



Pengembangan Berkelanjutan Kawasan Karst sebagai Kawasan Hutan Konservasi: Pendekatan Potensi Geologi di Daerah Ratatotok, Sulawesi Utara

Harman Dwi Rachmadhan^{1✉}, Febryanto Masulili², Alvaro Najosan³, Regina Janis¹, Gresyella Pesik¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Prisma, Manado, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: September 18, 2024

Accepted: November 30, 2024

Published: December 9, 2024

Keywords:

geohazard
geologi
geospasial
karst
ratatotok

Corresponding author:

Harman D. Rachmadhan

Email:

harmanrachmadhan@prisma.ac.id

Read online:



Scan this QR code
with your smart
phone or mobile
device to read online.

Copyright © 2024 Authors



This work is
licensed under
a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0 International
License.

ABSTRAK

Pengembangan wilayah karst di Ratatotok, Sulawesi Utara, memerlukan pendekatan geologi terintegrasi untuk pengelolaan hutan konservasi yang efektif. Penelitian ini memanfaatkan analisis geospasial dan pemetaan geologi untuk memahami dinamika geologis dan potensi *geohazard* di kawasan tersebut. Enam satuan batuan utama diidentifikasi, yaitu Lava Andesit-Basalt, Batugamping Lempungan, Batugamping Kristalin, Breksi Basaan, Batupasir, dan Endapan Aluvium. Struktur geologi yang kompleks, termasuk kekar dan sesar dengan orientasi utama Tenggara-Barat Laut, mencerminkan pengaruh tektonik regional akibat subduksi antara Lempeng Pasifik dan Lempeng Indo-Australia tepatnya *Molluca Sea Plate*. Peta pola pengaliran mengungkapkan dua arah aliran utama yang dipengaruhi oleh struktur dengan erosi yang intens. Peta geomorfologi menggambarkan empat bentuk lahan utama: Lereng Karst Denudasional, Perbukitan Denudasional, Karst Aluvium Plains dan Lembah Karst yang mencerminkan aktivitas Karst pada lanskap. Peta risiko *geohazard* menunjukkan potensi *geohazard* seperti tanah longsor, keruntuhan batu, dan *subsidence* ditandai berdasarkan *overlay* litologi, kelerengan, dan struktur geologi yang ditunjukkan. Konservasi hutan dan ekowisata di kawasan ini menawarkan peluang, dengan goa karst sebagai daya tarik utama. Pengelolaan ekowisata harus mematuhi prinsip keberlanjutan untuk mencegah kerusakan lingkungan. Strategi pengelolaan meliputi penetapan zona wisata dan konservasi, serta partisipasi masyarakat lokal dalam pengelolaan berkelanjutan. Kemitraan dengan pemangku kepentingan dan monitoring rutin sangat penting untuk mencapai keberhasilan dalam konservasi dan pengembangan kawasan karst Ratatotok.

ABSTRACT

The development of the karst region in Ratatotok, North Sulawesi, requires an integrated geological approach for effective conservation forest management. This research utilizes geospatial analysis and geological mapping to understand the geological dynamics and geohazard potential in the area. Six main rock units were identified: Andesite-Basalt Lava, Marl Limestone, Crystalline Limestone, Basalt Breccia, Sandstone, and Alluvial Deposits. The complex geological structures, including fractures and faults with a main orientation of Southeast-Northwest, reflect the regional tectonic influence from the subduction between the Pacific Plate and the Indo-Australian Plate, specifically the *Molucca Sea Plate*. Drainage pattern maps reveal two main flow directions influenced by the structures, with intense erosion. The geomorphological map depicts four primary landforms: Denudational Karst Slopes, Denudational Hills, Karst Alluvium Plains, and Karst Valleys, reflecting karst activity in the landscape. The geohazard risk map shows potential geohazards such as landslides, rock falls, and subsidence, indicated based on the overlay of lithology, slope, and geological structures. Forest conservation and ecotourism in this area offer opportunities, with karst caves as a major attraction. Ecotourism management must adhere to sustainability principles to prevent environmental damage. Management strategies include establishing tourism and conservation zones and involving local communities in sustainable management. Partnerships with stakeholders and routine monitoring are crucial for the success of conservation and development in the Ratatotok karst area.

