

PEMETAAN KERENTANAN EKOLOGI DAN SOSIAL TERHADAP BENCANA ERUPSI GUNUNG SORIK MARAPI DI KABUPATEN MANDAILING NATAL BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Zahara Hasanah Siregar^{*)}, Arwan Putra Wijaya, Abdi Sukmono

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : zaharahasanah01@gmail.com

ABSTRAK

Erupsi gunung api merupakan salah satu bencana yang dihasilkan dari aktivitas gunung api aktif. Seperti halnya di Indonesia, ada beberapa kasus erupsi di berbagai wilayah. Salah satunya adalah gunung Sorik Marapi di Kabupaten Mandailing Natal. Pusat Vulkanologi dan Manajemen Bencana Geologi (PVMBG) mendeteksi adanya pergerakan pada Gunung Sorik Marapi yaitu gempa vulkanik sebanyak 146 kali pada September 2022, tetapi belum ada peningkatan tekanan secara visual. Dalam penelitian ini, parameter yang dianalisis yaitu kerentanan sosial dan kerentanan ekologi. Data variabel yang diperoleh dilakukan pembobotan, scoring, dan overlay berbasis Sistem Informasi Geografis. Selain itu, data citra SPOT-7 juga digunakan sebagai dasar perhitungan luas kawasan parameter kerentanan ekologi dengan metode digitasi on-screen. Pembuatan peta kerentanan mengacu pada PERKA BNPB Nomor 2 Tahun 2022. Berdasarkan pengolahan, didapatkan hasil untuk peta kerentanan ekologi didominasi oleh kelas rendah yaitu sebesar 95% dari luas penelitian atau sekitar 4.772,8 ha dari 5024 ha. Kemudian untuk daerah yang memiliki kerentanan ekologi tingkat sedang adalah sekitar 5% dari luas daerah penelitian yaitu 5.024 ha atau sekitar 251, ha. Kemudian untuk peta kerentanan sosial didominasi oleh kelas rendah yaitu sebesar 85% dari luas daerah penelitian, yaitu sekitar 4.270,4 ha dari 5024 ha. Kemudian untuk daerah yang memiliki kerentanan sosial tingkat sedang adalah sekitar 15% dari luas daerah penelitian yaitu 5.024 ha atau sekitar 753,6 ha..

Kata Kunci: AHP, Erupsi, Kerentanan, SIG

ABSTRACT

Volcanic eruptions are one of the disasters resulting from active volcanic activity. As is the case in Indonesia, there have been several cases of eruptions in various regions. One of them is Mount Sorik Marapi in Mandailing Natal Regency. The Center for Volcanology and Geological Disaster Management detected movement on Mount Sorik Marapi, namely 146 volcanic earthquakes in September 2022, but there was no visual increase in pressure. In this research, the parameters analyzed are social vulnerability and environmental vulnerability. The variable data obtained was weighted, scored, and overlaid based on the Geographic Information System. Apart from that, SPOT-7 image data is also used as a basis for calculating the area of environmental vulnerability parameters using the on-screen digitization method. The creation of the vulnerability map refers to PERKA BNPB Number 2 of 2022. Based on processing, the results obtained for the environmental vulnerability map are dominated by the low class, namely 95% of the research area or around 4,772.8 ha out of 5024 ha. Then for areas that have a moderate level of environmental vulnerability, this is around 5% of the research area, namely 5,024 ha or around 251 ha. Then the social vulnerability map is dominated by the low class, namely 85% of the research area, which is around 4,270.4 ha out of 5024 ha. Then for areas that have a moderate level of social vulnerability, this is around 15% of the research area, namely 5,024 ha or around 753.6 ha.

Keywords: AHP, Eruption, GIS, Vulnerability

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Erupsi gunung api merupakan salah satu bencana yang dihasilkan dari aktivitas gunung api aktif. Seperti halnya di Indonesia, ada beberapa kasus erupsi di berbagai wilayah. Salah satunya adalah gunung Sorik Marapi di Kabupaten Mandailing Natal.

Pusat Vulkanologi dan Manajemen Bencana Geologi (PVMBG) mendeteksi adanya pergerakan pada Gunung Sorik Marapi yaitu gempa vulkanik sebanyak 146 kali pada September 2022, tetapi belum ada peningkatan tekanan secara visual. Peningkatan aktivitas di gunung Sorik Marapi menyebabkan PVMBG merekomendasikan masyarakat untuk tidak mendekati kawah dalam jarak dekat sebagai salah satu langkah mitigasi bencana erupsi gunung api.

Dalam penelitian ini, parameter yang dianalisis yaitu kerentanan sosial dan kerentanan ekologi. Kerentanan sosial dan kerentanan ekologi diangkat sebagai topik penelitian karena area penelitian masih didominasi oleh hutan sehingga tidak ada fasilitas umum ataupun fasilitas kritis yang ditemukan di daerah penelitian. Selain itu, area penelitian merupakan area konservasi sehingga sulit untuk mendapatkan data luas lahan produktif dan kontribusi PDRB per sektor, yang merupakan parameter dari kerentanan ekonomi dan kerentanan fisik. Oleh karena itu, berdasarkan data-data yang telah tersedia, kerentanan ekologi dan kerentanan sosial merupakan topik yang sesuai dengan area penelitian.

Pada penelitian ini, data variabel yang diperoleh dilakukan pembobotan, *scoring*, dan *overlay* berbasis Sistem Informasi Geografis. Selain itu, data citra SPOT-7 juga digunakan sebagai dasar perhitungan luas kawasan parameter kerentanan ekologi dengan metode digitasi *on-screen*. Berdasarkan deskripsi di atas telah dijelaskan mengenai permasalahan awal yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Selain itu telah dijelaskan juga mengenai metode serta data yang diperlukan untuk mendapatkan hasil analisis dari kerentanan ekologi dan kerentanan sosial bencana erupsi gunung Sorik Marapi. Secara tidak langsung, penelitian ini dapat memberikan wawasan untuk meminimalisir besarnya kerugian dan dampak bencana erupsi. Selain itu, peta kerentanan bencana erupsi Gunung Sorik Marapi dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah setempat beserta para *stakeholder* dalam menangani bencana jika terjadi bencana erupsi Gunung Sorik Marapi.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil analisis spasial kerentanan ekologi terhadap bencana erupsi Gunung Sorik Marapi dengan metode SIG?
2. Bagaimana hasil analisis spasial kerentanan sosial terhadap bencana erupsi Gunung Sorik Marapi dengan metode SIG?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui hasil analisis spasial dan memperoleh peta kerentanan ekologi terhadap bencana erupsi Gunung Sorik Marapi.
 2. Untuk mengetahui hasil analisis spasial dan memperoleh peta kerentanan sosial terhadap bencana erupsi Gunung Sorik Marapi.
- Manfaat penelitian ini ialah:

