



Volume 10 No. 2 April 2025

p-ISSN: 2477-8192 dan e-ISSN: 2502-2776

Analisis Risiko dan Mitigasi Bencana Angin Puting Beliung Berbasis Sistem Informasi Geografis

Shofa' Nur Amirah Khairiyah¹, Andrias Andrias¹, Tahir Tahir², La Ode Nursalam¹

¹Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Halu Oleo

Email: shofanuramirahkhairiyah@gmail.com; andrias.fkip@uho.ac.id; laodenursalam77@gmail.com

²Program Studi Geografi, Universitas Halu Oleo

Email: tahir.mtmk@uho.ac.id

(Received: 1 April 2024; Accepted: 22 Oktober 2024; Published: 8 April 2025)



©2019 – Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi. Ini adalah artikel dengan

akses terbuka dibawah licensi CC BY-NC-4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).

ABSTRACT

Kendari City often experiences tornado disasters that cause many losses. A tornado disaster risk analysis needs to be conducted to reduce the losses. This study aims to determine the distribution of the risk of tornado disaster in Kendari city as well as mitigation efforts that need to be done based on the level of disaster risk. This type of research is quantitative descriptive research with spatial analysis. The results showed that Kendari city has 5 levels of risk of puting twister disaster. Very low risk level with a total land area of 4176,77 ha (15,13%), low risk level of 3.514,86 ha (12,74%), moderate risk level of 14.218,44 ha (51,52%), high risk level of 5.230,71 ha (18,95%), and very high risk level of 457,38 ha (1,66%). The tornado disaster mitigation plan can be carried out based on the priority of disaster risk in Kendari city. Mitigation in very high to high risk areas is prioritized on prohibiting development, improving disaster management systems, and conservation measures. Mitigation in moderate risk areas is prioritized on the implementation of building standard rules that take into account wind loads and material safety. Mitigation in low to very low risk areas is prioritized on limiting development so as not to result in land conversion.

Keywords: tornado; Kendari City; disaster mitigation; disaster risk.

ABSTRAK

Kota Kendari sering mengalami bencana angin puting beliung yang menimbulkan banyak kerugian. Analisis risiko bencana angin puting beliung perlu dilakukan untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran risiko bencana angin puting beliung di Kota Kendari serta upaya mitigasi yang perlu dilakukan berdasarkan tingkat risiko bencana. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif dengan analisis spasial. Hasil penelitian menunjukkan Kota Kendari memiliki 5 tingkat risiko bencana angin puting beliung. Tingkat risiko sangat rendah dengan total luas lahan sebesar 4176,77 ha (15,13%), tingkat risiko rendah seluas 3.514,86 ha (12,74%), tingkat risiko sedang seluas 14.218,44 ha (51,52%), tingkat risiko tinggi seluas 5.230,71 ha (18,95%), serta tingkat risiko sangat tinggi seluas 457,38 ha (1,66%). Rencana mitigasi bencana angin puting beliung dapat dilakukan berdasarkan prioritas risiko bencana di Kota Kendari. Mitigasi pada wilayah risiko sangat tinggi hingga tinggi diprioritaskan pada pelarangan pembangunan, peningkatan sistem manajemen kebencanaan, serta tindakan konservasi. Mitigasi pada wilayah risiko sedang diprioritaskan pada penerapan aturan standar bangunan yang memperhitungkan beban angin dan keamanan material. Mitigasi pada wilayah risiko rendah hingga sangat rendah diprioritaskan pada pembatasan pembangunan agar tidak mengakibatkan alih fungsi lahan.

Kata Kunci: angin puting beliung; Kota Kendari; mitigasi bencana; risiko bencana.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan 17.504 pulau dan sekitar 71% dari wilayahnya merupakan wilayah perairan (Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, 2019). Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia menjadi negara yang memiliki potensi bencana yang sangat tinggi. Pada tahun 2022, Indonesia tercatat mengalami 3.461 kejadian bencana yang didominasi oleh 1.493 bencana hidrometeorologi (BNPB, 2023).

Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terhadap bencana. Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) menunjukkan bahwa wilayah Sulawesi Tenggara memiliki sejarah kejadian cuaca ekstrem (angin puting beliung). Pada tahun 2009-2019, terdapat kecenderungan peningkatan kejadian bencana angin puting beliung di Provinsi Sulawesi Tenggara pada (BNPB, 2023).

Pada awal tahun 2023, Kota Kendari mengalami bencana hidrometeorologi berupa bencana angin puting beliung yang mengakibatkan 435 unit rumah mengalami kerusakan dan tiga orang mengalami luka (Yunus, 2023). Frekuensi bencana angin puting beliung di Kota Kendari terus meningkat bersamaan dengan terjadinya perubahan iklim secara global. Dampak dari perubahan iklim ini dapat mengurangi pembangunan infrastruktur dan sumber daya manusia, mengancam ketahanan pangan dan meningkatkan angka kemiskinan (Amri dkk., 2016).

Berdasarkan pernyataan di atas, maka diperlukan upaya penanggulangan bencana angin puting beliung. Dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, paradigma penanggulangan bencana telah mengalami pergeseran orientasi ke arah pengurangan risiko. Pemahaman risiko bencana memiliki dimensi ancaman, kerentanan, dan kapasitas (BNPB, 2015). Hal ini sesuai dengan penelitian Budjang (2021), yang melakukan kajian risiko bencana dengan mengambil variabel ancaman, kerentanan, dan kapasitas.

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan aplikasi modern yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan melakukan analisis spasial (Aslamsyah dkk., 2020). Analisis spasial merupakan suatu sistem

berbasis spasial dalam membuat berbagai kebijakan yang terkait dengan permasalahan pemetaan (Tahir, 2024). Sehingga, SIG yang terintegrasi dengan penginderaan jauh dapat dimanfaatkan dalam kepentingan kajian sebaran risiko bencana angin puting beliung.

Pada penelitian sebelumnya, analisis risiko bencana angin puting beliung menggunakan SIG telah dilakukan di Kota Semarang. Fadillah (2019) memanfaatkan SIG untuk mengetahui tingkat risiko bencana angin puting beliung. Namun, penelitian ini tidak memberikan upaya mitigasi bencana berdasarkan tingkat risiko bencana. Kemudian, Syafitri dkk. (2021) melakukan penelitian untuk mengetahui tingkat ancaman bencana angin puting beliung dengan memanfaatkan SIG, serta upaya mitigasi bencana angin puting beliung di Kabupaten Sidenreng Rappang. Selanjutnya, Destiana (2023) juga menganalisis tingkat ancaman angin puting beliung menggunakan SIG dan penginderaan jauh di Kabupaten Bandung Timur. Namun kedua penelitian ini belum mengaitkan bencana angin puting beliung dengan variabel kerentanan dan kapasitas bencana. Tidak hanya itu, upaya mitigasi bencana yang diberikan belum berdasarkan kelas risiko bencana. Belum adanya analisis risiko bencana angin puting beliung di Kota Kendari serta kurangnya analisis mitigasi bencana berdasarkan tingkat risiko angin puting beliung, menjadi alasan pemilihan topik.

Oleh karena itu, Kota Kendari perlu melakukan upaya terpadu melalui pengkajian risiko dan mitigasi bencana berdasarkan Sistem Informasi Geografis yang terintegrasi dengan penginderaan jauh. Hasil pengkajian risiko bencana ini diharapkan mampu menjadi acuan dalam menentukan arah kebijakan dan strategi pada setiap tahapan mitigasi bencana angin puting beliung di Kota Kendari.

METODE PENELITIAN

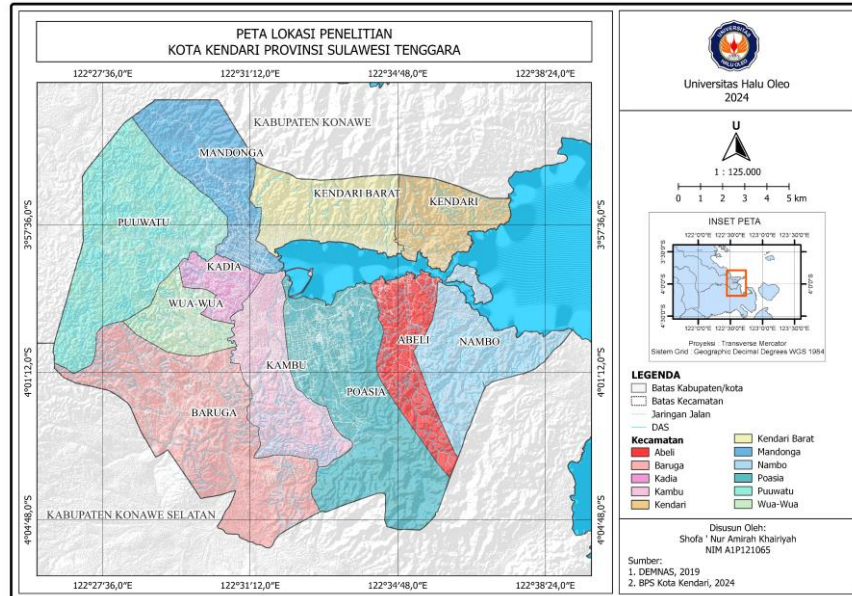
Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif dengan analisis spasial. Metode deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan wilayah Kota Kendari yang berpotensi untuk mengalami bencana angin puting beliung, sedangkan metode spasial digunakan untuk menganalisis risiko bencana angin puting beliung di Kota Kendari.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil kajian kasus di Kota Kendari. Penelitian ini dilakukan selama bulan November 2023 hingga Januari 2024. Kota

