dari lokasi penelitian dengan metode *Geographical Information Sistem* (GIS) menggunakan parameter geologi, kemiringan lereng, curah hujan, elevasi, jarak ke sungai dan tutupan lahan yang dianalisis menggunakan metode *Analisis Hierarki Proses* (AHP).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi studi

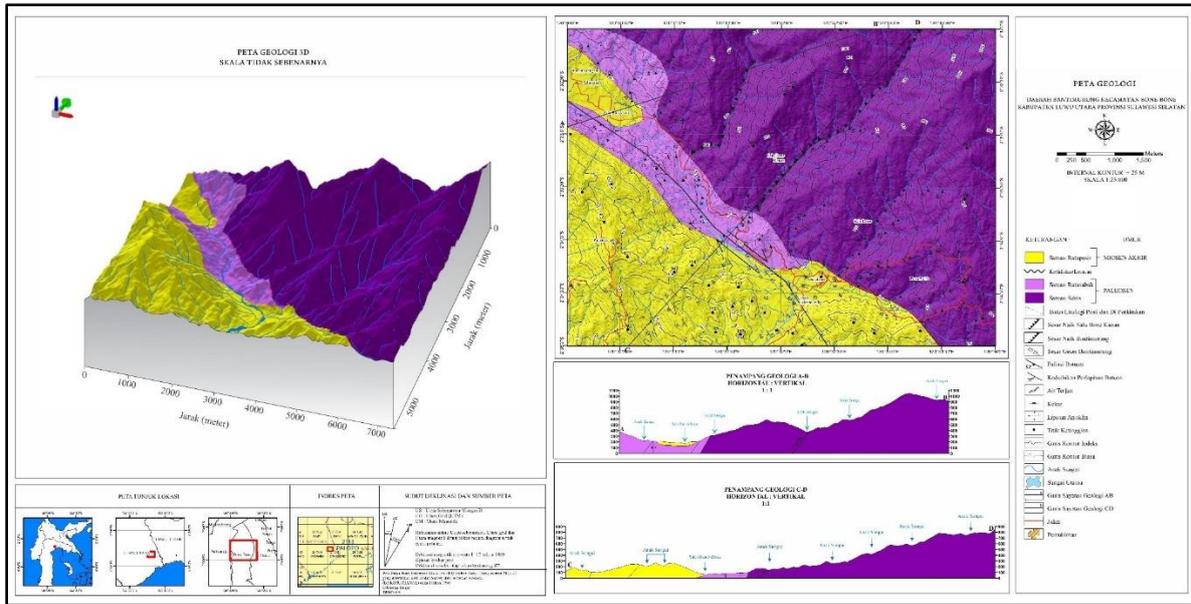
Daerah penelitian termasuk dalam Lembar Malili (Simandjuntak et al., 1991), yang terletak di Sub-DAS Sungai Bone-Bone, Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Bone-Bone, Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan dengan koordinat $120^{\circ}29'00''$ BT – $120^{\circ}34'00''$ Bujur Timur dan $2^{\circ}30'00''$ LS – $2^{\circ}37'00''$ Selatan (Gambar1). Luas keseluruhan daerah penelitian sebesar 76km^2 .



Gambar 1. Peta Tunjuk Lokasi

Geologi daerah penelitian mencakup kondisi geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi. Berdasarkan hasil pengamatan pada daerah penelitian, geomorfologi daerah penelitian terdiri dari beberapa satuan morfologi yaitu Satuan Bentangalam Pegunungan Terjal dengan persentase sudut lereng antara 4° - 55° dan beda tinggi sekitar 1200 meter di atas permukaan laut., Satuan Bentangalam Perbukitan Bergelombang dengan persentase sudut lereng antara 2° - 55° dan beda tinggi sekitar 477 meter di atas permukaan laut.

Berdasarkan litostratigrafi tidak resmi, maka satuan batuan pada daerah penelitian diurutkan dari yang paling muda hingga paling tua terdiri atas satuan sekis ditindih selaras oleh satuan batusabak kemudian ditindih tidak selaras oleh satuan batupasir. Hubungan antar satuan sekis ditindih selaras oleh satuan batusabak kemudian ditindih tidak selaras oleh satuan batupasir di atasnya (Gambar 2). Sedangkan struktur daerah penelitian terdiri dari Sesar Naik Salu Bone Kanan, Sesar Naik Bantimurung, dan Sesar Geser Bantimurung.