1. Segi Keilmuan
Manfaat penelitian ini dari aspek keilmuan adalah pengolahan berbasis SIG terhadap data tutupan lahan dan data sekunder lainnya. Data-data tersebut digunakan untuk memperoleh tingkat kerentanan bencana erupsi pada Gunung Sorik Marapi.
2. Segi Kerekayasaan
Manfaat penelitian ini dari aspek kerekayasaan adalah hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai referensi bagi pemerintah setempat dan BNPB dalam perencanaan mitigasi bencana Gunung Sorik Marapi.

I.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di Kabupaten Mandailing Natal dengan area penelitian terfokus pada Kawasan Rawan Bencana I, yaitu radius 8 km dari kawah gunung berapi.
2. Data citra satelit yang digunakan adalah citra satelit SPOT-7 tahun 2022.
3. Parameter kerentanan yang digunakan mengacu pada PERKA BNPB Nomor 2 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
4. Parameter kerentanan yang digunakan pada penelitian ini adalah kerentanan sosial dan ekologi.
5. Kerentanan ekologi menggunakan parameter data luas hutan alam, hutan lindung, semak belukar, dan mangrove. Kerentanan sosial menggunakan parameter kepadatan penduduk, dan data kelompok rentan yang berupa data rasio kelompok umur rentan, data rasio jenis kelamin, rasio kemiskinan, dan rasio golongan umur.
6. Metode untuk memperoleh penutup lahan adalah digitasi *on-screen*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Bencana Erupsi Gunung Api

Salah satu aktivitas vulkanik yang berkaitan dengan letusan gunung api adalah erupsi. Hampir semua aktivitas gunung api diawali dengan gempa, hal ini ada hubungannya dengan batas lempeng. Pada pertemuan batas lempeng inilah terjadi pergerakan antara kedua lempeng sehingga mengakibatkan peningkatan suhu dan tekanan yang sangat tinggi yang mampu melelehkan material di dalamnya, lelehan ini dikenal dengan sebutan magma. Melalui rekahan-

rekahan yang terbuka di permukaan bumi, magma akan mudah untuk mendesak keluar batuan dan tanah disekitarnya. Letusan gunung api sangat berbahaya karena dapat menghasilkan awan panas, gas beracun, lava panas dan aliran lahar letusan (Tim Karakter K3 FT UNY, 2019).

Adapun status gunung api sebagai berikut:

1. Normal, ditandai dengan warna hijau yang mengindikasikan belum ada atau tidak adanya aktivitas tekanan magma;
2. Waspada, ditandai dengan warna kuning yang mengindikasikan mulai ada aktivitas tekanan magma;
3. Siaga, ditandai dengan warna oranye yang mengindikasikan gunung api sedang bergerak menuju letusan;
4. Awas, ditandai dengan warna merah yang mengindikasikan gunung api segera atau sedang meletus.

II.1.1 Kawasan Rawan Bencana Gunung Api

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 11 tahun 2016, Kawasan rawan bencana gunung api adalah kawasan yang pernah terlanda atau teridentifikasi berpotensi terancam bahaya erupsi gunung api baik secara langsung maupun tidak langsung. Kawasan rawan bencana gunung api dibagi menjadi tiga kawasan, yaitu:

1. Rawan Bencana Gunung Api III atau disebut juga Kawasan Rawan Bencana Gunung Api Tinggi.
2. Rawan Bencana Gunung Api II atau disebut juga Kawasan Rawan Bencana Gunung Api Menengah.
3. Rawan Bencana Gunung Api I atau disebut juga Kawasan Rawan Bencana Gunung Api Rendah.

II.2 Kerentanan

Kerentanan merupakan suatu kondisi dari masyarakat yang mengarah atau menyebabkan ketidaksanggupan dalam menghadapi ancaman bencana. Pemetaan kerentanan dapat dibagi menjadi beberapa parameter, yaitu kerentanan ekonomi, fisik, sosial, dan ekologi. Kerentanan juga dapat didefinisikan sebagai keterpaparan dikalikan dengan sensitivitas. Keterpaparan yang dimaksud termasuk struktur fisik, wilayah ekonomi, lingkungan dan kehidupan manusia. Dalam kasus keterpaparan, data yang termasuk adalah komposisi keterpaparan. Seperti pada kerentanan sosial, data yang diperlukan adalah kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio kemiskinan, rasio orang cacat dan rasio kelompok umur, begitu pula pada kerentanan lainnya yang menggunakan data sesuai dengan kebutuhan dari komposisi keterpaparan kerentanannya. Sensitivitas dapat dipahami melalui nilai yang diberikan pada saat pembobotan parameter kerentanan (BNPB, 2012).

II.2.1 Kerentanan Ekologi

Kerentanan ekologi menggunakan indikator tutupan lahan, yaitu hutan lindung, semak belukar, hutan alam, mangrove/hutan bakau, dan rawa. Indeks kerentanan ekologi berbeda-beda dan tergantung pada jenis bencana serta diperoleh dari rerata bobot jenis tutupan lahan. Parameter konversi indeks kerentanan ekologi digabung melalui faktor-faktor pembobotan seperti pada **Tabel II-1** berikut.