How to cite: Rachmadhan, H. D., Masulili, F., Najosan, A., Janis, R., dan Pesik, G. (2024). Pengembangan Berkelanjutan Kawasan Karst sebagai Kawasan Hutan Konservasi: Pendekatan Potensi Geologi di Daerah Ratatotok, Sulawesi Utara. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 6(2), pp. 53-63. <https://doi.org/10.56099/ophi.v6i2.p53-63>

1 Pendahuluan

Ratatotok merupakan salah satu kecamatan yang terletak di Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. Secara geografis, Ratatotok terletak di bagian tenggara dari provinsi Sulawesi Utara. Wilayah ini memiliki karakteristik yang unik karena keberadaan litologi batuan karbonat sebagai satuan batuan pembentuk karst.

Mengacu Peta Geologi Lembar Manado (Effendi dan Bawono, 1997), daerah Ratatotok dan sekitarnya merupakan bagian dari Batugamping Ratatotok (Tml) yang tersusun dari batuan karbonat yang memiliki umur Miosen Awal-Miosen Tengah. Berdasarkan sifat batugamping yang memiliki porositas sekunder menjadi parameter utama dalam pembentukan karst (Ford dan Williams, 2007).

Pada daerah penelitian termasuk ke dalam bentuk lahan karst dan vulkanik di bagian timur dan pesisir laut di bagian selatan yang terdiri dari endapan Pantai (Effendi dan Bawono, 1997; Haryono dan Adji, 2004; Ford dan Williams, 2007).

Untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di daerah karst, peneliti membuat peta *geohazard* berdasarkan litologi dan struktur dengan memetakan potensi bahaya berupa erosi, longsor, dan runtuhnya batuan yang dapat berdampak negatif pada lingkungan dan masyarakat setempat (Gussyak dkk, 2022; Gunawan dan Suharsono, 2018; Haryanto dan Nurlatifah, 2020; Prasetyo dan Suryantini, 2019). Selain itu aktivitas manusia seperti pembukaan pertanian, pertambangan, dan infrastruktur juga merupakan ancaman. Pendekatan perspektif geologi dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) menegaskan dalam menjaga keberlangsungan lingkungan karst dan kawasan hutan konservasi (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2018).

Geologi memainkan peran penting dalam pengembangan berkelanjutan kawasan karst sebagai kawasan hutan konservasi. penelitian ini melakukan pendekatan multidisiplin dengan mengintegrasikan pemetaan geologi, studi geospasial, pemetaan *geohazard*, dan strategi pengelolaan. Penelitian ini tidak hanya mempertimbangkan aspek geologi, tetapi juga memperhatikan hubungannya dengan topografi dan risiko geologi yang dapat mengancam lingkungan karst di Ratatotok.

Pemetaan karst pernah dilakukan di daerah Karangnunggal, Provinsi Jawa Barat (Gussyak dkk, 2022). Penelitian tersebut melakukan pemetaan geospasial dan petrografi terhadap sampel batugamping di Daerah Karst Cilutung namun belum membahas potensi *geohazard*. Terdapat juga beberapa penulis yang melakukan pemetaan di daerah Ratatotok dengan fokus membahas mengenai

mineralisasi dan potensi sumberdaya alam (Azzaman, 2021; Turner dkk, 1994). Sedangkan penelitian ini terfokus pada analisis dari overlay peta persebaran struktur dan geologi analisis karst *geohazard*

Dalam konteks geologi karst, prinsip keberlanjutan memiliki peranan penting, terutama karena daerah karst seringkali memiliki keunikan ekosistem dan sumber daya alam yang sensitif. Aktivitas manusia seperti penambangan, pembangunan infrastruktur, dan konversi lahan dapat memicu bencana geologi, seperti tanah longsor dan keruntuhan gua, yang merusak lingkungan dan mengancam keselamatan masyarakat. Dengan menerapkan prinsip pengembangan berkelanjutan, pengelolaan sumber daya karst dapat dilakukan secara bijaksana, mengurangi risiko bencana geologi dan melindungi keanekaragaman hayati yang ada.