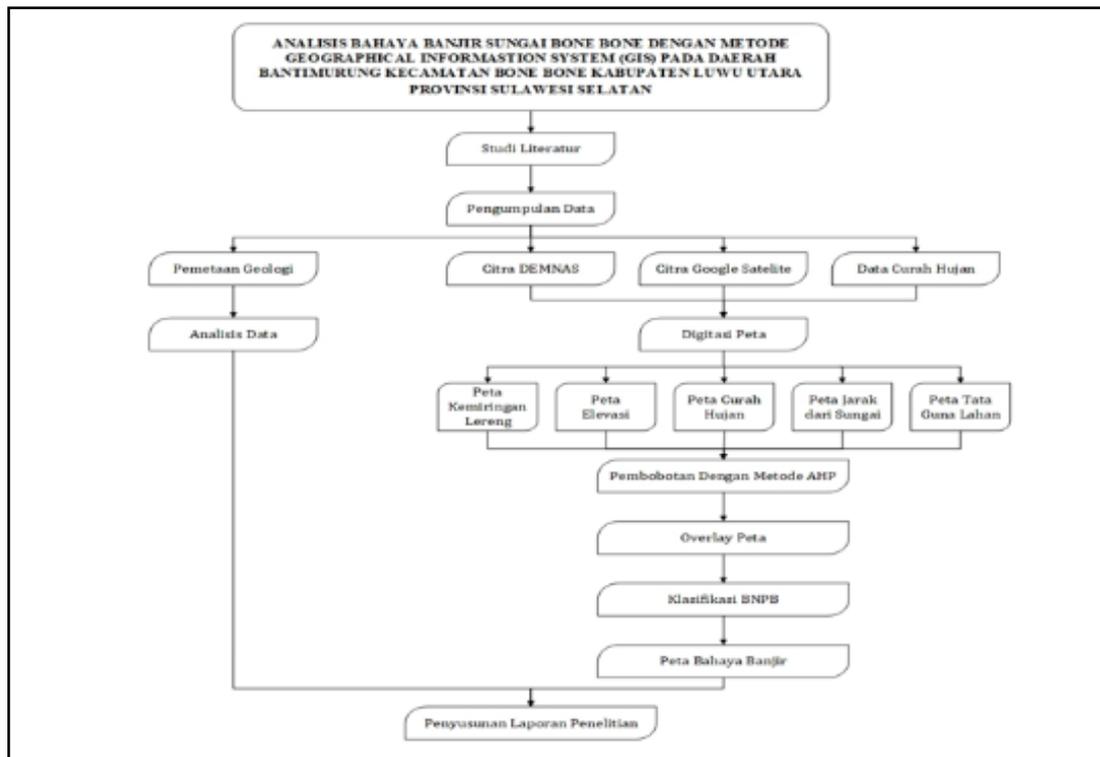
Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

2.2. Metode penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian lapangan dan analisis dengan GIS dengan metode pembobotan AHP (Saaty, 1986) *experts judgment* dengan data analisis (Tabel 1). Pengambilan data lapangan meliputi; pengambilan data lapangan penyebab banjir pada daerah penelitian. Metode analisis GIS mengenai banjir menggunakan data hasil lapangan, DEMNAS, *Google Earth*, citra landsat serta curah hujan BMKG. Semua data akan diolah menjadi peta geologi, peta kemiringan lereng, peta ketinggian, peta tata guna lahan, peta jarak ke sungai utama, dan peta curah hujan. Kemudian dilakukan metode pembobotan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* yang akan di *Overlay Union* menggunakan ArcGIS 10.8 sehingga menghasilkan peta bahaya banjir Sungai Bone-Bone (Gambar 3).

Tabel 1. Sumber dan tahapan pengolahan data analisis parameter bahaya banjir

Parameter	Sumber Data	Perangkat	Tools Analisis	Klasifikasi
Kemiringan lereng	DEMNAS	ArcGIS	Raster surface (slope) tools	Kemiringan lereng (Van Zuidam 1985)
Elevasi	DEMNAS	ArcGIS	Reclassify tools	Ketinggian absolut (Van Zuidam 1985)
Jarak dari Sungai	DEMNAS	ArcGIS	Multiple ring buffer	
Tutupan lahan	ESRI land cover dan citra google earth	ArcGIS	Polygon	
Curah hujan	BMKG	ArcGIS	Interpolation tools	



Gambar 3. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Skoring dan Pembobotan

Skoring dan pembobotan dimaksudkan sebagai penilaian pada setiap level pada setiap parameter. Penilaian ini didasarkan pada pengaruh parameter pada bahaya banjir. Untuk mendapatkan nilai pembobotan dilakukan dengan AHP (Tabel 2).