Tabel II-1 Indeks Kerentanan Ekologi

Parameter	Bobot (%)	Kelas			Skor
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)	
Hutan lindung	40	< 20	20 – 50	> 50	Kelas/Nilai Max Kelas
Hutan alam	40	< 25	25 – 75	> 75	
Hutan bakau/mangrove	10	< 10	10 – 30	> 30	
Semak belukar	10	< 10	10 – 30	> 30	

Persamaan yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$Kerentanan\ Ekologi = (0,4 \times skor\ hutan\ lindung) + (0,4 \times skor\ hutan\ alam) + (0,1 \times skor\ hutan\ bakau) + (0,1 \times skor\ semak\ belukar) \dots\dots\dots (1)$$

Parameter-parameter yang digunakan untuk menghasilkan peta kerentanan ekologi sebagai berikut:

1. Hutan lindung
Hutan lindung merupakan kawasan hutan yang ditetapkan oleh pemerintah untuk dikelola dengan cara melestarikan dan melindungi kelestarian lingkungannya (McCoy, 2023).
2. Hutan alam
Hutan alam merupakan hutan yang tumbuh secara alami tanpa campur tangan manusia. Hutan alam memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi dan dapat memberikan sumbangan yang besar untuk lingkungan, seperti penyerapan karbon, konservasi tanah, dan penyaringan air (McCoy, 2023).
3. Hutan bakau
Hutan bakau merupakan saah satu ekosistem pesisir yang ditandai dengan keberadaan pohon bakau dan vegetasi lainnya yang tumbuh subur di kawasan degan tingkat salinitas tinggi, seperti muara, muara sungai, dan kawasan pesisir dengan pasang surut tinggi (Majid et al., 2016).
4. Semak belukar
Semak belukar dikenal dengan batang yang bercabang dan daun yang ada di sekitar batang kayunya, dengan beberapa spesies menghasilkan bunga, buah, atau ciri khas lainnya (Talakua & Osok, 2018).

II.2.2 Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial menggunakan indikator seperti kepadatan penduduk dan kelompok rentan, seperti rasio kelompok umur, rasio jenis kelamin, rasio kemiskinan dan rasio penduduk disabilitas. Indeks kerentanan sosial diperoleh dari rerata bobot pada setiap indikator. Parameter konversi indeks dan persamaannya ditunjukkan pada **Tabel II-2** berikut.

Tabel II-2 Indeks Kerentanan Sosial

Parameter	Bobot (%)	Kelas			Skor
		Rendah	Sedang	Tinggi	
Kepadatan penduduk	60	< 500 jiwa/km ²	500 – 1000 jiwa/km ²	> 1000 jiwa/km ²	Kelas/Nilai Max Kelas
Rasio jenis kelamin (10%)	40	< 20%	20 – 40%	> 40%	
Rasio kemiskinan (10%)					
Rasio penduduk disabilitas (10%)					
Rasio kelompok umur (10%)					

Persamaan yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$\text{Kerentanan Sosial} = \left(0,6 \times \frac{\log(\frac{\text{kepadatan penduduk}}{0,01})}{\log(\frac{100}{0,01})} \right) + (0,1 \times \text{rasio jenis kelamin}) + (0,1 \times \text{rasio kemiskinan}) + (0,1 \times \text{rasio orang cacat}) + (0,1 \times \text{rasio kelompok umur}) \dots \dots \dots (2)$$

II.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical hierarchy process (AHP) merupakan suatu metode analisis pengambilan keputusan berbasis SIG. Metode ini sangat populer digunakan karena mampu mengintegrasikan beberapa data heterogen. AHP juga memberikan kemudahan dalam memperoleh nilai bobot yang besar dan dapat diterapkan untuk mengambil keputusan di berbagai permasalahan. AHP juga merupakan metode yang mempertimbangkan banyak faktor subjektif dan objektif dalam alternatif pengkelasan dan mampu membantu proses pengambilan keputusan melalui model keputusan yang hierarkis (Supriadi, 2018). Dengan menggunakan hierarki ini, masaah yang kompleks dapat dipecah menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil, sehingga permasalahan tersebut menjadi lebih tersruktur dan sistematis. Menghitung CR (*Concistency Ratio*) dengan rumus dibawah ini dan jika nilai yang didapatkan kurang dari 0,1 maka artinya nilai tersebut konsisten dan dapat digunakan.

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots \dots (3)$$

II.4 Tutupan Lahan

Tutupan lahan adalah tutupan fisik pada permukaan bumi berupa hutan, lahan basah, pertanian, serta jenis lahan dan air lainnya. Kelas penutup lahan dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu daerah bervegetasi dan daerah tidak bervegetasi. Semua kelas penutup lahan dalam kategori daerah bervegetasi diturunkan dari pendekatan konseptual struktur fisiognomi yang konsisten dari bentuk tumbuhan, bentuk tutupan, tinggi tumbuhan, dan distribusi spasialnya. Sedangkan dalam kategori daerah tidak bervegetasi, pendekatan kelas mengacu pada aspek permukaan tutupan, distribusi aau kepadatan, dan ketinggian atau kedalaman objek (BSN, 2010). Pembagian kelas penutup lahan juga dibagi berdasarkan

skala peta yang akan dihasilkan. Skala peta yang tercantum pada SNI 7645-1:2014, adalah 1:1.000.000; 1:250.000; dan 1:50.000/25.000.

Pada penelitian ini, skala kelas tutupan yang digunakan adalah 1:250.000 dengan pembagian kelas sebagai berikut:

Tabel II-3 Klasifikasi Tutupan Lahan

Tutupan Lahan	Definisi
Sawah	Areal pertanian yang digenangi air atau diberi air, baik dengan teknologi pengairan, tadah hujan, maupun pasang surut. Arela pertanian dicirikan oleh pola pematang, dengan ditanam jenis tanaman pangan berumur pendek (padi)
Hutan lahan kering primer	Hutan yang tumbuh berkembang pada habitat lahan kering yang dapat berupa hutan dataran rendah, perbukitan dan pegunungan, atau hutan tropis dataran tinggi, yang masih kompak dan belum mengalami intervensi manusia atau belum menampakkan bekas penebangan.
Hutan lahan kering sekunder	Hutan yang tumbuh berkembang pada habitat lahan kering yang dapat berupa hutan dataran rendah, perbukitan dan pegunungan, atau hutan tropis dataran tinggi yang telah mengalami intervensi manusia atau telah menampakkan bekas penebangan (kenampakan alur dan bercak bekas tebang)
Semak belukar	Kawasan lahan kering yang telah ditumbuhi dengan berbagai vegetasi alami heterogen dan homogen dengan tingkat kerapatan jarang hingga rapat. Kawasan tersebut didominasi vegetai rendah (alami)
Permukiman	Areal atau lahan yang digunakan sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung kehidupan orang.
Lahan tidak terbangun	Lahan initelah mengalami interventi manusia sehingga penutup lahan alamiah (semi alamiah) tidak dapat dijumpai lagi. Meskipun demikian lahan ini tidak mengalami pembangunan sebagaimana terjadi pada lahan terbangun.
Badan air	Semua kenampakan perairan, termasuk laut, waduk, terumbu karang, dan padang lamun.