Dalam penelitian ini peneliti ingin mengetahui potensi *geohazard* dan ekowisata goa karst yang terbentuk dari fitur karst, Ratatotok, Sulawesi Utara sebagai potensi pengembangan berkelanjutan kawasan karst sebagai kawasan hutan konservasi.

2 Geologi Regional

2.1 Tektonik Sulawesi Utara

Molucca Sea Plate, terletak di bagian timur Indonesia, *Molucca Sea Plate* adalah lempeng kecil yang dikelilingi oleh lempeng besar lainnya seperti Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Tektonik subduksi di wilayah ini melibatkan interaksi kompleks antara lempeng. *Molucca Sea Plate* menunjukkan dua zona subduksi utama yaitu di Utara dimana Lempeng Pasifik menunjam ke bawah Lempeng Eurasia, dan di Selatan dimana Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia.

Proses ini menciptakan pola tektonik dua arah yang mempengaruhi kawasan sekitar, termasuk Pulau Sangihe dan Lengan Utara Sulawesi. Selama zaman Kenozoikum, proses subduksi yang kompleks telah membentuk berbagai fitur geologi di Pulau Sangihe dan Lengan Utara Sulawesi. Pada zaman Kapur dan Paleogen, subduksi intensif membentuk busur vulkanik dan batuan ofiolit. Di Miosen, terjadi tumbukan antara busur vulkanik dan mikrokontinen yang menghasilkan sesar naik dan lipatan. Aktivitas ini berlanjut hingga zaman Kuarter dengan pembentukan busur vulkanik aktif seperti busur Minahasa-Sangihe.

Kompleksitas struktur, subduksi dua arah menyebabkan pembentukan struktur geologi yang kompleks, dengan variasi dalam orientasi dan deformasi yang mencerminkan interaksi antara dua zona subduksi (Rachmadhan dkk, 2019; Djaya, 2024, Rachmadhan dan Djaya, 2023).