Tabel 2. Skor dan bobot tiap parameter untuk banjir

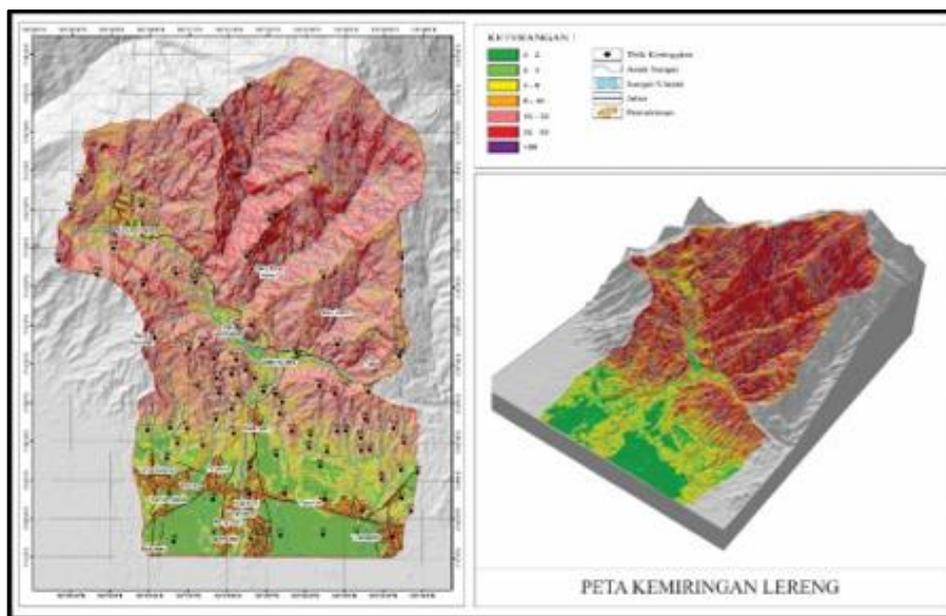
No	Parameter	Kriteria	Skoring	Bobot	Luas Area (Km ²)	Persentasi (%)
1	Curah Hujan	8,89 mm/hari	3	39	60	100
2	Tata Guna Lahan	Badan Air	5	10	0.58	0.76
		Pemukiman	5		5.20	6.84
		Sawah	4		7.40	9.74
		Kebun	3		19.62	25.82
		Hutan	2		43.20	56.84
3	Kemiringan Lereng	Datar (0°-2°)	5	27	7.72	10.16
		Agak Miring (2°-4°)	5		3.75	4.93
		Miring (4°-8°)	4		7.04	9.26
		Agak Curam (8°-16°)	3		13.41	17.64
		Curam (16°-35°)	2		34.23	45.04
		Sangat Curam (35°-55°)	1		9.66	12.71
		Curam Sekali (>55°)	1		0.01	0.01
4	Elevasi	0 - 50 m	5	8	21.01	27.64
		50 - 100 m	4		5.77	7.59
		100 - 200 m	3		7.13	9.38
		200 - 500 m	2		17.51	23.04
		500 - 1500 m	1		24.72	32.53
5	Jarak Ke Sungai Utama	0 - 50 m	5	16	-	-
		50 - 100 m	4		-	-
		100 - 150 m	3		-	-

Hasil skoring dan pembobotan menunjukkan bahwa curah hujan memiliki nilai bobot yang paling besar yaitu 39, kemudian kemiringan lereng dengan nilai 27. Hal ini menunjukkan bahwa parameter curah hujan dan lereng menjadi dua faktor utama yang memicu kejadian bencana banjir dilokasi studi. Curah hujan yang tinggi juga menjadi faktor utama kejadian banjir bandang di wilayah DAS wuding di China akibat rusaknya DAS pada bagian hulu, dengan tingkat erosi yang tinggi tanpa adanya usaha untuk konservasi (Zhang et al., 2022). Kejadian banjir bandang pada wilayah DAS Kelara Kabupaten Jeneponto juga disebabkan oleh meningkatnya curah hujan dan menurunnya kualitas tanah akibat erodibilitas tanah yang tinggi (Ahmad et al., 2022).

3.2. Parameter Bahaya Banjir

3.2.1. Peta Kemiringan Lereng

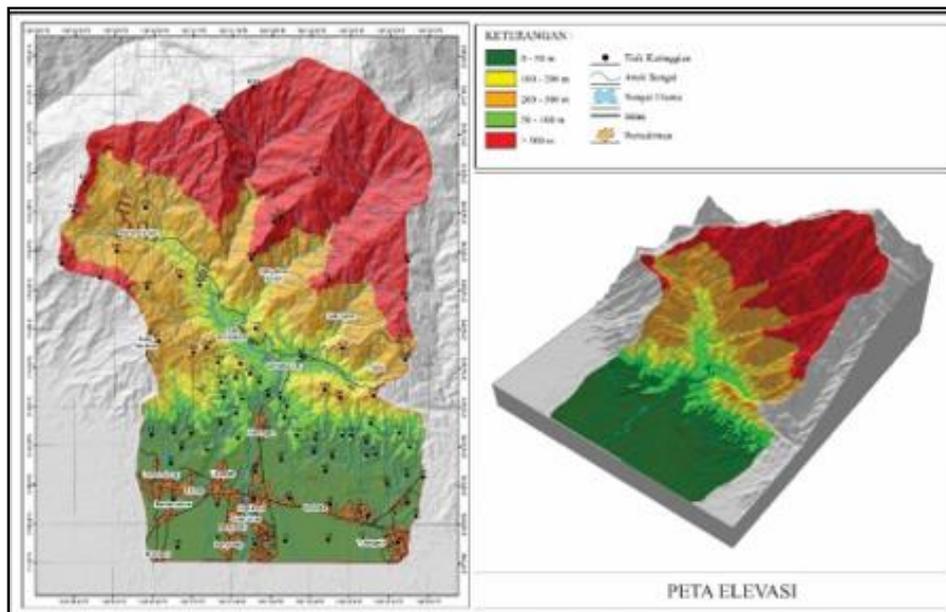
Kondisi lereng daerah penelitian dihasilkan dari pengolahan data DEM-SRTN 30 M (*Digital Elevation Model-Shuttle Radar Topography Mission*) dimana lokasi penelitian dibagi menjadi 7 kelas Kemiringan Lereng dengan menggunakan Klasifikasi Van Zuidam (1985) dan menghasilkan peta kemiringan lereng (Gambar 4). Dari hasil analisis kemiringan lereng dapat diketahui bahwa pada daerah penelitian didominasi oleh kemiringan lereng yang curam (16° - 35°) yaitu 45,04% dari luas keseluruhan atau 34,23 km². Lereng menjadi salah satu faktor yang memicu terjadinya akumulasi air yang besar pada wilayah hilir DAS dengan bentuk DAS yang menyempit pada wilayah hilir (Say et al., 2021).