II.5 Sistem Informasi Geografis

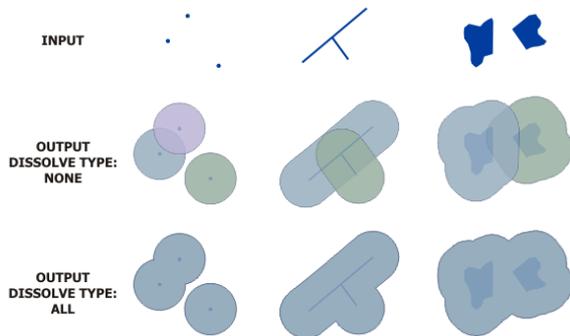
II.5.1 Overlay

Overlay adalah proses integrasi data dari lapisan *layer-layer* yang berbeda atau suatu teknik analisis tumpang tindih dari beberapa data yang disimpan kedalam satu peta/layer (Bafdal et al., 2011). Operasi *overlay* sendiri lebih dari sekedar penggabungan sederhana, namun juga dapat menemukan lokasi atau area tertentu yang memiliki kumpulan nilai atribut tertentu yang cocok dengan kriteria yang telah ditentukan. Pendekatan ini sering digunakan untuk menemukan lokasi yang cocok untuk penggunaan tertentu atau rentan terhadap beberapa risiko.

II.5.2 Buffer

Buffer merupakan salah satu metode analisis SIG dalam pembentukan fitur poligon dengan jarak/radius tertentu (Crosier et al., 2005). Buffer memiliki dua metode untuk membentuk fitur poligon, yaitu:

1. Buffer Euclidean yaitu *buffer* yang mengukur jarak dalam bidang kartesian dua dimensi, di mana jarak garis lurus dihitung antara dua titik pada permukaan datar. Buffer ini merupakan jenis *buffer* yang lebih umum dan cocok untuk sistem koordinat proyeksi yang terkonsentrasi pada area yang relatif kecil.
2. Buffer Geodetik yaitu *buffer* yang memperhitungkan bentuk bumi yang sebenarnya. Jarak dihitung antara dua titik pada permukaan geoid dibandingkan dengan dua titik permukaan kartesian. Fitur ini digunakan untuk wilayah yang luas.



Gambar II-1 Buffer (Crosier et al., 2005)

II.5.3 Digitasi On-Screen

Digitasi secara umum dapat didefinisikan sebagai proses konversi data analog ke dalam format digital. Di dalam SIG, digitasi adalah proses objek-objek tertentu seperti jalan, sawah, sungai, dan lain-lain yang sebelumnya hanya ada dalam format raster menjadi objek-objek vektor (poligon, garis, titik) (BAPPEDA NTB, 2013).

Proses digitasi dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Digitasi *on-screen* yaitu digitasi yang paling sering digunakan karena lebih mudah untuk dilakukan, tidak membutuhkan perangkat tambahan, serta lebih mudah untuk dikoreksi apabila terjadi kesalahan.
2. Digitasi otomatis yaitu digitasi yang melibatkan penggunaan perangkat lunak pengolah gambar yang berisi teknologi pengenalan pola untuk menghasilkan data vektor.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Data Penelitian

III.1.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut,

1. Laptop Acer Swift Intel ® Core™ i7-8565U
2. Smartphone
3. Alat tulis

4. QGIS 3.22
5. Microsoft Excel 2016
6. Microsoft Word 2016
7. GPS Map Camera

III.1.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data spasial dan data non spasial sebagai berikut.

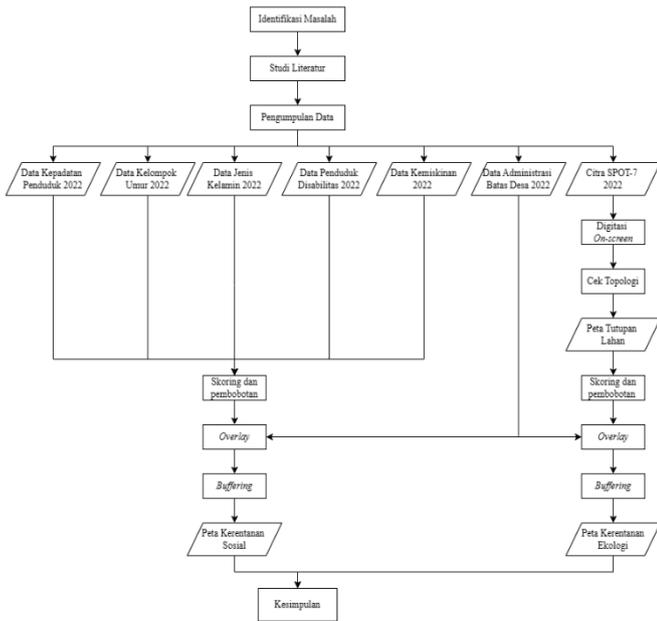
1. Data primer
Data wawancara dengan pihak BPBD Kabupaten Mandailing Natal dan pihak BAPPEDA Kabupaten Mandailing Natal untuk penilaian AHP kerentanan sosial dan ekologi terhadap bencana erupsi gunung Sorik Marapi.
2. Data sekunder
Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel III-1 Data penelitian

No	Data	Sumber
1.	Data Citra SPOT-7 Kabupaten Mandailing Natal tahun 2022 (resolusi spasial 1,5 meter)	Badan Riset dan Inovasi Nasional
2.	Data SHP Batas Administrasi Desa Kabupaten Mandailing Natal Tahun 2022	BAPPEDA
3.	Data Kepadatan Penduduk per Desa Kabupaten Mandailing Natal Tahun 2022 (per luasan desa)	Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil
4.	Data Kelompok Umur Penduduk per Desa Kabupaten Mandailing Natal Tahun 2022 (per luasan desa)	Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil
5.	Data Kemiskinan per Desa Kabupaten Mandailing Natal Tahun 2022 (per luasan desa)	BAPPEDA
6.	Data Penduduk Disabilitas per Desa Kabupaten Mandailing Natal Tahun 2022 (per luasan desa)	Dinas Sosial

III.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar III-1.