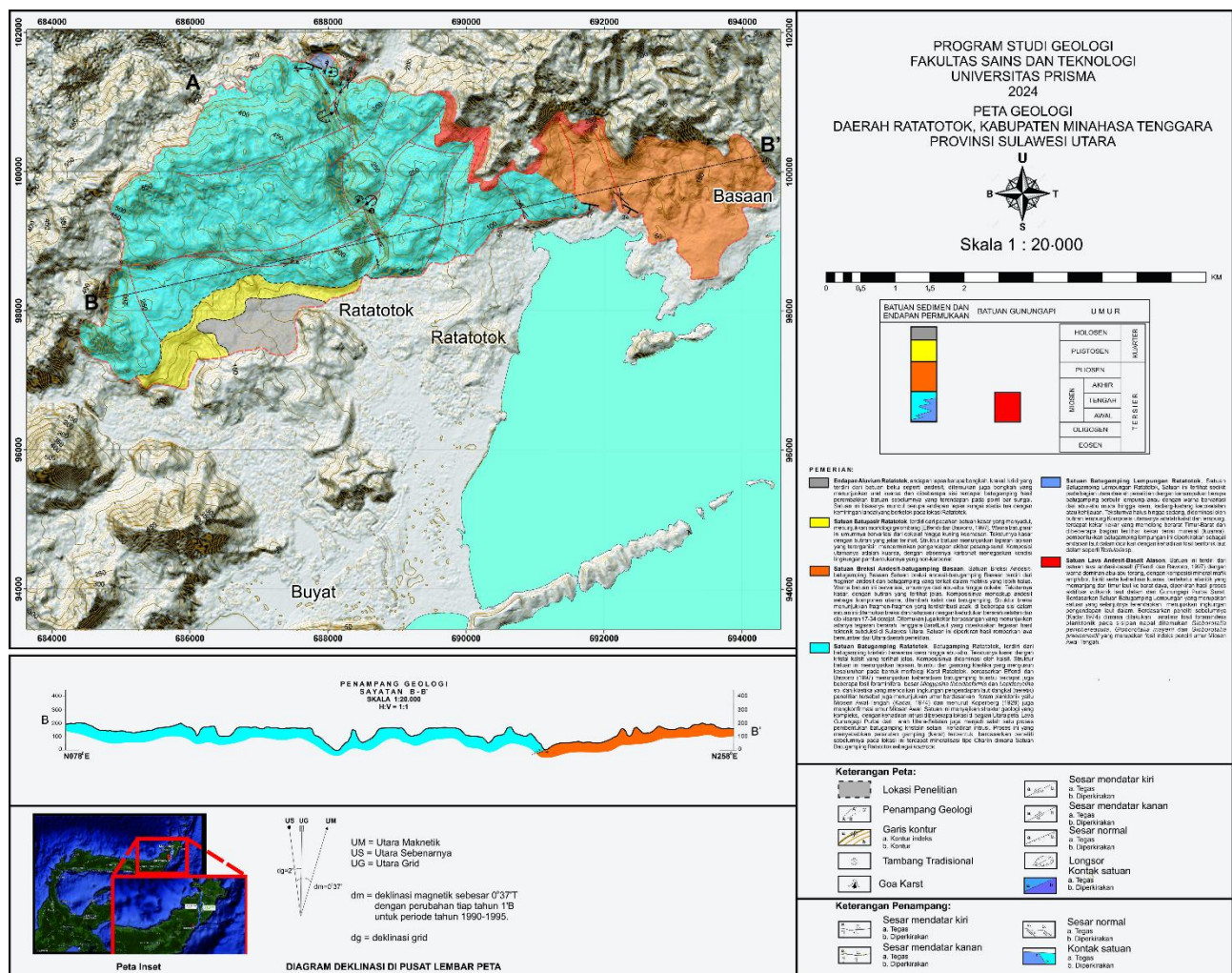
2.2 Karst Ratatotok

Fase awal pengembangan karst pada penelitian Turner dkk (1994), terjadi sebelum aktivitas vulkanik andesit, yang menghasilkan lapisan produk vulkanik di atas batugamping. Di daerah Lobongan ditemukan lava andesitik, batuan piroklastik, dan sedimen vulkanik serta batuan intrusi dangkal.

Emas ditemukan dalam bentuk urat kuarsa dan kalsit yang terletak di dalam breksi karst, baik di atas maupun di bawah batas antara batugamping dan batuan vulkanik andesitik, serta melalui penggantian silika pada sedimen klastik halus. Bentuk mineralisasi di batas tersebut umumnya teratur dan mirip

lembaran, sedangkan breksi karst yang terdeposit dapat memiliki bentuk yang sangat bervariasi.

Urat kuarsa dan kalsit biasanya bersifat kristalin dengan bentuk *vuggy*, berlapis, dan anastomosis yang tidak teratur dalam breksi paleokarst. Pengembangan karst setelah mineralisasi terbaru menghasilkan breksi kuarsa-lumpur yang luas, yang merupakan sisa dari erosi mineralisasi penggantian silika dan breksi karst. Breksi sisa ini bersifat tidak terikat, dengan ukuran clast bervariasi dari grit hingga boulder, dalam matriks lumpur vulkanogen berwarna kuning-oranye. Ketebalan breksi sangat bervariasi, mengikuti bentuk topografi karst, dengan kantong yang dapat mencapai ketebalan 40 m (Turner dkk, 1994).



Gambar 1 Peta geologi wilayah penelitian yang menunjukkan distribusi litologi, struktur geologi, serta satuan stratigrafi

3 Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) kemudian diintegrasikan dengan data observasi lapangan. Metode pada penelitian ini mencakup tiga tahapan utama.