Kendari secara astronomis terletak di antara 3°54'40" LS - 4°5'05" LS dan 122°26'33" BT - 122°39'14" BT (BPS, 2023). Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (BPS, 2023)

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi. Observasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat ancaman, kerentanan, dan kapasitas bencana angin puting beliung sebenarnya di lapangan. Wawancara dilakukan untuk menggali informasi yang terjadi di lapangan dengan fokus informan adalah

masyarakat setempat lokasi uji akurasi. Sementara itu, dokumentasi digunakan untuk pengambilan gambar sebagai bukti fisik terkait informasi yang didapatkan di lapangan. Kemudian dilakukan pengumpulan data sekunder dengan mengumpulkan data secara tidak langsung melalui studi pustaka. Adapun data dan sumber data sekunder disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Sumber Data Sekunder

No.	Data	Sumber Data
1.	Curah Hujan Tahunan (1994 - 2023)	PERSIANN-Cloud Classification System, 2024
2.	Kemiringan Lereng	DEM Nasional, 2019
3.	Suhu Permukaan	Landsat 08 OLI, perekaman 9 April 2023
4.	Tutupan Lahan	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021
5.	Luas Lahan Produktif	• Badan Pusat Statistik Kota Kendari, 2024
6.	Kepadatan Penduduk	• Kec. Nambo dalam Angka 2023, BPS;
7.	PDRB	• Kec. Abeli dalam Angka 2023, BPS;
8.	Kelompok Rentan	• Kec. baruga dalam Angka 2023, BPS;
9.	Jumlah Bangunan & Sarana Prasarana	• Kec. Kambu dalam Angka 2023, BPS;
10.	Organisasi dan Kearifan Lokal Mitigasi Bencana	• Kec. Kadia dalam Angka 2023, BPS;
11.	Sistem Peringatan Dini	• Kec. Kendari dalam Angka 2023, BPS;
12.	Jalur dan Petunjuk Evakuasi	• Kec. Kendari Barat dalam Angka 2023, BPS;
13.	Data Lokasi Evakuasi	• Kec. Wua-wua dalam Angka 2023, BPS;
		• Kec. Mandonga dalam Angka 2023, BPS;
		• Kec. Puuwatu dalam Angka 2023, BPS;
		• Kec. Poasia dalam Angka 2023, BPS;

Curah Hujan Tahunan

Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang terhimpun pada tempat datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir (Nurhijriah dkk., 2022). Berdasarkan dokumen World Meteorological Organization No. 1203 Tahun 2017 bahwa informasi curah hujan dibuat sesuai standar rata-bulanan selama 30 tahun.

Data curah hujan tahunan diunduh dari PERSIANN-Cloud Classification System. Data curah hujan yang telah diunduh dalam format grid pertama-tama diimpor ke dalam perangkat lunak SIG. Data curah hujan terdiri dari data pengukuran curah hujan pada berbagai titik geografis. Selanjutnya, fitur *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada SIG digunakan untuk melakukan interpolasi spasial. Fitur ini memungkinkan pembuatan peta curah hujan yang lebih halus dan kontinu di seluruh area studi. Fitur IDW bekerja dengan memberikan bobot lebih besar pada titik-titik data yang berada lebih dekat dengan lokasi target sehingga menghasilkan estimasi curah hujan tahunan yang lebih akurat di setiap lokasi dalam area studi (Nurhijriah dkk., 2022). Data curah hujan tahunan yang dihasilkan disajikan pada Gambar 2a.

Identifikasi Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan perbandingan antara tinggi lahan dengan panjang datar lahan (Hidayah dkk., 2022). Digital Elevation Model (DEM) diekstrak menjadi kontur dan kemiringan. Kemiringan ekstraksi data DEM berupa raster karena itu harus diubah menjadi data shapefile dengan cara reclassify untuk mendapatkan info tabel kemiringan kemudian dilakukan *convert raster to polygon*. Hasil dari analisis ini adalah peta kemiringan lereng, di mana setiap piksel diberi nilai kemiringan dalam derajat (Taufik dkk., 2016). Data kemiringan lereng yang dihasilkan disajikan pada Gambar 2b.

Ekstraksi Land Surface Temperature

Suhu Permukaan atau *Land Surface Temperature* (LST) merupakan keadaan yang dikendalikan oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan tanah. Suhu permukaan suatu wilayah dapat diidentifikasi dari citra satelit

Landsat yang diekstrak dari band thermal (Utomo dkk., 2017; Aldiansyah dan Wardani, 2023). Perhitungan LST dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{CV_{R2}}\right) + 1}$$

Keterangan:

T = *Brightness Temperature* satelit (K)
K1 = Konstanta kalibrasi radian spektral
K2 = Konstanta kalibrasi suhu absolut (K)
CV_{R2} = *Radiance* Spektral

Hasil yang diperoleh dengan menerapkan rumus diatas dianggap sebagai ToA (*Top of Atmosphere*). Hal ini dikarenakan ekstraksi suhu didasarkan pada nilai radian yang diterima oleh sensor. Sehingga untuk mendapatkan nilai suhu permukaan yang akurat perlu dilakukan koreksi atmosfer. Koreksi ini dilakukan dengan menggunakan metode koreksi atmosfer dengan persamaan sebagai berikut:

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L_{\uparrow}}{e\tau} - \frac{1 - e}{e} L_{\downarrow}$$

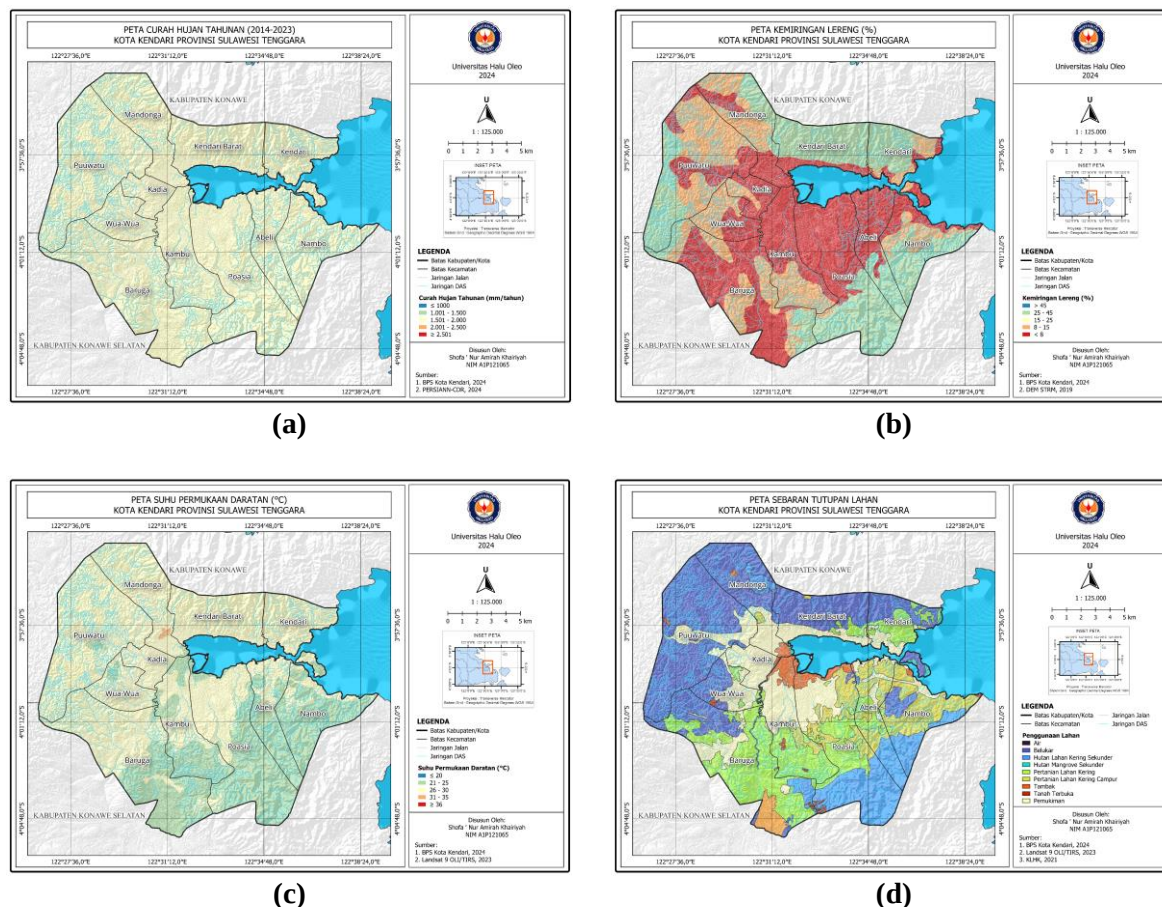
Keterangan:

CV_{R2} = Nilai koreksi atmosferik *radiance*
CV_{R1} = Nilai *Radiance* dari section 1
L_↑ = Upwelling radiance
L_↓ = Downwelling radiance
τ = Transmisi
e = Emisivitas (0,95)

Adapun data suhu permukaan yang dihasilkan disajikan pada Gambar 2c.