Gambar 4. Peta Kemiringan Lereng

3.2.2. Peta Elevasi

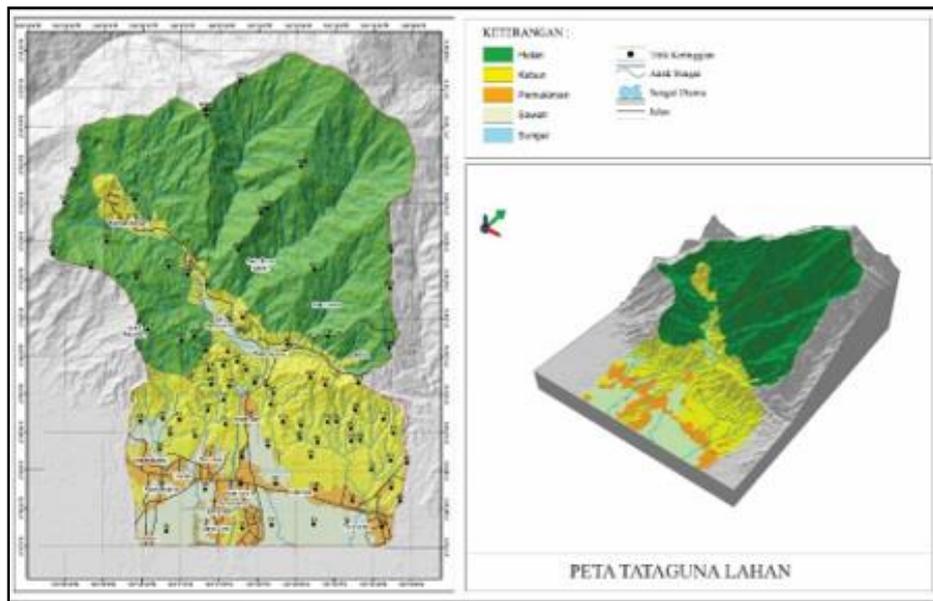
Kondisi elevasi daerah penelitian dihasilkan dari pengolahan data DEM-NAS 30 M (*Digital Elevation Model*) dimana lokasi penelitian dibagi menjadi 5 kelas Kemiringan Lereng dengan menggunakan Klasifikasi Van Zuidam (1985) dan menghasilkan peta elevasi (Gambar 5). Dari hasil analisis elevasi dapat diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh elevasi 500 – 2000 m yaitu 32,53% dari luas keseluruhan atau 24,72 km². Ketinggian tertinggi pada daerah penelitian yaitu 1.700 mdpl dan ketinggian terendah yaitu 12 mdpl.



Gambar 5. Peta Elevasi

3.2.3. Peta Tata Guna Lahan

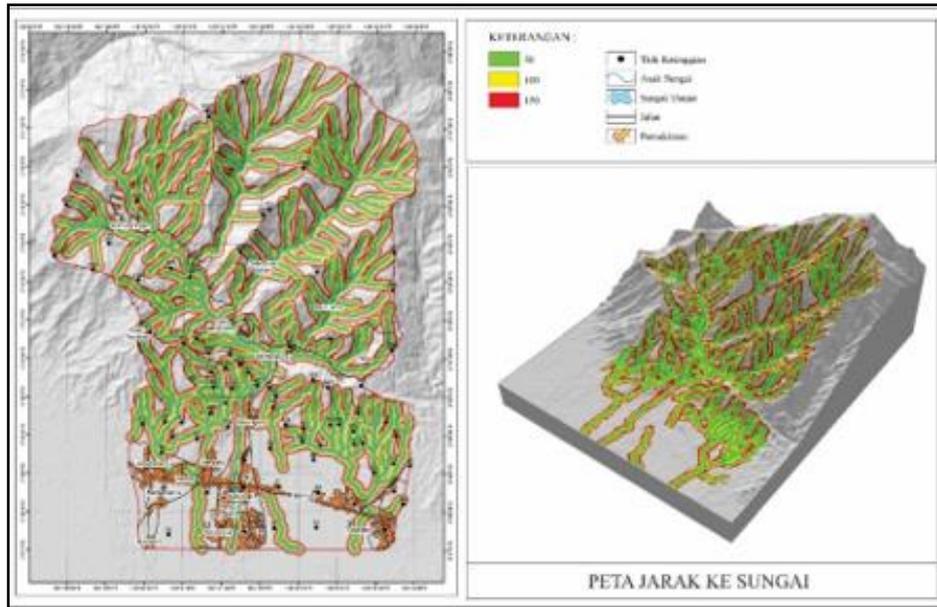
Kondisi tata guna lahan daerah penelitian didapatkan dari citra *google earth* dan *ESRI Land Cover* yang diolah dari data Citra Sentinel 2A dibagi menjadi 5 klasifikasi yaitu badan air, pemukiman, sawah, hutan dan kebun dan menghasilkan peta tata guna lahan (Gambar 6). Dari data tersebut maka dapat diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh daerah hutan yaitu 56.84% dari luas keseluruhan atau 43.20 km². Penurunan luas wilayah hutan akibat pemanfaatan lahan untuk pertanian dan permukiman, berdampak pada penurunan kemampuan tanah terhadap bahaya erosi (Ahmad et al., 2022; Dibal et al., 2014). Alih fungsi lahan hutan menyebabkan meningkatnya perubahan iklim, yang berdampak pada anomali distribusi hujan dan meningkatkan peluang terjadinya banjir (Velasategui-Montoya et al., 2022).