3.1 Tahap Pertama

Tahapan awal meliputi studi literatur mengenai karst dan peneliti terdahulu kemudian diikuti dengan perizinan untuk melakukan penelitian pada pemerintah setempat. Diikuti dengan pengambilan data primer dan sekunder berupa pemetaan terhadap

satuan batuan dan bentuk lahan (Irianto dkk, 2020; Iqbal, 1995).

Pemetaan geologi (observasi batuan), skala 1:20.000 dengan melakukan survey lapangan menggunakan peta DEM mengacu SNI13-4691-1998 tentang Penyusunan Peta Geologi ICS07.060 (SNI, 1998). Pemetaan struktur geologi, skala 1:20.000 dengan melakukan survey lapangan dan menggunakan peta DEM. Persebaran tersebut dijadikan sebagai perkiraan lokasi fitur-fitur karst yang berkembang dan data pendukung potensi *geohazard* (Raharja dkk, 2020).

Pengelolaan Geospasial, metode ini masuk ke dalam data sekunder melibatkan analisis geospasial berupa relief dan bentuk lahan untuk mengidentifikasi dan memetakan fitur-fitur karst menggunakan data utama DEM dan studi literatur (Okto dkk, 2023). Tahapan yang dilakukan yaitu analisis kelurusan, skala 1:20.000. Peneliti sebelumnya menggunakan kelurusan sebagai data pendukung dalam menentukan persebaran fitur karst (Suprianto dkk, 2017). Analisis pola aliran, skala 1:20.000 (Suri dan Susilo, 2020). Peta geomorfologi, skala 1:20.000 mengacu SNI13-6185-1999

Penyusunan Peta Geomorfologi ICS07.060. Peta ini bertujuan untuk memastikan luasan karst berdasarkan klasifikasi bentuk lahan mengacu pada Van Zuidam (1985).

3.2 Tahapan Kedua

Tahapan kedua meliputi evaluasi resiko *geohazard*, integrasi data serta pemodelan, untuk mengkaji berbagai ancaman yang terjadi di wilayah Karst beserta upaya mitigasi yang dapat dilakukannya. Tahapan kedua ini akan menghasilkan peta potensi resiko *geohazard* berdasarkan integrasikan data dari pemetaan geologi dan studi geospasial (Permana dan Nalendra, 2021).

3.3 Tahapan Ketiga

Pengembangan strategi pengelolaan, berdasarkan pemahaman tentang geologi karst, merancang strategi pengelolaan, termasuk pengembangan perlindungan lingkungan, infrastruktur yang sesuai dengan kondisi geologi (Iqbal, 1995).



Gambar 2 Kondisi satuan batuan dan kontak satuan batuan. a.) Satuan batupasir Ratatotok, b.) Kontak antara satuan breksi andesit-batugamping basa dengan batupasir Ratatotok yang tersingkap tegas, c.) Kontak satuan batugamping Ratatotok dengan satuan breksi andesit-batugamping basa yang tersingkap tegas, d.) Kenampakan struktur sedimen berupa *flute cast* pada satuan batugamping Ratatotok e.) kenampakan satuan batuan batugamping lempungan Ratatotok yang didominasi kekar

4 Hasil Penelitian

4.1 Geologi Daerah Penelitian

Hasil pemetaan geologi (Gambar 1) ditemukan terdapat 6 satuan batuan pada daerah penelitian yang dibandingkan dengan peneliti sebelumnya (Effendi

dan Bawono, 1997) dan di antaranya dari yang paling tua (Gambar 2):

Satuan Lava Andesit-Basalt Alason, Satuan ini terdiri dari batuan lava andesit-basalt (Effendi dan Bawono, 1997) dengan warna dominan abu-abu terang, dengan komposisi mineral mafik amfibol,

biotit serta kehadiran kuarsa, bertekstur afanitik yang memanjang dari timurlaut ke baratdaya, diperkirakan hasil proses aktifitas vulkanik laut dalam dari Gunungapi Purba Surat. Berdasarkan Satuan Batugamping Lempungan yang merupakan satuan yang selanjutnya terendapkan menunjukkan lingkungan pengendapan laut dalam. Berdasarkan peneliti sebelumnya dimana dilakukan analisis fosil foraminifera planktonik pada sisipan napal ditemukan *Globorotalia periphereacuta*, *Globorotalia mayerii*, dan *Globorotalia praemenardii* yang merupakan fosil indeks penciri umur Miosen Awal-Tengah (Effendi dan Bawono, 1997).