Gambar III-1 Diagram Alir Penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil dan Analisis Peta Kerentanan Ekologi

IV.1.1 Hasil Pembobotan AHP

Pembobotan AHP pada sub-parameter kerentanan ekologi diperoleh dari pertimbangan bobot yang diperoleh dari hasil wawancara dengan beberapa narasumber dari BPBD Kabupaten Mandailing Natal dan BAPPEDA Kabupaten Mandailing Natal. Wawancara dilakukan secara online melalui platform zoom sebanyak 2 orang dan 1 orang melalui pesan pribadi.

Para narasumber yang berpartisipasi adalah:

1. Nazaruddin Habib, selaku Kepala Seksi kesiapsiagaan di BPBD Kabupaten Mandailing Natal.
2. Nahasaruddin Siregar, selaku staff di bidang pencegahan dan kesiapsiagaan di BPBD Kabupaten Mandailing Natal.
3. Sakban Mahmud Nasution, selaku Kepala Bidang Pengembangan Wilayah dan Infrastruktur di BAPPEDA Kabupaten Mandailing Natal.

Data yang digunakan adalah data dengan nilai CR <10% yang dianggap sebagai data pembobotan yang terbaik. Dalam penelitian ini didapatkan hasil terbaik yang diperoleh dari hasil wawancara dengan Bapak Nazaruddin Habib dari instansi BPBD Kabupaten Mandailing Natal. Berikut perhitungan nilai CR hasil wawancara narasumber.

Tabel IV-1 Hasil Perhitungan CR

CI	0,051
RI	0,9
CR	0,056

Dengan menggunakan rumus (3) pada II.3 diperoleh nilai CR sebesar 6%

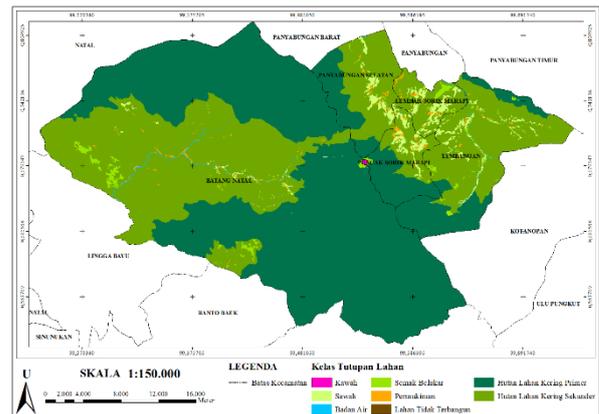
Terdapat empat parameter yang digunakan pada kerentanan ekologi ini, yaitu hutan alam, hutan lindung, semak belukar, dan hutan bakau.

Tabel IV-2 Nilai AHP Kerentanan Ekologi

Kriteria	Bobot	
Hutan Lindung	0,165	17%
Hutan Alam	0,372	37%
Hutan Bakau	0,092	9%
Semak Belukar	0,372	37%
Total	1	100%

IV.1.2 Hasil Peta Tutupan Lahan

Pembuatan peta tutupan lahan untuk peta kerentanan ekologi ini dilakukan dengan menggunakan citra satelit SPOT-7 tahun 2022 dengan resolusi 1,5 meter. Citra SPOT ini sudah dikoreksi oleh pihak LAPAN. Untuk memperoleh peta tutupan lahan, dilakukan metode digitasi on-screen dengan klasifikasi tutupan lahan berdasarkan SNI 7645-1:2014. Pada wilayah Kabupaten Mandailing Natal, dari hasil interpretasi citra terdapat 7 tutupan lahan, yaitu badan air, permukiman, hutan lahan kering primer, hutan alam kering sekunder, lahan tidak terbangun, sawah, dan semak belukar.



Gambar IV-1 Peta Tutupan Lahan

IV.1.3 Hasil Peta Kerentanan Ekologi

Penilaian kerentanan dari segi ekologi merupakan penilaian kondisi ekologi berdasarkan penggunaan lahan suatu kawasan dalam mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap erupsi gunung berapi. Penilaian kerentanan ekologi ini menggunakan parameter hutan alam, hutan lindung, semak belukar, dan hutan mangrove.

Berdasarkan hasil tutupan lahan yang telah diperoleh, kelas-kelas tutupan lahan yang digunakan akan disesuaikan dengan parameter-parameter pada kerentanan ekologi. Penyesuaian ini dilakukan dengan melihat persamaan pengertian dari kelas tutupan lahan pada Tabel II-3 dengan pengertian dari parameter kerentanan ekologi pada subbab II.2.1. Penyesuaian kelas tutupan lahan dengan parameter kerentanan ekologi sebagai berikut:

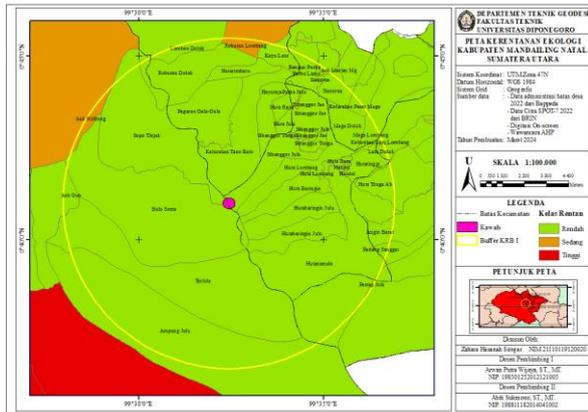
Tabel IV-3 Penyesuaian kelas tutupan lahan dengan parameter kerentanan ekologi

Kelas Tutupan Lahan	Parameter Kerentanan Ekologi
Hutan Lahan Kering Primer	Hutan Lindung
Hutan Lahan Kering Sekunder	Hutan Alam
Semak Belukar	Semak Belukar
-	Hutan Bakau

Dari hasil pengolahan pada kerentanan ekologi, dilakukan klasifikasi menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian nilai kelas-kelas ini dilakukan dengan metode *equal interval* dengan rentang nilai total bobot sebagai berikut.