Tutupan Lahan

Tutupan lahan adalah tutupan biofisik yang teramati di permukaan bumi. Tutupan lahan dapat mencakup vegetasi dan fitur buatan manusia, termasuk didalamnya adalah batuan gundul atau tanah gundul, permukaan air dan unsur lainnya yang ada di permukaan bumi. Informasi tutupan lahan pada penelitian ini diperoleh dari data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2021. Data tutupan lahan yang dihasilkan disajikan pada Gambar 2d berikut.



Gambar 2. a) Curah Hujan Tahunan; b) Suhu Permukaan Daratan; c) Kemiringan Lereng; dan d) Tutupan Luluhan

Penginputan Data Tabular di SIG

Data tabular adalah kumpulan data yang disusun dalam bentuk tabel. Setiap baris mewakili observasi atau entitas dan setiap kolom yang mewakili karakteristik entitas tersebut (Suryani dkk., 2024). Salah satu bentuk data tabular adalah data Badan Pusat Statistik. Data dari Badan Pusat Statistik seperti data kepadatan penduduk, produk domestik regional bruto, jumlah kelompok rentan, jumlah bangunan dan sarana prasarana. Selain itu, data keberadaan organisasi dan kearifan lokal mitigasi bencana, sistem peringatan dini, jalur dan petunjuk evakuasi, serta lokasi evakuasi pada tiap kecamatan juga disusun dalam bentuk data tabular.

Penginputan data tabular ke SIG dalam analisis risiko bencana dilakukan menggunakan aplikasi QGIS 10.8. Proses pembuatannya dengan memasukkan data dasar atau *shapefile* peta administrasi kecamatan Kota Kendari dan data tabular per kecamatan.

Gambar 3 menunjukkan hasil input data tabular di SIG.

Analisis Data

Analisis risiko bencana angin puting beliung menggunakan beberapa variabel, diantaranya variabel ancaman, kerentanan, dan kapasitas. Analisis data dimulai dengan pembobotan pada setiap variabel kemudian melakukan *overlay* pada software QGIS 10.8.

Analisis Ancaman Bencana

Ancaman adalah kejadian atau peristiwa yang berpotensi menimbulkan jatuhnya korban jiwa, kerusakan aset atau kehancuran lingkungan hidup (PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012). Penyusunan variabel ancaman bencana angin puting beliung menggunakan 4 parameter yaitu curah hujan, suhu permukaan daratan, kemiringan lereng, dan penutup lahan. Variabel ancaman disajikan pada Tabel 2.

The top screenshot shows a table with the following data (approximate values):

No.	Kategori	1. Suhu	2. Curah	3. Kemiringan	4. Suhu	5. Curah	6. Kemiringan	7. Suhu	8. Curah	9. Kemiringan
1	Kategori 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Kategori 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	Kategori 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	Kategori 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	Kategori 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	Kategori 6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	Kategori 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	Kategori 8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	Kategori 9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	Kategori 10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	Kategori 11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

The bottom screenshot shows a table with the following data (approximate values):

No.	Kategori	1. Suhu	2. Curah	3. Kemiringan	4. Suhu	5. Curah	6. Kemiringan	7. Suhu	8. Curah	9. Kemiringan
1	Kategori 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Kategori 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	Kategori 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	Kategori 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	Kategori 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	Kategori 6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	Kategori 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	Kategori 8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	Kategori 9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	Kategori 10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	Kategori 11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Gambar 3. Data Tabular di SIG (Hasil Olah Data Primer, 2024)

Tabel 2. Pembobotan Variabel Ancaman

No.	Parameter	Klasifikasi	Bobot	Nilai
1	Curah Hujan (CH)	≤ 1.000	0,189	1
		1.001 – 1.500		2
		1.501 – 2.000		3
		2.001 – 2.500		4
		> 2.500		5
2	Suhu Permukaan (T)	≤ 20 dan > 40	0,109	1
		21 – 25		2
		26 – 30		3
		31 – 35		4
		36 – 40		5
3	Kemiringan Lereng (L)	> 45	0,351	1
		25 – 45		2
		15 – 25		3
		8 – 15		4
		0 – 8%		5
4	Penutup Lahan (TL)	Hutan, Tambak, Badan Air	0,351	1
		Perkebunan, Permukiman		2
		Semak Belukar, Pertanian		3
		Sawah, Padang Rumput		4
		Tanah Terbuka		5

Sumber: Syafitri dkk., 2021.

Selanjutnya dilakukan proses *overlay* yang akan menghasilkan peta baru dengan *polygon* baru dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Ancaman} = (0,189 * CH/5) + (0,109 * T/5) + (0,351 * L/5) + (0,351 * TL/5)$$

Analisis Kerentanan Bencana

Kerentanan adalah kecenderungan suatu wilayah mengalami dampak negatif dari suatu bencana (Amri dkk., 2016). Penyusunan variabel kerentanan bencana angin puting beliung terbagi menjadi 3 variabel, yaitu, yaitu kerentanan sosial, kerentanan ekonomi, dan kerentanan fisik (Tabel 3).

Tabel 3. Pembobotan Variabel Kerentanan

No.	Variabel	Parameter	Sub-parameter	Bobot	Nilai
1	Kerentanan Sosial	Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)	< 500	0,4	1
			500 – 1000		2
			> 1000		3
		Kelompok Rentan (%)	< 20	0,4	1
			20 - 40		2
			> 40		3
2	Kerentanan Ekonomi	Luas Lahan Produktif (Ha)	< 100	0,3	1
			100 – 200		2
			> 200		3
		Kontribusi PDRB/Sektor (Juta)	< Rp 100	0,3	1
			Rp 100 – 300		2
			> Rp 300		3
3	Kerentanan Fisik	Kerentanan Bangunan (unit)	< 500	0,3	1
			500 – 1000		2
			> 1000		3
		Kerentanan Prasarana (unit)	< 10	0,3	1
			10 – 30		2
			> 30		3

Sumber: PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012.

Setelah dilakukan pembobotan pada setiap parameter kerentanan, maka dilakukan perhitungan tingkat kerentanan bencana menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kerentanan} = (0.4 * \text{kerentanan sosial}/6) + (0.3 * \text{kerentanan ekonomi}/6) + (0.3 * \text{kerentanan fisik}/6)$$

Analisis Kapasitas Bencana

Kapasitas merupakan kemampuan sumber daya masyarakat, kelompok, atau organisasi dalam mengurangi dampak bencana (PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012). Kapasitas bencana memiliki 2 variabel yaitu kapasitas sosial dan kapasitas sistem manajemen kebencanaan (Tabel 4).

Tabel 4. Pembobotan Variabel Kapasitas

No.	Variabel	Parameter	Kriteria	Bobot	Nilai
1	Kapasitas Sosial	Jenis Organisasi Penanggulangan Bencana	Organisasi Penanggulangan Bencana Daerah dan Lokal	0,3	3
			Salah satunya		2
			Tidak ada		1
		Keberadaan Kearifan Lokal	Ada dan dilestarikan	0,3	3
			Ada		2
			Tidak ada		1
2	Kapasitas Sistem Manajemen Kebencanaan	Jenis Sistem Peringatan Dini	Sistem peringatan dini otomatis seperti <i>Automatic Weather Station</i>	0,7	3
			Sistem peringatan dini manual seperti kentongan atau pengeras suara di masjid		2
			Tidak memiliki sistem peringatan dini		1
		Jenis Jalur Evakuasi	Sudah dikhususkan sebagai jalur evakuasi bencana	0,7	3
			Masih dipergunakan sebagai jalan umum		2
			Tidak memiliki jalur evakuasi		1
		Jenis Petunjuk Evakuasi	Memiliki petunjuk evakuasi disertai data yang lengkap dan akurat	0,7	3
			Memiliki petunjuk evakuasi		2
			Tidak memiliki petunjuk lokasi		1

No.	Variabel	Parameter	Kriteria	Bobot	Nilai
		Jenis Lokasi	Memenuhi kebutuhan standar hidup seperti tempat untuk istirahat, sarana MCK, dan dapur umum	0,7	3
		Evakuasi	Memiliki lokasi evakuasi namun belum memenuhi kebutuhan standar hidup		2
			Tidak memiliki lokasi evakuasi		1

Sumber: Ganang, 2015.

Perhitungan tingkat kapasitas bencana menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kapasitas} = (0.3 * \text{kapasitas sosial}/6) + (0.7 * \text{kapasitas sistem manajemen kebencanaan}/12)$$

Analisis Risiko Bencana

Penentuan tingkat risiko bencana dipengaruhi oleh ancaman, kerentanan, dan kapasitas. Berikut adalah rumus perhitungan risiko bencana (PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012):

$$\text{Risiko Bencana} = \frac{\text{Bahaya} \times \text{Kerentanan}}{\text{Kapasitas}}$$

Kriteria dan interval skor tingkat risiko di Kota Kendari ditunjukkan oleh perhitungan berikut:

$$\text{Interval} = \frac{\text{Jumlah skor max} - \text{Jumlah skor min}}{\text{jumlah kelas}}$$

Generalisasi dan Interpretasi

Generalisasi adalah penghapusan kedetailan data agar proses pengolahan dan penampilan data lebih cepat pada skala yang lebih kecil. Metode generalisasi peta risiko bencana menggunakan algoritma klasifikasi, simplifikasi, dan simbolisasi. Selanjutnya dilakukan interpretasi peta dengan memberi makna serta menafsirkan isi peta menggunakan simbol (Utami dan Indardi, 2019).