Batugamping Lempungan Ratatotok, Satuan Batugamping Lempungan Ratatotok, Satuan ini terlihat sedikit pada bagian utara daerah penelitian dengan kenampakan berupa batugamping berbutir lempung-lanau dengan warna bervariasi dari abu-abu muda hingga krem, kadang-kadang kecokelatan atau kehijauan. Teksturnya halus hingga sedang, didominasi oleh butiran lempung. Komposisi utamanya adalah kalsit dan lempung, terdapat kekar kekar yang memotong berarah Timur-Barat dan di beberapa bagian terlihat kekar terisi mineral kuarsa (Gambar 3). Pembentukan batugamping lempungan ini diperkirakan sebagai endapan laut dalam dicirikan dengan kehadiran fosil bentonik laut dalam seperti *Textularia* sp. (Effendi dan Bawono, 1997).

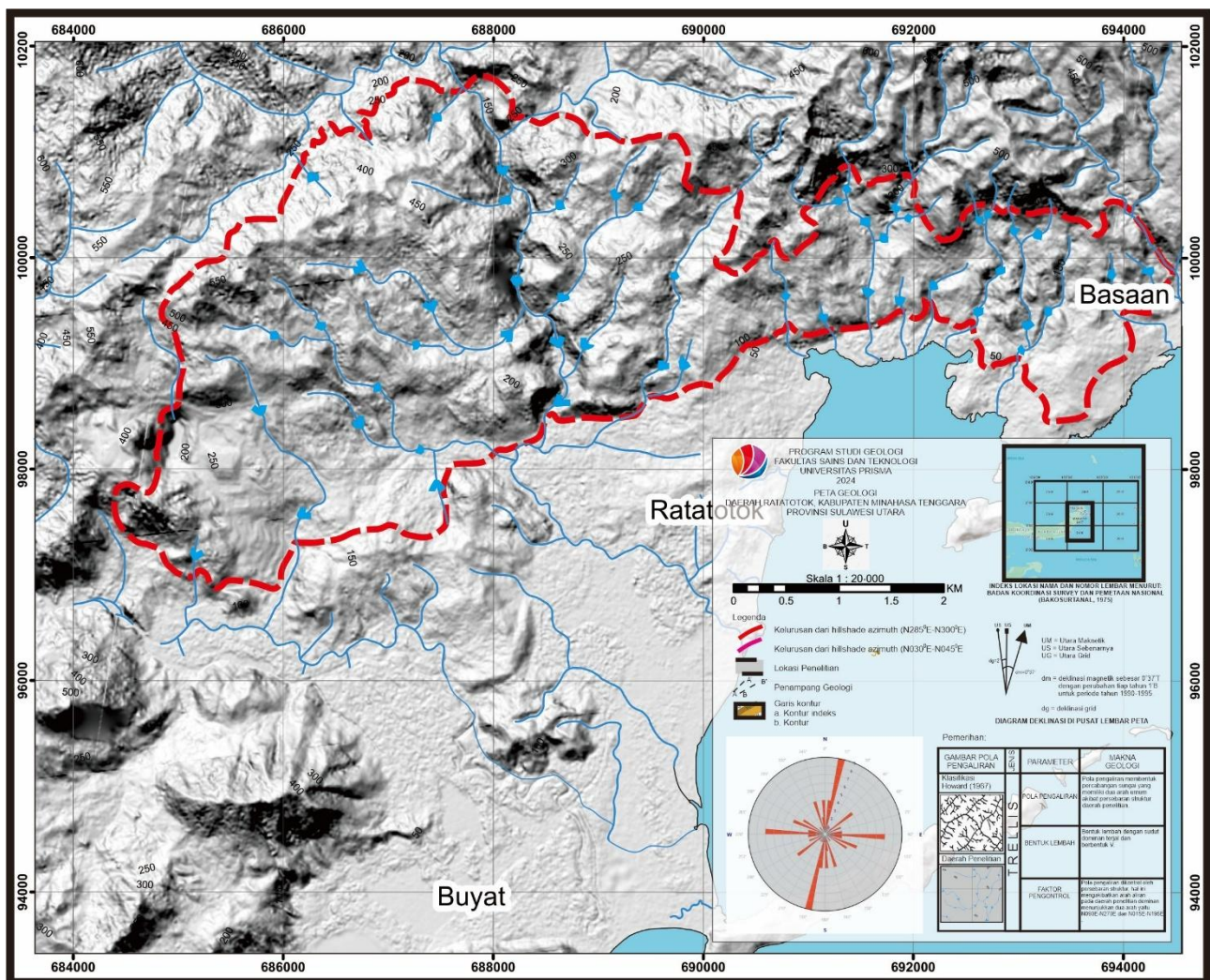
Batugamping Ratatotok, terdiri dari batugamping kristalin berwarna krem hingga abu-abu. Teksturnya kasar dengan kristal kalsit yang