Tabel IV-4 Interval kelas kerentanan ekologi

Kelas	Nilai total bobot terimbang
Rendah	< 0,385
Sedang	0,385 - 0,509
Tinggi	> 0,509



Gambar IV-2 Peta Kerentanan Ekologi

Hasil peta ini didominasi oleh kelas rendah karena daerah di sekitar kawasan kawah merupakan hutan lindung, Dimana hutan ini tidak boleh dipergunakan untuk pemenuhan kebutuhan hidup. Minimnya aktivitas yang diizinkan pada kawasan hutan lindung serta hasil skor AHP yang kecil menghasilkan skor kerentanan yang rendah.

Daerah yang memiliki nilai kerentanan ekologi sedang yaitu desa Aek Holbung dan desa Roburan Lombang. Hal ini disebabkan karena kedua daerah ini memiliki luasan tutupan hutan alam yang sangat luas. Hutan alam yang sangat luas dapat menjadi faktor nilai dari kerentanan ekologi. Dengan luasan yang cukup besar, maka aktivitas yang terjadi di dalamnya juga akan semakin banyak. Sehingga hal inilah yang mendasari tingginya nilai kerentanan ekologi di desa Aek Holbung dan Roburan Lombang.



Gambar IV-3 Grafik Persentasi Kerentanan Ekologi

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kawasan rawan bencana dengan radius 8 km dari pusat kawah didominasi oleh daerah yang memiliki nilai kerentanan yang rendah, yaitu 95% dari luas daerah penelitian, yaitu sekitar 4.772,8 ha dari 5024 ha. Kemudian untuk daerah yang memiliki kerentanan ekologi tingkat sedang adalah sekitar 5% dari luas daerah penelitian yaitu 5.024 ha atau sekitar 251, ha.

IV.2 Hasil dan Analisis Peta Kerentanan Sosial
IV.2.1 Hasil Pembobotan AHP

Berikut perhitungan nilai CR hasil wawancara narasumber.

Tabel IV-5 Hasil Perhitungan CR

CI	0,093
RI	1,12
CR	0,083

Dengan menggunakan rumus (3) pada II.3 diperoleh nilai CR sebesar 8%

Terdapat lima parameter yang digunakan pada kerentanan sosial ini, yaitu kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur rentan, rasio penduduk disabilitas, dan rasio kemiskinan.

Tabel IV-6 Nilai AHP Kerentanan Sosial

Kriteria	Bobot	
Kepadatan Penduduk	0,276	27,62%
Rasio Jenis Kelamin	0,096	9,63%
Rasio Kelompok Umur	0,140	13,99%
Rasio Disabilitas	0,117	11,73%
Rasio Kemiskinan	0,370	37,02%
Total	1	100%

IV.2.2 Hasil Peta Kerentanan Sosial

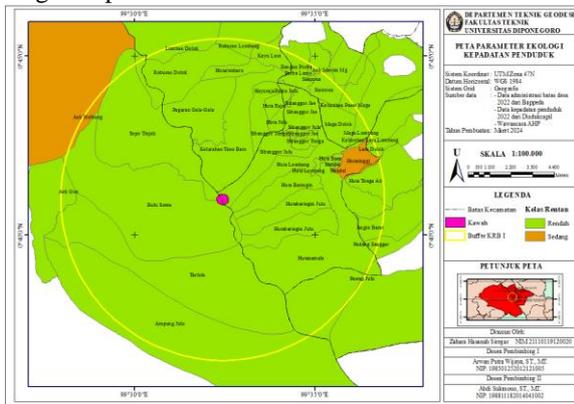
Penilaian kerentanan ini dilakukan dari segi demografi penduduk seperti faktor kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio penduduk disabilitas, rasio kelompok umur rentan, dan rasio kemiskinan. Di mana semakin besar nilai yang didapatkan maka akan semakin besar tingkat kerentanannya.

Dari hasil pengolahan pada kerentanan sosial, dilakukan klasifikasi menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian nilai kelas-kelas ini dilakukan dengan metode *equal interval* dengan rentang nilai total bobot sebagai berikut.

Tabel IV-7 Interval kelas kerentanan sosial

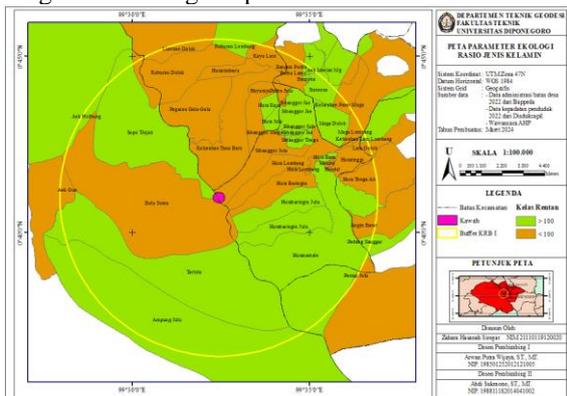
Kelas	Nilai total bobot terimbang
Rendah	< 0,298
Sedang	0,2978 - 0,334
Tinggi	> 0,334

Pada **Gambar IV-4**, daerah yang memiliki nilai kepadatan penduduk yang tinggi ada beberapa desa, yaitu Desa Aek Holbung, Desa Bangu Purba, Desa Huta Tinggi, Desa Kayu Laut, Desa Pasar Maga, dan Desa Sibanggor Tonga. Dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi akan menjadi tantangan dalam mengevakuasi apabila terjadi bencana erupsi serta dalam pengalokasian masyarakat ke lokasi yang aman dengan cepat



Gambar IV-4 Peta Parameter Kepadatan Penduduk

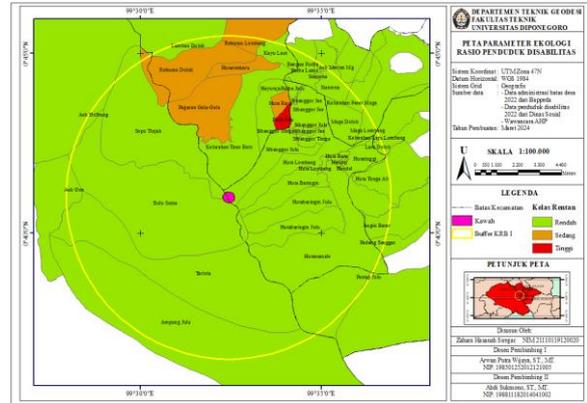
Selain kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin pada **Gambar IV-5** juga mempengaruhi nilai kerentanan sosial. Pada desa-desa yang memiliki angka dibawah 100 merupakan desa yang dimana penduduk wanitanya lebih banyak daripada pria. Sehingga apabila mempertimbangkan faktor-faktor seperti akses terhadap sumber daya, serta cepat tanggap dalam menghadapi bencana, wanita memiliki beberapa kerugian dibandingkan pria.