Gambar 6. Peta Tata Guna Lahan

3.2.4. Peta Jarak Ke Sungai

Pada daerah penelitian terdapat satu sungai utama yaitu Sungai Bone-Bone yang mengalir dari arah Barat Daya relatif ke Selatan. Jarak ke sungai sangat mempengaruhi penyebab terjadinya banjir. Oleh karena itu dilakukan analisis *Buffer* untuk mengetahui jarak tertentu dari sungai yang memungkinkan terjadinya banjir. Analisis *Buffer* dibuat untuk mengetahui jarak batas yang ada disekitar titik, garis ataupun poligon. Semakin dekat jarak ke sungai maka peluang terjadinya banjir pada daerah tersebut semakin besar. Jarak ke sungai dibagi menjadi 3 bagian, yaitu 50 meter, 100 meter dan 150 meter menghasilkan peta jarak ke sugai (Gambar 7). Wilayah buffer sungai sangat mempengaruhi luapan air sungai, penurunan luasan buffer sungai terbukti menjadi penyebab banjir pada sungai Cisadane di Tangerang Selatan (Izzati et al., 2019).



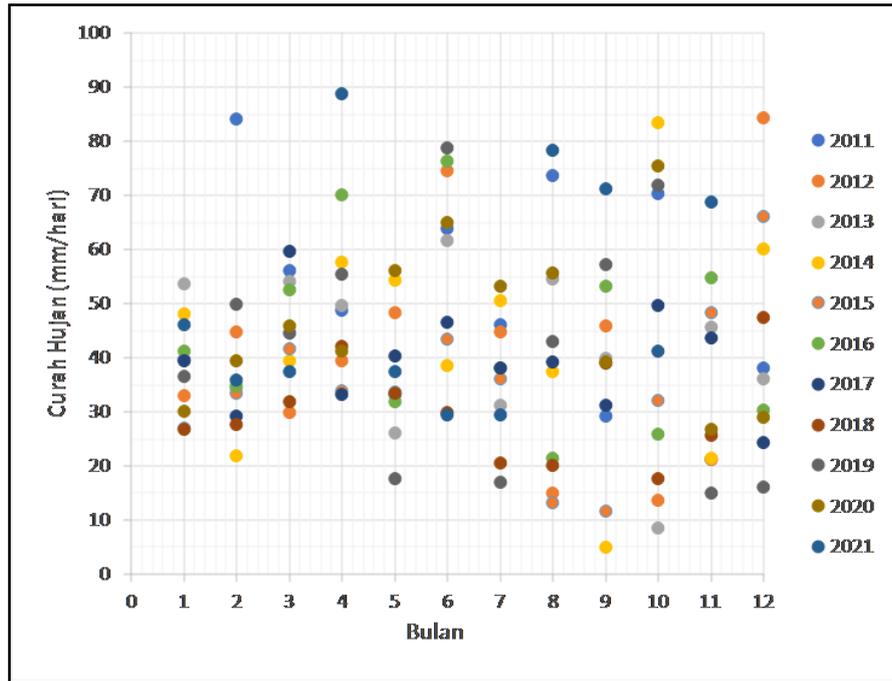
Gambar 7. Peta Jarak ke Sungai

3.2.5. Peta Curah Hujan

Peta curah hujan dibuat dari data curah hujan harian daerah penelitian dari data BMKG (Badan meteorologi klimatologi dan geofisika) pada stasiun curah hujan A. Djemma, Luwu Utara. Curah hujan yang digunakan yaitu data curah hujan maksimal per bulan pada tahun 2011 – 2021. Dari data curah hujan dalam 10 tahun terakhir dapat dilihat bahwa pada bulan Januari hingga April curah hujan semakin meningkat dan menurun pada bulan Mei hingga September. Namun kembali meningkat pada bulan Oktober hingga Desember (Gambar 8).