terlihat jelas. Komposisinya didominasi oleh kalsit. Struktur batuan ini menunjukkan lapisan, terumbu dan gamping klastika yang menyusun keseluruhan pada bentuk morfologi Karst Ratatotok. Berdasarkan peneliti sebelumnya (Effendi dan Bawono, 1997) mencirikan lingkungan pengendapan laut neritik penelitian tersebut juga menunjukkan umur berdasarkan foram planktonik yaitu Miosen Awal-Tengah. Satuan ini menyajikan struktur geologi yang kompleks, dengan kehadiran intrusi di bagian Utara luar peta. Komposisi yang didominasi batugamping menyebabkan pelarutan terbentuk dan juga hadirnya struktur sedimen *flute cast* sebagai penciri lingkungan laut dangkal-sungai pada daerah penelitian. berdasarkan peneliti sebelumnya terdapat mineralisasi tipe Charlin dimana Satuan Batugamping Ratatotok sebagai *hostrock* terbukti dari hadirnya vein kuarsa.

Satuan Breksi Andesit-batugamping Basaan, Satuan breksi andesit-batugamping Basaan terdiri dari fragmen andesit dan batugamping yang terikat dalam matriks yang lebih halus. Warna batuan ini bervariasi, umumnya dari abu-abu hingga coklat. Teksturnya kasar, dengan butiran yang terlihat jelas. Komposisinya mencakup andesit sebagai komponen utama, ditambah kalsit dari batugamping. Struktur breksi menunjukkan fragmen-fragmen yang terdistribusi acak, di beberapa sisi dalam satuan ini ditemukan breksi dan batupasir dengan kedudukan berarah selatan dengan kemiringan berkisar 17-34°.



Gambar 3 a) Kenampakan potensi mineralisasi berupa pengisian mineral kuarsa pada kekar (*Vein*), b) kenampakan potensi negatif berupa longsor pada Sungai Ratatotok



Gambar 4 Peta pola pengaliran daerah penelitian yang menunjukkan jenis dan pola aliran sungai berdasarkan morfologi serta struktur geologi

Ditemukan juga kekar berpasangan yang menunjukkan adanya tegasan berarah Tenggara-Baratlaut yang diperkirakan tegasan hasil tektonik subduksi di Sulawesi Utara. Satuan ini diperkirakan hasil rombakan lava bersumber dari Utara daerah penelitian (Effendi dan Bawono, 1997).