Gambar IV-5 Peta Parameter Rasio Jenis Kelamin

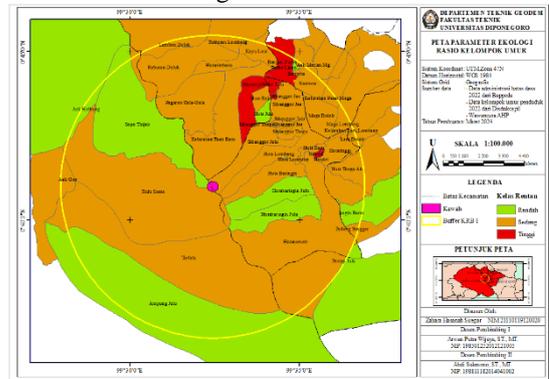
Rasio penduduk disabilitas merupakan parameter yang mempengaruhi dalam kerentanan sosial dalam berbagai bahaya. Pada **Gambar IV-6**, desa dengan angka penduduk disabilitas yang tinggi adalah Desa Huta Julu. Penduduk disabilitas memiliki

kemungkinan untuk kesulitan dalam mengakses informasi mengenai pentingnya mitigasi bencana serta membutuhkan bantuan khusus dalam pengevakuasian dan bantuan medis.



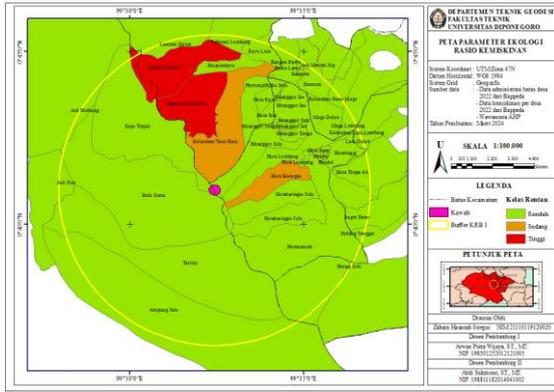
Gambar IV-6 Peta Parameter Rasio Penduduk Disabilitas

Pada **Gambar IV-7** rasio kelompok umur rentan, semakin tinggi angka rasio yang diperoleh maka semakin tinggi jumlah kelompok rentan pada daerah tersebut. Desa Handel, Desa Hayu Raja, Desa Laru Dolok, Desa Purba Julu, Desa Purba Lamo, dan Desa Tano Bato memiliki angka rasio yang tinggi dibandingkan dengan desa lainnya. Tingginya kelompok rentan pada suatu daerah dapat meningkatkan angka kerentanan sosial. Hal ini dikarenakan kerentanan kesehatan yang dimiliki oleh anak-anak dan orang tua.



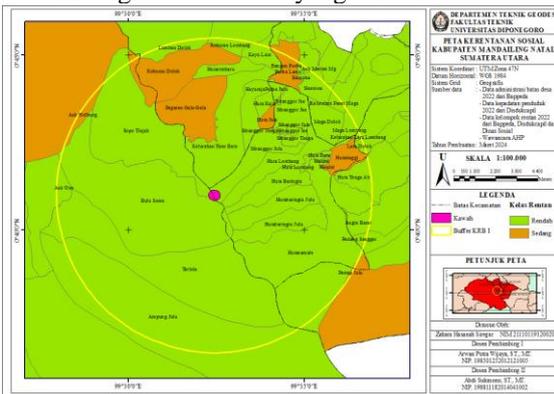
Gambar IV-7 Peta Parameter Rasio Kelompok Umur

Rasio kemiskinan pada **Gambar IV-8** juga memiliki pengaruh yang sangat signifikan dan kompleks terhadap kerentanan sosial. Desa Huta Baringin dan Desa Tano Bato memiliki beberapa penduduk miskin sehingga nilai kerentanan sosial pada desa-desa tersebut cenderung tinggi. Tingginya pengaruh kemiskinan terhadap kerentanan sosial dapat dilihat dari beberapa sisi, seperti ketahanan ekonomi. Komunitas yang hidup dalam kemiskinan mungkin memiliki sumber daya keuangan dan ketahanan ekonomi yang terbatas.



Gambar IV-8 Peta Parameter Rasio Kemiskinan

Dari hasil parameter-parameter diatas, dapat dilihat pada Gambar IV-9 ada beberapa desa yang memiliki nilai sedang dan tinggi di beberapa parameter. Sehingga desa-desa tersebut memiliki kerentanan sosial tingkat sedang, yakni Desa Aek Holbung, Desa Huta Julu, Desa Pagaran Gala-Gala, Desa Purba Julu, Desa Purba Lamo, dan Desa Roburan Dolok. Desa-desa ini memiliki angka rasio yang tinggi di beberapa parameter sehingga menghasilkan tingkat kerentanan sosial yang sedang dibandingkan dengan desa-desa lainnya yang memiliki tingkat kerentanan yang rendah.



Gambar IV-9 Peta Kerentanan Sosial



Gambar IV-10 Grafik Persentasi Kerentanan Sosial

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kawasan rawan bencana dengan radius 8 km dari pusat kawah didominasi oleh daerah yang memiliki nilai kerentanan yang rendah, yaitu 85% dari luas daerah penelitian, yaitu sekitar 4.270,4 ha dari 5024 ha. Kemudian untuk daerah yang memiliki kerentanan sosial tingkat sedang adalah sekitar 15% dari luas daerah penelitian yaitu 5.024 ha atau sekitar 753,6 ha.