Uji Akurasi

Penilaian akurasi suatu klasifikasi dapat dihitung dari formula *Confusion Matrix* berdasarkan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), pembuat akurasi (*producer's accuracy*), akurasi pengguna (*user accuracy*), dan *coefficient kappa*. Koefisien Kappa didasarkan pada konsistensi penilaian dengan mempertimbangkan semua aspek (Susanti, 2019). Formula *Confusion Matrix* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Formula Confusion Matrix

Confusion Matrix		Data Tes (R)				
		A	B	C	Total	User Accuracy (RA)
Data yang Diklasifikasikan (P)	A	N _{AA}	N _{AB}	N _{AC}	Σ _{AR}	N _{AA} /Σ _{AR} × 100%
	B	N _{BA}	N _{BB}	N _{BC}	Σ _{BR}	N _{BB} /Σ _{BR} × 100%
	C	N _{CA}	N _{CB}	N _{CC}	Σ _{CR}	N _{CC} /Σ _{CR} × 100%
	Total	Σ _{AP}	Σ _{BP}	Σ _{CP}	N	-
	Producer Accuracy (PA)	N _{AA} /Σ _{AP} × 100%	N _{BB} /Σ _{BP} × 100%	N _{CC} /Σ _{CP} × 100%	Overall Accuracy (OA)	$\frac{N_{AA} + N_{BB} + N_{CC}}{N} \times 100\%$
	Error Omission	100 - P _{AA}	100 - P _{AA}	100 - P _{AA}	Kappa	$\frac{N \sum_{j=1}^k N_{jj} - \sum_{j=1}^k N_{jR} N_{jP}}{N^2 - \sum_{j=1}^k N_{jR} N_{jP}}$

Catatan: N = jumlah data; k = jumlah tingkat.

Sumber: Susanti dkk., 2020.

Berdasarkan Tabel 5 maka *Error Omission* ≤ 10% dapat dianggap sebagai hasil yang sangat baik, 10-20% baik, 30-40% sedang, dan >40% buruk. Kemudian, OA ≥ 90%

menunjukkan akurasi yang sangat baik, sementara > 60% menunjukkan pengklasifikasi yang dapat diterima (Ruuska dkk., 2018). Tabel 6 menunjukkan kriteria statistik Kappa.

Tabel 6. Kriteria Statistik Kappa

Statistik Kappa	Kekuatan Akurasi
<0.00	Lemah
0.00 – 0.20	Sedikit
0.21 – 0.40	Cukup
0.41 – 0.60	Sedang
0.61 – 0.80	Kuat
0.81 – 1.00	Hampir Sempurna

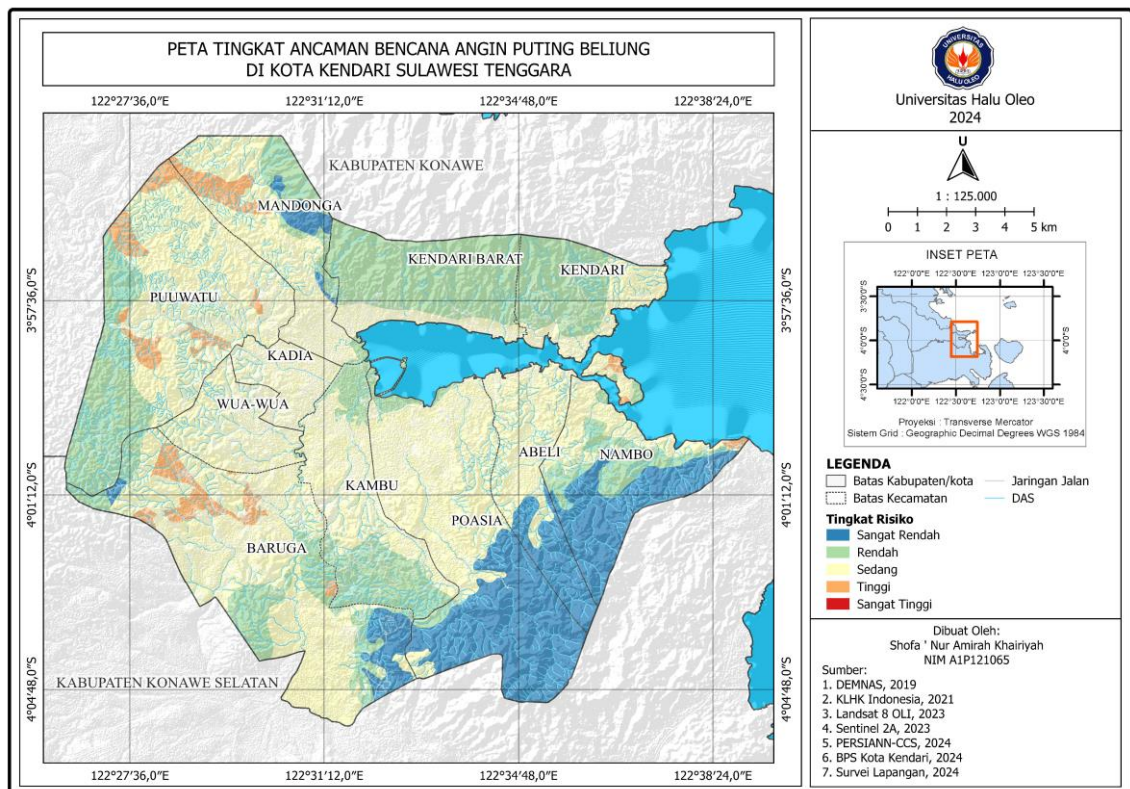
Sumber: Rwanga dan Ndambuki, 2017.

HASIL PENELITIAN

Tingkat Ancaman Bencana

Ancaman bencana angin puting beliung adalah kondisi geografis yang dapat mengakibatkan bencana angin puting beliung.

Analisis ancaman dilakukan melalui *overlay* empat variabel yaitu curah hujan, suhu permukaan, kemiringan lereng, dan penutupan lahan. Peta nilai tingkat ancaman angin puting beliung dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

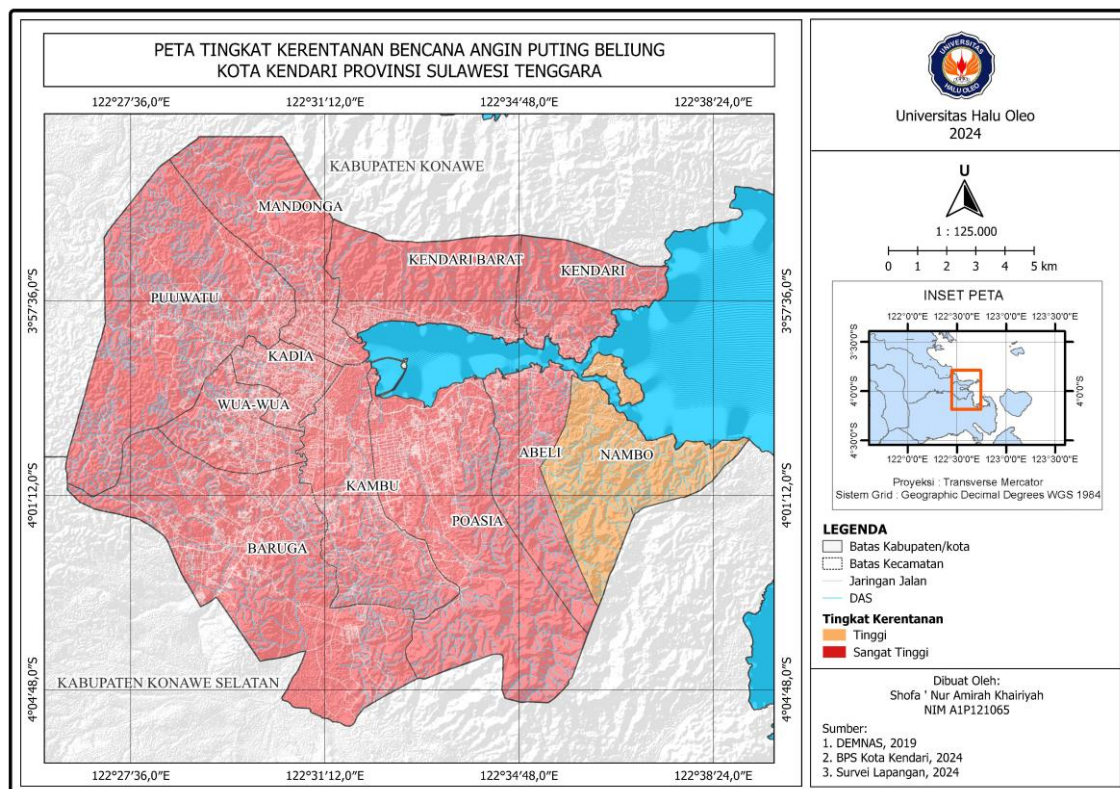


Gambar 4. Peta Tingkat Ancaman Bencana Angin Puting Beliung di Kota Kendari

Berdasarkan Gambar 4, 50,13 % wilayah Kota Kendari memiliki tingkat ancaman sedang, 28,59% memiliki tingkat ancaman tinggi, 15,07% memiliki tingkat ancaman sangat tinggi, dan hanya 6,21% memiliki tingkat ancaman rendah. Tingkat ancaman sedang-tinggi disebabkan oleh curah hujan tinggi, tingkat kemiringan lereng 0-8%, dan suhu permukaan 30-35°C. Tingkat ancaman ini juga didominasi oleh penutupan lahan berupa sawah dan belukar di seluruh kecamatan.