Tabel 3. Data curah hujan tahunan

Tahun/ Bulan	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOV	DES
2011	39.72	84.21	56.25	48.85	33.32	64.01	46.26	73.82	29.45	70.55	21.4	38.22
2012	33.21	45.03	30.05	39.48	48.47	74.73	44.88	15.14	46.06	13.8	21.4	84.48
2013	53.85	34.47	54.37	49.8	26.14	61.79	31.45	54.71	40.03	8.7	45.81	36.17
2014	48.28	21.99	39.67	57.86	54.59	38.6	50.69	37.63	5.03	83.73	21.6	60.17
2015	27.08	33.47	41.85	33.97	33.71	43.68	36.27	13.33	11.85	32.22	48.54	66.21
2016	41.39	34.98	52.64	70.27	31.98	76.45	38.3	21.52	53.35	26.12	55.03	30.51
2017	39.49	29.26	59.92	33.41	40.44	46.66	38.23	39.26	31.44	49.87	43.87	24.56
2018	27	27.9	32.12	42.22	33.65	30.12	20.76	20.3	39.15	17.84	25.85	47.5
2019	36.65	50.14	44.65	55.62	17.79	79	17	43.06	57.41	71.98	15.1	16.3
2020	30.16	39.61	46.06	41.26	56.28	65.08	53.46	55.79	39.39	75.63	26.95	29.12
2021	46.3	36.07	37.62	88.92	37.63	29.49	29.5	78.47	71.29	41.46	68.85	



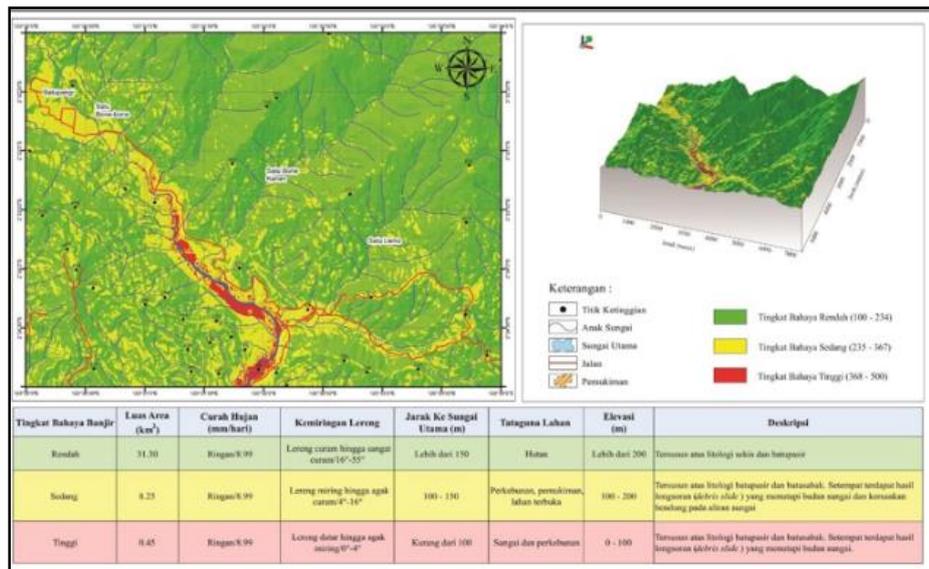
Gambar 8. Grafik curah hujan maksimal per bulan

3.3. Analisis dan Peta Bahaya Banjir

Hasil skoring dan pembobotan parameter diperoleh peta bahaya banjir (Gambar 9), dengan 3 tingkat bahaya (Tabel 4), yaitu tinggi, sedang dan rendah. Daerah tingkat bahaya banjir tinggi memiliki luas 14.59 km² atau sebesar 19.67% dari luas keseluruhan area penelitian. Zona ini tersebar pada bagian barat laut hingga tenggara dan barat daya daerah penelitian yang tersusun atas litologi sekis dan batupasir. Tutupan lahan yang dijumpai yaitu hutan dengan lereng curam hingga sangat curam, elevasi lebih dari 200 mdpl, dan jauh dari aliran sungai utama. Hal ini menyebabkan daerah tersebut memiliki tingkat bahaya banjir yang rendah.

Tabel 4. Persentase Zonasi Bahaya Banjir

Parameter	Klasifikasi	Luas Area (Km ²)	Persentase (%)
Zonasi Bahaya Banjir	Tingkat Bahaya Rendah	14.95	19.67
	Tingkat Bahaya Sedang	55.49	73.01
	Tingkat Bahaya Tinggi	5.56	7.32



Gambar 9. Peta Bahaya Banjir

Daerah tingkat bahaya banjir sedang memiliki luas 55.49 km² atau sebesar 73.01% dari luas keseluruhan area penelitian. Zona ini tersebar pada bagian tengah dari arah barat laut hingga tenggara daerah penelitian yang tersusun atas litologi batupasir dan batugamping. Tutupan lahan yang dijumpai yaitu perkebunan, lahan terbuka dan pemukiman dengan lereng miring hingga agak curam, elevasi 100 - 200 mdpl, dan agak dekat dari aliran sungai utama. Dari hasil pengamatan lapangan pada zona ini terdapat kejadian longsor di beberapa titik. Perubahan penggunaan lahan merupakan faktor yang dapat memicu perubahan siklus hidrologi dan memicu kejadian banjir (Alimuddin et al., 2013). Kejadian gerakan tanah terjadi pada daerah badan – badan sungai dan sekitar jalan. Longsor yang terjadi pada badan – badan sungai dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan sungai. Ketika terjadi hujan yang besar maka potensi terjadinya banjir akan semakin besar akibat dari pendangkalan badan sungai tersebut. Pemblokiran aliran sungai oleh material sedimen akibat aktivitas longsor, meningkatkan volume air yang tertampung pada tubuh sungai, dapat memperbesar peluang terjadinya banjir bandang, jika aktivitas curah hujan meningkat (Solle & Ahmad, 2016). Hasil pengamatan di lapangan, secara umum tipe gerakan tanah yang dijumpai pada daerah penelitian adalah *debris slide*. *Debris slide* yang dijumpai di lapangan dicirikan dengan gerakan tanah yang melalui bidang gelincir dengan material yang bergerak tersusun atas material yang tak terkonsolidasi dari hasil lapukan batuan sekis, batupasir dan batugamping, kemiringan lereng yang relatif terjal dan dipengaruhi oleh gaya gravitasi (Gambar 10 dan Gambar 11). Selain itu, pada bulan Juli dan Agustus 2021 terjadi banjir pada daerah wisata air terjun Bantimurung (Gambar 12). Pada