V. Penutup
V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dalam pembuatan peta kerentanan ekologi, ada beberapa parameter yang telah ditetapkan. Terdapat 4 parameter penyusun peta kerentanan ekologi, yaitu hutan alam, hutan lindung, semak belukar, dan hutan bakau. Berdasarkan pengolahan, didapatkan hasil untuk peta kerentanan ekologi didominasi oleh kelas rendah yaitu sebesar 95% dari luas penelitian atau sekitar sekitar 4.772,8 ha dari 5024 ha. Kemudian untuk daerah yang memiliki kerentanan ekologi tingkat sedang adalah sekitar 5% dari luas daerah penelitian sebesar 5.024 ha, yaitu sekitar 251, ha.
2. Pembuatan peta kerentanan sosial membutuhkan beberapa parameter tetap, seperti kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur, rasio penduduk disabilitas, dan rasio kemiskinan. Berdasarkan pengolahan, didapatkan hasil untuk peta kerentanan sosial didominasi oleh kelas rendah yaitu sebesar 85% dari luas daerah penelitian, yaitu sekitar 4.270,4 ha dari 5024 ha. Kemudian untuk daerah yang memiliki kerentanan sosial tingkat sedang adalah sekitar 15% dari luas daerah penelitian sebesar 5.024 ha, yaitu sekitar 753,6 ha.

V.2 Saran

Saran dari penelitian ini sebagai berikut,

1. Menambahkan kerentanan ekonomi dan kerentanan fisik untuk memperoleh hasil peta kerentanan yang lebih menyeluruh.
2. Melakukan validasi untuk peta kerentanan dengan cara yang lebih merata untuk mengetahui tingkat akurasi peta yang dihasilkan.
3. Memperhatikan ketersediaan data hingga tingkat unit pemetaan terkecil pada data kerentanan untuk masing-masing komponen parameter yang digunakan, agar dapat mendukung hasil pemetaan yang lebih baik lagi.
4. Data yang digunakan sebaiknya diperoleh dari instansi yang berkaitan langsung dengan topik yang diangkat untuk menjamin tingkat keakuratan dan kepastian data.

Daftar Pustaka

Bafdal, N., Amaru, K., & P., B. M. P. (2011). *Buku Ajar Sistem Informasi Geografis* (1st ed., Vol. 1). Jurusan Teknik Manajemen Industri Pertanian FTIP UNPAD.
 BAPPEDA NTB. (2013). Digitasi Dasar. In *Modul ArcGIS 10 Dasar* (pp. 152–175). BAPPEDA NTB.
 Bendaoud, Z., & Yachba, K. (2017). Towards A Decision Support System for Optimization of Container Placement in a Container Terminal. *International Journal of Strategic Information Technology and*

- Applications*, 8, 59–72.
<https://doi.org/10.4018/IJSITA.2017070104>
- BPS. (2022). *Kepadatan Penduduk*. Badan Pusat Statistik.
<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQxIzI=/kepadatan-penduduk-menurut-provinsi--jiwa-km2-.html>
- BSN. (2010). SNI 7645:2010 Standar Nasional Indonesia Klasifikasi penutup lahan. In BSN. BSN.
www.bsn.go.id
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (1995). *GIS Technology in Mapping Landslide Hazard* (pp. 135–175). Kluwer Academic Publisher.
https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3_8
- Crosier, S., Booth, B., Dalton, K., Mitchell, A., & Clark, K. (2005). *ArcGIS 9 Getting Started With ArcGIS*. Computer. www.esri.com,
- Drobne, S., & Lisec, A. (2009). Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. *Informatica*, 33, 459.
<https://www.researchgate.net/publication/220166125>
- Irwansyah, E. (2013). *Prinsip Dasar dan Pengembangan Aplikasi*. Digibooks.
- ISO 19157 Geographic Information - Data Quality, Pub. L. No. ISO 19157:2013 (2013).
- Majid, I., Muhdar, M. H. I. Al, Rohman, F., & Syamsuri, I. (2016). Konservasi Hutan Mangrove di Pesisir Pantai Kota Ternate Terintegrasi Dengan Kurikulum Sekolah. *Jurnal Bioedukasi*, 4, 488–496.
- McCoy, M. K. (2023). Study: Protected forest are a climate powerhouse. *Nature Communications*.
<https://www.conservation.org/blog/study-protected-forests-are-a-climate-powerhouse>
- Parera, E., Purwanto, R. H., Permadi, D. B., & Sumardi. (2022). How do the Customary Forest and Protected Forest Management Principles Affect Ambon City Protected Forest Management between the Government and Indigenous Peoples? (Case in the Mount Sirimau Protection Forest Group, Ambon City, Maluku Province). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 28(3), 254–268. <https://doi.org/10.7226/jtfm.28.3.254>
- Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, Pub. L. No. 2 (2012).
- Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, Pub. L. No. 02, BNPB (2012).
- Prahasta, E. (2014). *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Informatika.
- Pusat Vulkanologi dan Manajemen Bencana Geologi. (2022). *Aktivitas Vulkanik Gunung Sorik Marapi 30 September 2022*.
- PVMBG. (2020). *Gunung Api Indonesia dan Karakteristik Bahayanya* (H. Gunawan & N. Haerani, Eds.; 1st ed., Vol. 1). PVMBG Badan Geologi.
- PVMBG. (2023). *Penyampaian Laporan Evaluasi Tigat Aktivitas Gunungapi Indonesia Bulan November 2023*.
- Supriadi, A. (2018). *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Deepublish Publisher .
- Talakua, S. M., & Osok, R. M. (2018). Efek Penggunaan Lahan Terhadap Degradasi Tanah Pada Kebun Campuran di Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat Provinsi Maluku. *AGROLOGIA*, 7(1), 9–16.
- Tejada, J. J., Raymond, J., & Punzalan, B. (2012). On the Misuse of Slovin’s Formula. *The Philippine Statistician*, 62, 129–139.
- Tim Karakter K3 FT UNY. (2019). *Pedoman K3 Gempuran Gempa Bumi, Erupsi Gunung Merapi & Kebakaran* (1st ed.). Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vulcanological Survey of Indonesia. (2019). *Pengenalan Gunung Api*.
- Wahyuningsih, D. (2020). *FISIKA DI SEKITAR KITA* (D. Wahyuningsih & F. F. Haryani, Eds.; 1st ed.). UNS .