Tingkat Kerentanan Bencana

Kerentanan merupakan suatu kondisi masyarakat yang menyebabkan ketidakmampuan dalam menghadapi bencana angin puting beliung. Analisis kerentanan angin puting beliung menggunakan tingkat kerentanan fisik, kerentanan ekonomi, dan kerentanan sosial. Peta nilai tingkat kerentanan angin puting beliung dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Peta Tingkat Kerentanan Bencana Angin Puting Beliung di Kota Kendari

Berdasarkan Gambar 5 di atas, Kota Kendari memiliki tingkat kerentanan tinggi hingga sangat tinggi terhadap bencana angin puting beliung. Tingkat kerentanan tinggi-sangat tinggi disebabkan tingginya angka kepadatan penduduk, banyaknya jumlah kelompok rentan (orang tua, perempuan, dan anak kecil), tingginya kontribusi PDRB per sektor, serta banyaknya unit bangunan. Tingkat kerentanan ini menimbulkan tingginya angka kerugian apabila terjadi bencana angin puting beliung.

Tingkat Kapasitas Bencana

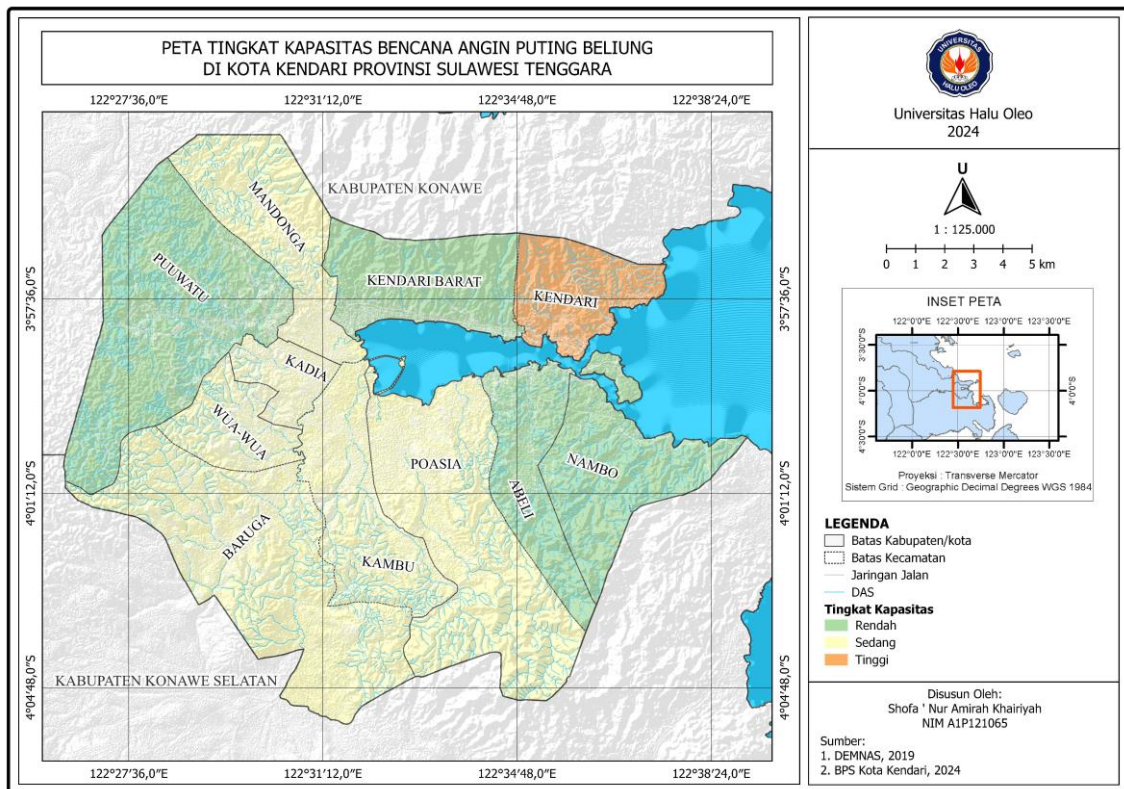
Kapasitas adalah kemampuan daerah untuk melakukan tindakan pengurangan potensi kerugian akibat bencana angin puting beliung. Analisis kapasitas Kota Kendari terhadap angin puting beliung menggunakan dua tingkat kapasitas, yaitu sosial dan sistem manajemen kebencanaan. Peta nilai tingkat kapasitas angin puting beliung dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.

Berdasarkan Gambar 6 di bawah, 6 dari 11 kecamatan di Kota Kendari memiliki tingkat

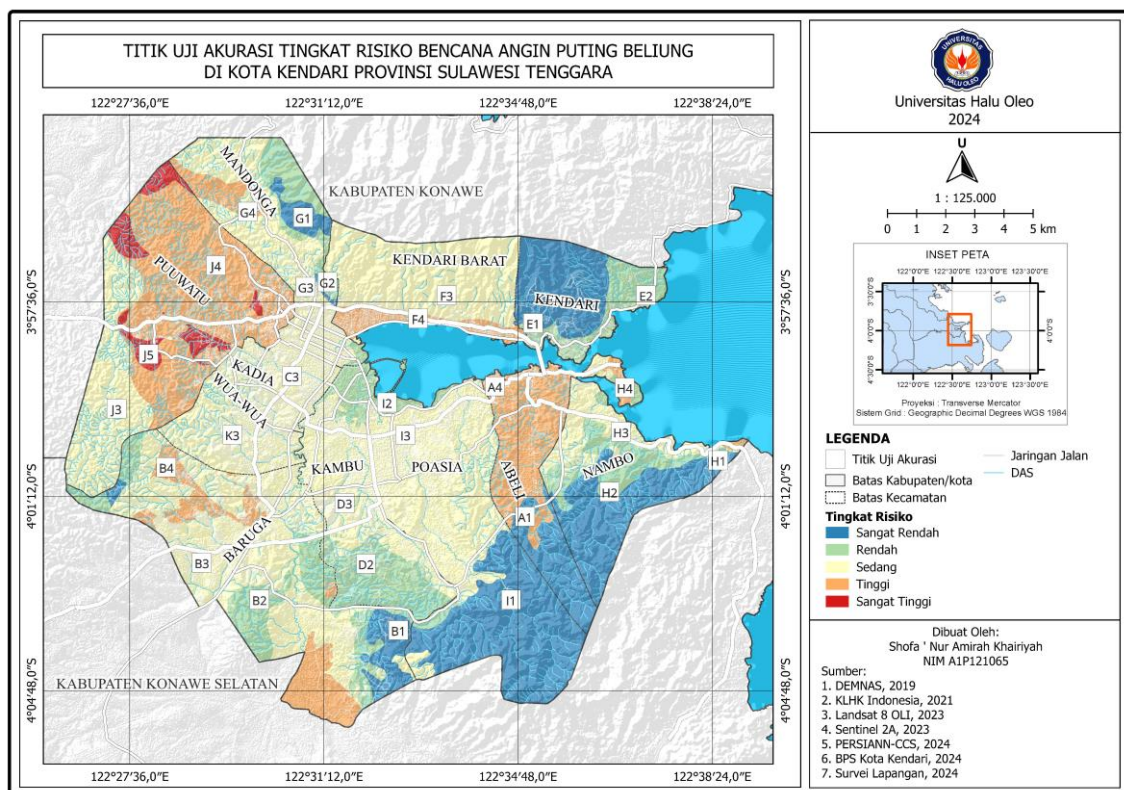
kapasitas sedang dan 3 kecamatan berkapasitas rendah. Tingkat kapasitas rendah tidak memiliki sistem manajemen kebencanaan, yaitu sistem peringatan dini, jalur evakuasi, petunjuk evakuasi, hingga lokasi evakuasi yang disediakan apabila terjadi bencana angin puting beliung. Kemudian, wilayah dengan tingkat kapasitas sedang sudah memiliki beberapa sistem manajemen kebencanaan. Sedangkan wilayah dengan tingkat kapasitas tinggi seperti kecamatan Kendari telah memiliki sistem manajemen kebencanaan yang memadai.

Analisis Risiko Bencana

Risiko bencana angin puting beliung adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana angin puting beliung pada suatu wilayah. Analisis risiko bencana adalah hasil dari *overlay* peta ancaman, kerentanan, dan kapasitas. Peneliti kemudian menginterpretasi dan menggeneralisasi hasil analisis risiko bencana sehingga menghasilkan peta tingkat risiko bencana. Peta tingkat risiko bencana angin puting beliung dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 6. Peta Tingkat Kapasitas Bencana Angin Puting Beliung di Kota Kendari



Gambar 7. Peta Tingkat Risiko Bencana Angin Puting Beliung

Berdasarkan Gambar 7, Kota Kendari memiliki 5 tingkat risiko bencana angin puting beliung. Adapun Tabel 7 menunjukkan

besarnya luas dan persentase risiko bencana angin puting beliung pada setiap tingkatan.