zona ini juga dijumpai kerusakan pada bendung di daerah aliran sungai (Gambar 13). Faktor tersebut menyebabkan daerah tersebut memiliki tingkat bahaya banjir yang sedang.



Gambar 10. Dampak Longsor dan Banjir ST 29 daerah Air Terjun Bantimurung yang merusak bendung dan tempat wisata pada aliran Sungai Bone – bone



Gambar 11. Material longsor pada ST 114 daerah pinggir Jalan lokal Patila



Gambar 12. Material longsor ST 22 yang menutup sebagian aliran Anak Sungai Bone-bone



Gambar 13. Rusaknya bendung pada daerah aliran anak aliran Sungai Bone – bone

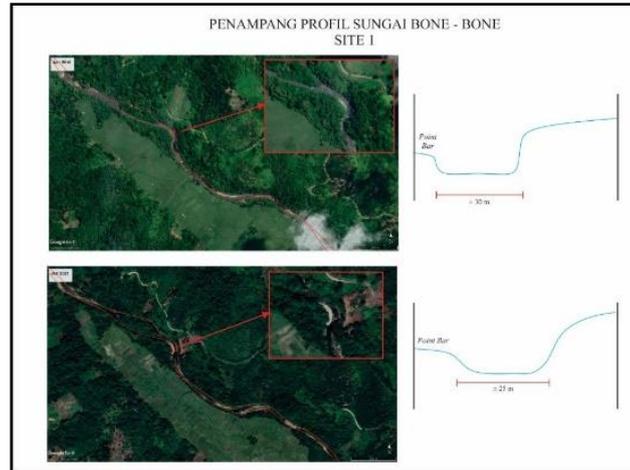
Daerah tingkat bahaya banjir rendah memiliki luas 5.56 km² atau sebesar 7.32% dari luas keseluruhan area penelitian. Zona ini tersebar pada bagian tengah dari arah barat laut hingga tenggara daerah penelitian yang tersusun atas litologi batusabak dan batupasir. Tutupan lahan yang dijumpai yaitu sungai dan perkebunan dengan bentuk lahan datar hingga agak miring, elevasi kurang dari 100 mdpl, dan dekat dari aliran sungai utama. Wilayah datar hingga agak miring biasanya merupakan wilayah yang menjadi limpasan air dari daerah hulu DAS. Kemiringan lereng dan penggunaan lahan sangat mempengaruhi kemampuan infiltrasi air permukaan terhadap genangan yang dapat terjadi (Nawawi & Sanjoto, 2014).

Dari hasil pengamatan lapangan pada zona ini terdapat kejadian longsor di beberapa titik. Kejadian gerakan tanah terjadi pada daerah badan-badan sungai dan sekitar jalan poros. Hasil pengamatan di lapangan, secara umum tipe gerakan tanah yang dijumpai pada daerah penelitian adalah *debris slide*, yang dihasilkan dari lapukan batuan sekis, batusabak dan batupasir (Gambar 14).

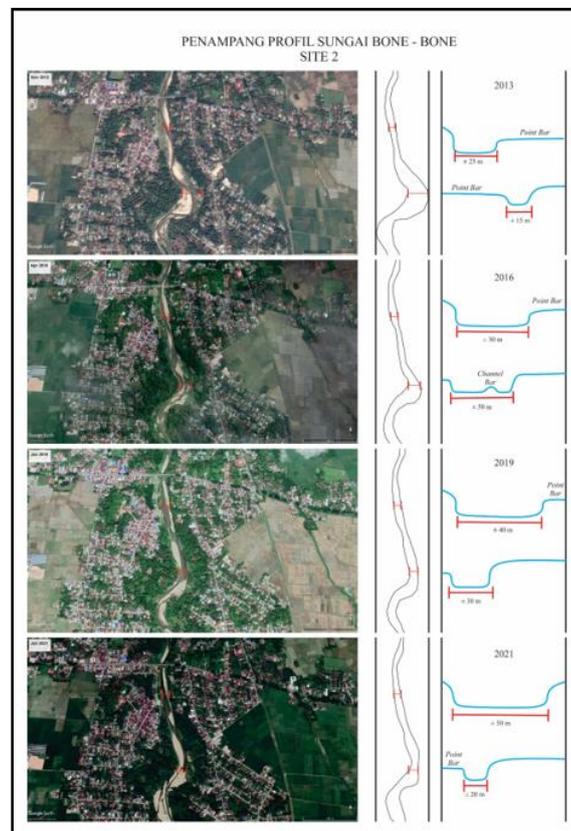


Gambar 14. Material longsor pada ST 51 pada aliran Sungai Bone-bone

Berdasarkan analisis profil sungai dari data *time series* pada *google earth* tahun 2013, 2016, 2019 dan 2021 dapat dilihat perubahan profil sungai yang menunjukkan hasil proses erosi (Gambar 15) dan sedimentasi (Gambar 16). Dari faktor tersebut menyebabkan daerah tersebut memiliki tingkat bahaya banjir yang tinggi.