Tabel 7. Tingkat Risiko Bencana Angin Puting Beliung

Tabel 7: Tingkat Risiko Bencana Pungli Pungli Tengah					
Tingkat Risiko		Kecamatan	Luas	Total (ha)	Persentase (%)
5	Sangat Tinggi	Puuwatu	457,38	457,38	1,66
4	Tinggi	Abeli	1131,07	5230,71	18,95
		Baruga	634,1		
		Kendari Barat	337,76		
		Mandonga	295,05		
		Nambo	169,47		
		Puuwatu	2663,26		
3	Sedang	Abeli	369,72	14218,44	51,52
		Baruga	2738,79		
		Kadia	681,79		
		Kambu	1399,42		
		Kendari Barat	1689,11		
		Mandonga	1354,06		
		Nambo	1249,04		
		Poasia	2440,5		
		Puuwatu	1230,94		
		Wua-Wua	1065,07		
2	Rendah	Baruga	1395,35	3514,86	12,74
		Kambu	826,92		
		Kendari	500,72		
		Mandonga	403,57		
		Nambo	328,9		
		Poasia	59,4		
1	Sangat Rendah	Abeli	132,54	4176,77	15,13
		Baruga	309,4		
		Kendari	926,29		
		Mandonga	169,02		
		Nambo	846,58		
		Poasia	1792,94		
		Total		27598,16	100

Sumber: Hasil Analisis Data Primer, 2024.

Berdasarkan Tabel 7, wilayah Kota Kendari dominan berada pada tingkat risiko sedang sebanyak 51,52%, tingkat risiko tinggi sebanyak 18,95%, tingkat risiko sangat rendah sebanyak 15,13%, tingkat risiko rendah sebanyak 12,74%, dan tingkat risiko sangat tinggi sebanyak 1,16% dari total luas wilayah Kota Kendari.

Berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 7, sebaran tingkat risiko bencana angin puting beliung Kota Kendari adalah sebagai berikut:

1. Daerah-daerah dengan risiko sangat tinggi bencana angin puting beliung berada di sebagian wilayah Kec. Puuwatu. Wilayah ini memiliki lereng yang datar-landai dan tutupan terbuka. Kemudian tingkat kerentanan yang tinggi serta kapasitas yang masih rendah berkontribusi meningkatkan angka risiko bencana angin puting beliung di wilayah ini.
2. Daerah-daerah dengan risiko tinggi bencana angin puting beliung tersebar di sebagian wilayah Kec. Abeli, Kec. Baruga, Kec. Kendari Barat, Kec. Mandonga, Kec. Nambo, Kec. dan Kec. Puuwatu. Wilayah ini memiliki lereng yang datar-landai dan jarang bervegetasi lebat. Kemudian tingkat kapasitas berada pada tingkat sedang membuat risiko wilayah ini sedikit lebih rendah dari tingkat sangat tinggi.
3. Daerah-daerah yang tergolong memiliki risiko sedang akan bencana angin puting beliung tersebar di sebagian wilayah Kec. Abeli, Kec. Kambu, Kec. Kendari Barat, Kec. Mandonga, Kec. Nambo, Kec. Poasia, Kec. Puuwatu, dan Kec. Baruga, serta seluruh wilayah Kec. Kadia dan Kec. Wua-Wua. Wilayah ini memiliki lereng yang datar-landai dan jarang bervegetasi lebat, serta mencakup sebagian permukiman.

- Kemudian tingkat kapasitas sedang membuat risiko wilayah ini sedikit lebih rendah dari tingkat tinggi.
- Daerah-daerah yang tergolong memiliki risiko rendah akan bencana angin puting beliung tersebar di sebagian wilayah Kec. Baruga, Kec. Kambu, Kec. Kendari, Kec. Mandonga, Kec. Nambo, dan Kec. Poasia. Tidak jauh berbeda dengan tingkat risiko sangat rendah, daerah-daerah ini juga tingkat kerentanan dan ancaman yang tinggi. Namun, lahan yang dominan bervegetasi dan suhu udara rendah mengurangi tingkat risiko bencana angin puting beliung. Namun terdapat beberapa wilayah pemukiman serta kapasitas yang belum tinggi, sehingga wilayah ini memiliki tingkat risiko yang sedikit lebih tinggi dari tingkat sangat rendah.
 - Daerah-daerah yang tergolong memiliki risiko sangat rendah akan bencana angin puting beliung tersebar di sebagian wilayah Kec. Abeli, Kec. Baruga, Kec. Kendari,

Kec. Mandonga, Kec. Nambo, Kec. Poasia, dan sebagian besar wilayah Kec. Kendari. Daerah ini memiliki komponen kapasitas yang sudah termasuk sedang-tinggi. Selain itu, penggunaan lahan yang dominan bervegetasi dan suhu udara rendah juga mengurangi tingkat risiko bencana.

Uji Akurasi

Uji akurasi data risiko bencana menggunakan pengukuran *Overall Accuracy* dan Kappa dengan skala 5×5. Banyaknya tingkat risiko bencana pada tiap kecamatan menentukan banyak titik uji akurasi. Berdasarkan Tabel 7, jumlah titik uji akurasi risiko bencana angin puting beliung yaitu sebanyak 28 titik uji akurasi. Titik uji akurasi memiliki kode A (tingkat risiko sangat tinggi), B (tinggi), C (sedang), D (rendah), dan E (sangat rendah). Tabel 8 menunjukkan tabulasi uji akurasi peta risiko bencana angin puting beliung Kota Kendari.

Tabel 8. Uji Akurasi Peta Risiko Bencana

Confusion Matrix		Peta Risiko Bencana Angin Puting Beliung					Total	User Accuracy	Error Commision
		A	B	C	D	E			
Uji Akurasi di Lapangan	A	4	0	0	0	0	4	100%	0%
	B	2	5	0	0	0	7	71,4%	28,6%
	C	0	1	7	2	0	10	70%	30%
	D	0	0	2	4	0	6	66,6%	33,3%
	E	0	0	0	0	1	1	100%	0%
	Total	6	6	9	6	1	28	-	-
Producer Accuracy		66,6%	83,3%	77,7%	66,6%	100%	Overall Accuracy		75%
Error Ommision		33,3%	16,6%	22,2%	33,3%	0%	Kappa		0,67

Sumber: Hasil Analisis Data Primer, 2024.

Berdasarkan Tabel 8, peta risiko bencana angin puting beliung Kota Kendari memiliki nilai Kappa 0,67 yang menunjukkan kekuatan akurasi peta kuat. Kemudian, *Error Ommision* setiap tingkat juga tidak >40%, yang berarti tingkat kesalahan pada peta termasuk sedang dan dapat diterima. *Error Ommision* dapat disebabkan oleh data yang tidak terbaru, hasil wawancara yang keliru, atau kesalahan pada pembacaan data.

PEMBAHASAN

Angin puting beliung merupakan salah satu bencana yang terjadi di Kota Kendari (BNPB, 2023). Berdasarkan data hasil

penelitian, wilayah tinggi ancaman bencana angin puting beliung di Kota Kendari memiliki kelerengan 0-8%. Tutupan terbuka, serta curah hujan >2500mm/tahun menambah ancaman angin puting beliung di Kota Kendari. Fadillah (2019) juga menemukan hal yang serupa. Wilayah rawan bencana memiliki kelerengan 0-8% dengan suhu permukaan antara 30°-35°C. Tidak hanya itu, wilayah ini didominasi oleh jenis tutupan lahan yang cukup terbuka seperti persawahan.

Ancaman bencana yang tinggi dapat menimbulkan kerugian yang lebih tinggi apabila tingkat kerentanan bencana juga tinggi. Tingkat kerentanan di Kota Kendari berada

pada tingkat tinggi hingga sangat tinggi. Wilayah tinggi kerentanan bencana memiliki kepadatan penduduk >1000 jiwa/km² dan persentase kelompok rentan (orang tua, perempuan, dan anak kecil) $>40\%$. Luas lahan produktif >200 ha serta bangunan yang >1000 unit menambah tingkat kerentanan bencana di Kota Kendari. Lebih lanjut, Fadillah (2019) menyatakan bahwa kepadatan penduduk tanpa pengendalian pemanfaatan ruang dapat meningkatkan kerentanan terhadap bencana angin puting beliung.

Kerugian akibat tingginya tingkat ancaman dan kerentanan dapat dikurangi dengan peningkatan tingkat kapasitas. Berdasarkan data hasil penelitian, Kota Kendari memiliki tingkat kapasitas rendah hingga sedang karena kurangnya sistem manajemen kebencanaan angin puting beliung. Sistem ini termasuk jalur evakuasi yang masih menggunakan jalan umum dan fasilitas pada lokasi evakuasi yang kurang. Alat peringatan dini yang masih manual dan belum adanya organisasi masyarakat lokal khusus bencana juga menjadi faktor kurangnya kapasitas. Hal ini sesuai dengan penelitian Ganang (2015) bahwa wilayah kapasitas rendah dicirikan dengan wilayah yang memiliki alat peringatan non-sensor dan jalur evakuasi yang belum dikhususkan sebagai jalur evakuasi bencana. Keberadaan petunjuk evakuasi yang tidak rinci serta lokasi evakuasi yang belum memenuhi kebutuhan standar hidup juga berpengaruh pada tingkat kapasitas.

Berdasarkan tingkat ancaman, kerentanan, dan kapasitas, wilayah Kota

Kendari dominan sedang hingga tinggi risiko bencana angin puting beliung. Risiko tinggi disebabkan karena tingkat kapasitas bencana yang rendah dan tingkat bahaya yang tergolong sedang hingga tinggi meskipun pada kerentanannya tergolong rendah hingga sedang. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Fadillah (2019) bahwa daerah tersebut belum memahami bagaimana cara menghadapi dan menurunkan tingkat bahaya angin puting beliung.

Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana adalah upaya berkelanjutan yang dilakukan oleh individu, kelompok dan seluruh lapisan masyarakat untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan bencana (BNPB, 2023). Mitigasi angin puting beliung melalui analisis risiko harus meminimalkan tingkat ancaman dan kerentanan serta meningkatkan kapasitas bencana (Aji dkk., 2022).

Berdasarkan analisis risiko bencana angin puting beliung, sebanyak 87,57% wilayah Kota Kendari termasuk dalam daerah sedang-sangat tinggi risiko bencana angin puting beliung. Sebagai usaha untuk meminimalisir kerugian akibat angin puting beliung, perlu dilakukan mitigasi bencana. Upaya mitigasi dapat diselenggarakan secara struktural melalui aspek infrastruktur, maupun non-struktural melalui aspek vegetasi, kelembagaan, dan kebijakan sesuai tingkatan risiko angin puting beliung. Mitigasi bencana angin puting beliung berdasarkan tingkat risiko disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Mitigasi Bencana Angin Puting Beliung berdasarkan Tingkat Risiko

Tingkat Risiko	Aspek	Mitigasi Bencana
Sangat Tinggi	Infrastruktur	Pembuatan bangunan umum sebagai tempat penampungan sementara saat terjadi serangan angin puting beliung. Pengamanan/penguatan fasilitas publik yang mudah diterbangkan angin. Pengadaan sarana pra-sarana peringatan dini modern.
	Vegetasi	Pemangkasan cabang-cabang pohon tinggi atau tua untuk mengurangi korban ketika bencana. Mengadakan penghijauan sehingga udara tidak terlalu panas dan tidak terjadi perbedaan panas sebagai sumber angin puting beliung.
	Kelembagaan	Membentuk lembaga penanggulangan bencana daerah dan lokal. Sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat sekitar tentang bencana angin puting beliung persiapan perlengkapan darurat bencana. Mengamati kondisi cuaca secara rutin.

Tingkat Risiko	Aspek	Mitigasi Bencana
Tinggi	Kebijakan	Menyediakan informasi dan peta bencana cuaca yang dapat diakses masyarakat.
		Larangan pembangunan gedung-gedung penting seperti industri atau pabrik, fasilitas umum dan bangunan. Penerapan aturan standar bangunan yang memperhitungkan beban angin dan keamanan material (atap rumah berbahan cor, kuda-kuda beton, serta kolom beton berulang).
	Infrastruktur	Memperkuat struktur bangunan dan infrastruktur lingkungan. Membangun jalur evakuasi yang dapat memudahkan kegiatan evakuasi pada lokasi-lokasi rawan angin puting beliung. Pengadaan sarana pra-sarana peringatan dini tradisional dan/atau modern.
	Vegetasi	Pemangkasan cabang-cabang pohon tinggi atau tua untuk mengurangi korban ketika bencana angin puting beliung. Mengadakan penghijauan sehingga udara tidak terlalu panas dan tidak terjadi perbedaan panas sebagai sumber angin puting beliung.
	Kelembagaan	Membentuk lembaga penanggulangan bencana daerah dan lokal. Sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat sekitar tentang bencana angin puting beliung. Mengamati kondisi cuaca secara rutin. Menyediakan informasi dan peta bencana cuaca yang dapat diakses masyarakat.
Sedang	Kebijakan	Larangan pembangunan gedung-gedung penting seperti industri atau pabrik, fasilitas umum dan bangunan. Penerapan aturan standar bangunan yang memperhitungkan beban angin dan keamanan material.
	Infrastruktur	Memperkuat struktur bangunan dan infrastruktur lingkungan. Membangun jalur evakuasi yang dapat memudahkan kegiatan evakuasi. Pengadaan sarana pra-sarana peringatan dini tradisional dan/atau modern.
	Vegetasi	Pemangkasan cabang-cabang pohon tinggi atau tua untuk mengurangi korban ketika bencana. Mengadakan penghijauan sehingga udara tidak terlalu panas dan tidak terjadi perbedaan panas sebagai sumber angin puting beliung.
	Kelembagaan	Membentuk lembaga penanggulangan bencana daerah dan/atau lokal. Sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat sekitar tentang bencana angin puting beliung. Mengamati kondisi cuaca secara rutin. Menyediakan informasi dan peta bencana cuaca yang dapat diakses masyarakat.
	Kebijakan	Pembatasan pembangunan gedung-gedung penting seperti industri atau pabrik, fasilitas umum dan bangunan. Penerapan aturan standar bangunan yang memperhitungkan beban angin dan keamanan material.
Rendah	Infrastruktur	Pengadaan sarana pra-sarana peringatan dini tradisional dan/atau modern.
	Vegetasi	Mengadakan penghijauan sehingga udara tidak terlalu panas dan tidak terjadi perbedaan panas sebagai sumber angin puting beliung.
	Kelembagaan	Sosialisasi dan memprakarsai dibentuknya kelompok-kelompok masyarakat yang ikut berperan mengelola dan menjaga kawasan vegetasi. Mengamati kondisi cuaca secara rutin.

Tingkat Risiko	Aspek	Mitigasi Bencana
Sangat Rendah	Kebijakan	Menyediakan informasi dan peta bencana cuaca yang dapat diakses masyarakat.
		Penempatan lokasi pembangunan fasilitas yang penting pada daerah rendah risiko angin puting beliung. Membatasi pembangunan agar tidak mengakibatkan perubahan tutupan lahan.
	Infrastruktur	Pengadaan sarana pra-sarana peringatan dini tradisional dan/atau modern.
	Kelembagaan	Sosialisasi dan memprakarsai dibentuknya kelompok-kelompok masyarakat yang ikut berperan mengelola dan menjaga kawasan vegetasi. Mengamati kondisi cuaca secara rutin.
		Menyediakan informasi dan peta bencana cuaca yang dapat diakses masyarakat.
	Kebijakan	Menyediakan informasi dan peta bencana cuaca yang dapat diakses masyarakat. Membatasi pembangunan agar tidak mengakibatkan perubahan tutupan lahan.

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder, 2024.

Berdasarkan Tabel 9 menunjukkan kesesuaian dengan penelitian Dinata dan Dhiniati (2019) yang menjelaskan bahwa mitigasi pada wilayah risiko tinggi lebih difokuskan pada sumber bahaya itu sendiri. Mitigasi dilakukan dengan menyosialisasikan daerah yang terdampak bencana, menghindari pembangunan permukiman, dan tindakan konservasi penanaman pohon. Selain tindakan pencegahan, tindakan untuk pengurangan kerentanan dan peningkatan kapasitas masyarakat dapat dilakukan dengan kegiatan mitigasi struktural. Pemerintah dapat membangun prasarana fisik seperti pembuatan jalur evakuasi dan penerapan teknologi untuk mendeteksi perubahan cuaca.

Kegiatan mitigasi non-struktural dapat berupa kebijakan-kebijakan pemerintah dalam rangka pencegahan, pengurangan, dan peningkatan kapasitas bencana angin puting beliung. Pendekatan pendidikan berbasis kebencanaan menjadi elemen penting untuk mendukung keberhasilan mitigasi bencana, yang dapat diimplementasikan pada berbagai tingkatan risiko. Pendidikan kebencanaan dapat dilakukan melalui integrasi kurikulum sekolah, program simulasi bencana, peningkatan literasi kebencanaan berbasis kearifan lokal, dan melibatkan guru sebagai agen mitigasi.

Materi tentang mitigasi angin puting beliung dapat diintegrasikan ke dalam pelajaran IPS atau Geografi di sekolah

menengah. Modul pembelajaran dapat mencakup pengenalan risiko, tanda-tanda awal angin puting beliung, dan langkah-langkah mitigasi. Sekolah di wilayah rawan dapat menyelenggarakan simulasi evakuasi sebagai bagian dari program kesiapsiagaan. Simulasi ini melibatkan siswa dan masyarakat sekitar untuk memahami jalur evakuasi dan langkah-langkah darurat.

Edukasi masyarakat dengan memanfaatkan istilah lokal yang lebih mudah dipahami. Wibowo dkk (2020) menemukan bahwa "angin lesus" di Jawa Tengah. Pengetahuan ini dapat dikombinasikan dengan informasi ilmiah melalui pelatihan dan diskusi kelompok. Guru dapat berperan sebagai fasilitator edukasi kebencanaan dengan menyediakan materi pembelajaran berbasis geospasial. Guru juga dapat mengarahkan siswa untuk menggunakan peta risiko bencana dalam memahami lokasi-lokasi rawan angin puting beliung.

Kegiatan mitigasi bencana non-struktural dapat diperluas dengan kebijakan yang melibatkan sektor pendidikan seperti pembuatan pedoman mitigasi bencana untuk sekolah yang disusun secara nasional dan lokal, penyelenggaraan pelatihan kebencanaan bagi guru untuk meningkatkan kemampuan dalam menyampaikan literasi bencana, kolaborasi antara lembaga pendidikan dan lembaga penanggulangan bencana dalam menyebarkan informasi risiko bencana. Hal ini sesuai dengan Badan Nasional

Penanggulangan Bencana (2023) yang telah mengembangkan modul pelatihan untuk penyusunan Rencana Penanggulangan Keadaan Darurat Bencana di sekolah. Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nasional menilai kapasitas bencana dapat meningkat dengan memberikan panduan komprehensif bagi satuan pendidikan dalam menghadapi potensi bencana. Implementasi program ini telah menunjukkan hasil positif. Sebagai contoh, penerapan modul pendidikan mitigasi bencana berupa permainan di sekolah dasar oleh Utami dan Mustari (2020) mampu meningkatkan pemahaman siswa tentang langkah-langkah evakuasi dan penanggulangan bencana secara signifikan.