Gambar 15. Perubahan profil penampang sungai tahun 2016 – 2021 pada ST 51 dari data *Google Earth*



Gambar 16. Perubahan profil penampang sungai tahun 2013 – 2021 pada daerah Bone-Bone dari data *Google Earth* yang menunjukkan hasil dari proses erosi dan sedimentasi

4. KESIMPULAN

Peta bahaya banjir yang dihasilkan pada Sub-DAS Sungai Bone-Bone, Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Bone-Bone, Kabupaten Luwu, memiliki tingkat bahaya tertinggi sebesar 5.56% dari luas area penelitian atau 7.32 km² dan tingkat bahaya sedang sebesar 73.01% dari luas area keseluruhan atau 55.49 km². Faktor yang memicu kejadian banjir pada lokasi penelitian yaitu pendangkalan sungai sebagai akibat dari adanya hasil longsor yang masuk ke badan sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Farida, M., Juita, N., & Amin, N. (2022). Soil erodibility mapping for soil susceptibility in the upstream of Kelara Subwatershed in Jenepono Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012031>
- Alimuddin, I., Banyuaji, L., Langkoke, R., Sumantyo, J. T. S., & Kuze, H. (2013). Evaluating land surface changes of Makassar City using DInSAR and landsat thematic mapper images. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 7(10), 1287–1294. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.10.002>
- Amin, N., Lias, S. A., & Ahmad, A. (2021). Potential landslide-prone areas in the Kelara sub-watershed using the analytical hierarchy process method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(2), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022080>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2012. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
- BNPB. (2016). *Risiko Bencana Indonesia*. BNPB. [http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku RBI_Final_low.pdf](http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku_RBI_Final_low.pdf)
- Correa, D. L., Matta, M. A. da sSilva, & Vasconcelos, M. A. M. (2018). Method AHP to Flood Risk Map Approach. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 5(7), 323–325. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.7.40>
- Dibal, J. M., Bashir, A. U., Umara, B. G., & Baraya, B. (2014). *Variability of Soil Erodibility Factor With Some Soil Management Practices in a Semi-Arid*. 9(11), 2206–2211.
- Faizana, F., Nugraha, A. L., & Yuwono, B. D. (2015). Pemetaan risiko bencana tanah longsor Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(1), 223–234.
- Hasanuzzaman, M., Adhikary, P. P., Bera, B., & Shit, P. K. (2022). Flood vulnerability assessment using AHP and Frequency ratio techniques. In *Spatial Modelling of Flood Risk and Flood Hazards* (Issue April, pp. 91–104). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94544-2>
- Izzati, U., Hasibuan, H. S., & Indra, T. L. (2019). Land use change of Cisadane River buffer strips, South Tangerang City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 338(012019), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/338/1/012019>
- Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R., & Mirfenderesk, H. (2015). Computers ,

- Environment and Urban Systems Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. *COMPUTERS, ENVIRONMENT AND URBAN SYSTEMS*, 49, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.10.001>
- Nawawi, M., & Sanjoto, T. B. (2014). Sebaran Spasial laju Infiltrasi Sebagai Upaya Mengurangi Degradasi lingkungan Di DAS Beringin. *Jurnal Geo Image*, 3(1), 1–7.
- Saaty (1986). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill.
- Say, V., Legono, D., Rahardjo, A. P., & Yuniawan, R. A. (2021). Flash flood characteristics of Ciberang River, its impact and mitigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(012085), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012085>
- Simandjuntak, T., Rusmana, E., Surono, & Supandjono, J. (1991). *Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi (Geological Map of Malili Quadrangle, Sulawesi)*. Geological Research and Development Centre.
- Solle, M. S., & Ahmad, A. (2016). Identification of Soil, Rock and Tecto-Volcanism on Landslides in Tondano Watershed. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 4(6), 271–282. <https://doi.org/10.17265/2328-2193/2016.06.003>
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Smith Publisher, The Hague, Enschede : Netherlands.
- Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Peña-Villacreses, G., de Lima, A., & Herrera-Franco, G. (2022). Land Use and land Ccover in tropical forest: global research. *Forests*, 13(1709), 1–34. <https://doi.org/10.3390/f13101709>
- Zhang, P., Sun, W., Xiao, P., Yao, W., & Liu, G. (2022). Driving factors of heavy rainfall causing flash floods in the middle reaches of the Yellow River: A Case study in the Wuding River Basin, China. *Sustainability (Switzerland)*, 14(8004), 1–11. <https://doi.org/10.3390/su14138004>