KESIMPULAN

Hasil analisis risiko bencana angin puting beliung yaitu Kota Kendari memiliki 5 tingkat risiko, yakni sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah. Wilayah berisiko sangat tinggi seluas 5.032,03 ha (18,7%) dengan lereng yang datar-landai, tutupan terbuka, serta tingkat kerentanan tinggi. Wilayah berisiko tinggi seluas 5.360,83 ha (19,92%) dengan lereng yang datar-landai, jarang bervegetasi lebat, serta tingkat kerentanan tinggi. Wilayah berisiko sedang seluas 13.176,42 ha (48,95%) dengan lereng yang datar-landai, jarang bervegetasi lebat, dan kapasitas rendah-sedang. Wilayah berisiko rendah seluas 3.195,01 ha (11,87%) dengan vegetasi sedang-lebat, suhu udara rendah, dan kapasitas rendah-sedang. Wilayah berisiko sangat rendah seluas 151, 853 ha (0,56%) dengan vegetasi sedang-lebat, suhu udara rendah, dan kapasitas sedang-tinggi.

Rencana mitigasi bencana angin puting beliung dapat dilakukan pada setiap kawasan risiko bencana di Kota Kendari. Mitigasi pada wilayah risiko sangat tinggi hingga tinggi diprioritaskan pada pelarangan pembangunan, peningkatan sistem manajemen kebencanaan, serta tindakan konservasi. Mitigasi pada wilayah risiko sedang diprioritaskan pada penerapan aturan standar bangunan yang memperhitungkan beban angin dan keamanan material. Mitigasi pada wilayah risiko rendah hingga sangat rendah diprioritaskan pada pembatasan pembangunan agar tidak mengakibatkan alih fungsi lahan.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijabarkan, maka penulis dapat merekomendasikan beberapa hal yaitu sebagai berikut: 1) bagi masyarakat di wilayah risiko sedang hingga tinggi risiko bencana angin puting beliung, diharapkan melakukan mitigasi mandiri. Mitigasi dilakukan dengan memperkuat komponen bangunan rumah seperti atap rumah dan menebang pohon yang sudah rapuh disekitar permukiman; 2) bagi pemerintah, informasi sebaran risiko bencana angin puting beliung dapat dijadikan dasar dalam mempertimbangkan dan menentukan wilayah prioritas mitigasi bencana. Wilayah ini salah satunya memiliki kepadatan penduduk tinggi dan tingkat bahaya angin puting beliung yang tinggi; dan 3) bagi penelitian lanjutan terkait variabel kerentanan dan kapasitas bencana angin puting beliung, dapat menambahkan variabel yang berbeda. Peneliti berharap mengetahui indikator-indikator lainnya yang dapat mengurangi kerentanan maupun meningkatkan kapasitas bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada jurusan/program studi Pendidikan Geografi Universitas Halu Oleo selaku pelaksana seminar nasional bertajuk “Integrasi Kebijakan Pendidikan, Pengetahuan Geografi, dan Pendidikan Geografi dalam Menghadapi Bencana: Menyelamatkan Masa Depan”. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Andrias, S.Pd., M.Pd., selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Tahir, S.Pd., M.Si., selaku pembimbing II, teman sejawat, yang telah memberikan berbagai bantuan untuk penulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim *reviewers* dan editor Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, L. J., Meiliasari, D. P., Apriyadi, R. K., Maarif, S., Sumantri, S. H., dan Wilopo, W. (2022). Kapasitas Pengurangan Risiko Bencana Multi-hazard Pemerintah Kabupaten Pidie Jaya Guna Mendukung Keamanan Nasional. *PENDIPA Journal of Science Education*, 6(1), 64–72.
- Aldiansyah, S., dan Wardani, F. (2023).

- Analisis Spasio-Temporal Fenomena Urban Heat Island dan Hubungannya Terhadap Aspek Fisik di Kota Makassar (1993-2021). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 24(1), 1-11.
- Amri, Mohd. R., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., Adi, A. W., Ichwana, A. N., Randongkir, R. E., dan Septian, R. T. (2016). *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Aslamsyah, A. F., Pranoto, Y. A., dan Prasetya, R. P. (2020). Sistem Informasi Geografis Daerah Hortikultura (Sayuran) Kabupaten Malang. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 4(2), 37-43.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB]. (2015). *Petunjuk Teknis Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana Daerah Tingkat Kabupaten*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB]. (2023). Data Informasi Bencana Indonesia. http://bnpb.cloud/dibi/xdibi_list (Diakses 5 Maret 2024)
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2023). Kota Kendari dalam Angka tahun 2023. <https://kendarikota.bps.go.id/publication/2023/02/28/07a75f2275f1c4aa06ccc9d1/kota-kendari-dalam-angka-2023.html> (Diakses 20 Maret 2024).
- Budjang, A. F. (2021). Kajian Risiko dan Mitigasi Bencana Pada Kawasan Wisata Pesisir Kabupaten Takalar (Studi Kasus: Kecamatan Mangarabombang). *Skripsi*. Universitas Hasanuddin, Makassar. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/4646/> (Diakses 15 Maret 2024).
- Destiana, M. (2023). Pemetaan Tingkat Ancaman Angin Puting Beliung Berbasis Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh di Kabupaten Bandung Bagian Timur. *Skripsi*, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Dinata, A., dan Dhiniati, F. (2019). Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Sebagai Upaya Mitigasi di Kota Pagar Alam. *Bearing : Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(1), 46-52.
- Fadillah, A. Y. (2019). Analisis Tingkat Risiko Bencana Angin Puting Beliung Memanfaatkan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kota Semarang. *Skripsi*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta. <https://eprints.ums.ac.id/71987/13/NASKAH%20PUBLIKASI.pdf> (Diakses, 10 Maret 2024).
- Ganang, H. A. (2015). Analisis Risiko Bencana Erupsi Gunungapi Sundoro di Kecamatan Ngadirejo Kabupaten Temanggung. *Skripsi*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta. <https://eprints.uny.ac.id/18462/> (Diakses, 25 Februari 2024).
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2019). Konservasi Perairan Sebagai Upaya Menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Indonesia. <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia> (Diakses, 1 April 2024)
- Nurhijriah, L., Ruhiyat, Y., Saefullah, A., dan Rostikawati, D. A. (2022). Pemetaan Distribusi Curah Hujan Rata-Rata Menggunakan Metode Isohyet di Wilayah Kabupaten Tangerang. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(2), 46-55.
- Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana [PERKA BNPB] Nomor 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
- Ruuska, S., Hämäläinen, W., Kajava, S., Mughal, M., Matilainen, P., dan Mononen, J. (2018). Evaluation of The Confusion Matrix Method in The Validation of An Automated System for Measuring Feeding Behaviour of Cattle. *Behavioural Processes*, 148(4), 56-62.
- Rwanga, S. S., dan Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(4), 611-622.
- Suryani, J. T., Rahaningsih, N., dan Dana, R. D. (2024). Penerapan Asosiasi untuk Menganalisa Penjualan Barang Menggunakan Algoritma Fp-Growth. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 3435-3440.
- Susanti, Y., Syafrudin, dan Helmi, M. (2020). Analisa Perubahan Penggunaan Lahan

- di Daerah Aliran Sungai Serayu Hulu dengan Pengginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 13(1), 23-30.
- Syafitri, A. N., Maru, R., dan Invanni, I. (2021). Analisis Tingkat Bahaya Bencana Angin Puting Beliung Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Sidenreng Rappang. *Jurnal Environmental Science*, 3(2), 127-139.
- Tahir. (2024). *Mitigasi dan Gerakan Massa Batuan Pada Lahan Eks Tambang di Sulawesi Tenggara Menggunakan Data Pengindraan Jauh*. Makassar: Universitas Negeri Makassar.
- Taufik, M., Kurniawan, A., dan Putri, A. R. (2016). Identifikasi Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan SIG (Sistem Informasi Geografis). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 78-82.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.
- Utami, S. D., dan Mustari, H. (2020). PERUT SINCAN (Snakes and Ladders Game of Disaster Mitigation) as a Disaster Education Learning Medium. In *Social, Humanities, and Educational Studies (SHEs): Conference Series*, 3(1).76-82.
- Utami, W., dan Indardi, I. G. (2019). *Kartografi: Modul Teori PPK-1202/2 SKS/ACARA I-V*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional.
- Wibowo, Y. A., Dewi, R. P., Ronggowulan, L., Anjarsari, R. Y., dan Miftakhunisa, Y. (2020). Penguatan Literasi Mitigasi Bencana Angin Puting Beliung untuk Peningkatan Kapasitas Masyarakat Desa Munggur, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. *Warta LPM*, 23(2), 165–179.
- World Meteorological Organization. (2017). WMO No 1203: WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. In WMO-No. 1203 (Issue 1203).
- Yunus, S. R. (2023). 435 Rumah di Kendari Rusak Diterjang Angin Kencang. <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2023/03/08/435-rumah-di-kendari-rusak-diterjang-angin-kencang> (Diakses, 15 November 2024).