Satuan Batupasir Ratatotok, Satuan batupasir Ratatotok terdiri dari pecahan batuan kasar yang menyudut, menunjukkan morfologi gelombang (Effendi dan Bawono, 1997). Warna batupasir ini umumnya bervariasi dari coklat hingga kuning keemasan. Teksturnya kasar dengan butiran yang jelas terlihat. Struktur batuan menunjukkan lapisan-lapisan yang terorganisir, mencerminkan pengendapan akibat pasang-surut. Komposisi utamanya adalah kuarsa, dengan absennya karbonat menegaskan kondisi lingkungan pembentukannya yang nonkarbonat.

Endapan Aluvial Ratatotok, endapan lepas berupa bongkah, kerakal, kerikil yang terdiri dari

andesit, ditemukan juga bongkah yang menunjukkan urat kuarsa dan di beberapa sisi terdapat pecahan batugamping yang terendapan pada *pointbar* sungai. Satuan ini biasanya muncul berupa endapan lepas sungai stadia tua pada lokasi Ratatotok.

4.2 Pola Aliran Sungai

Pada penelitian ini dilakukan analisis pola pengaliran tipe trellis berdasarkan peta Digital Elevation Model (DEM). Hasil analisis tersebut menunjukkan pola yang dipengaruhi oleh struktur geologi dibuktikan dengan hasil pemetaan menunjukkan dua arah aliran utama yang terbentuk sebagai akibat dari distribusi struktur geologi, seperti kekar dan sesar (Gambar 4).

Arah N090°E-N270°E dan arah N015°E-N195°E, Aliran sungai menunjukkan pengaruh struktur kekar yang memotong batuan. Pola ini mengindikasikan bahwa sungai-sungai di daerah ini cenderung mengikuti pola kekar tersebut. Berdasarkan data DEM,

bentuk lembah pada daerah penelitian ini juga menunjukkan tingkat kelerengan terjal dan berbentuk V. Bentuk V pada lembah ini menandakan bahwa aliran sungai telah mengalami erosi vertikal yang intens.

Pengaruh struktur geologi terhadap pola pengaliran ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana proses geologi, mempengaruhi pembentukan lanskap dan aliran sungai.

4.3 Struktur Geologi

Berdasarkan analisis arah kelurusan struktur di daerah Ratatotok, diperoleh dua arah dominan yang menunjukkan orientasi utama dari kekar dan struktur geologi lainnya. Arah dominan ini adalah N023°E (Timurlaut-Baratdaya) dan N112°E (Tenggara-

Baratlaut). Kedua arah ini mencerminkan pergerakan yang dipengaruhi oleh tektonik regional. Orientasi ini berhubungan dengan aktivitas tektonik di daerah Sulawesi Utara. Pengaruh pada lanskap, dapat mempengaruhi aliran sungai dan pembentukan lembah.

Perkembang struktur yang masif pada daerah penelitian menunjukkan secara keseluruhan adanya pergerakan dari tegasan utama yang serupa dengan arah kelurusan Tenggara-Baratlaut, arah tersebut membentuk sesar mendatar yang tersebar di dalam lokasi penelitian dan beberapa data struktur berupa seperti sesar naik dan turun mengikuti arah *gash fracture* seperti pada arah kelurusan Timurlaut-Baratdaya.



Gambar 5 Struktur geologi kekar/rekahan yang berkembang pada batugamping di daerah penelitian

Hal ini juga membuktikan (Djaya dkk, 2024; Rachmadhan dan Djaya, 2023) aktifitas tektonik Di bagian timur Indonesia, terdapat sebuah lempeng kecil yang dikenal sebagai Lempeng Laut Molluca. Lempeng tersebut dikelilingi oleh lempeng-lempeng besar seperti Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, Molluca Sea Plate terletak di pusat interaksi tektonik yang kompleks. Di Sulawesi Utara terdapat dua zona subduksi utama di bagian Utara, Lempeng Pasifik menunjam di bawah Lempeng Eurasia, sementara di selatan, Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia. Proses subduksi ini menciptakan pola tektonik dua arah yang mempengaruhi kawasan sekitarnya. Arah dan orientasi kekar, Kekar dan sesar yang membentuk

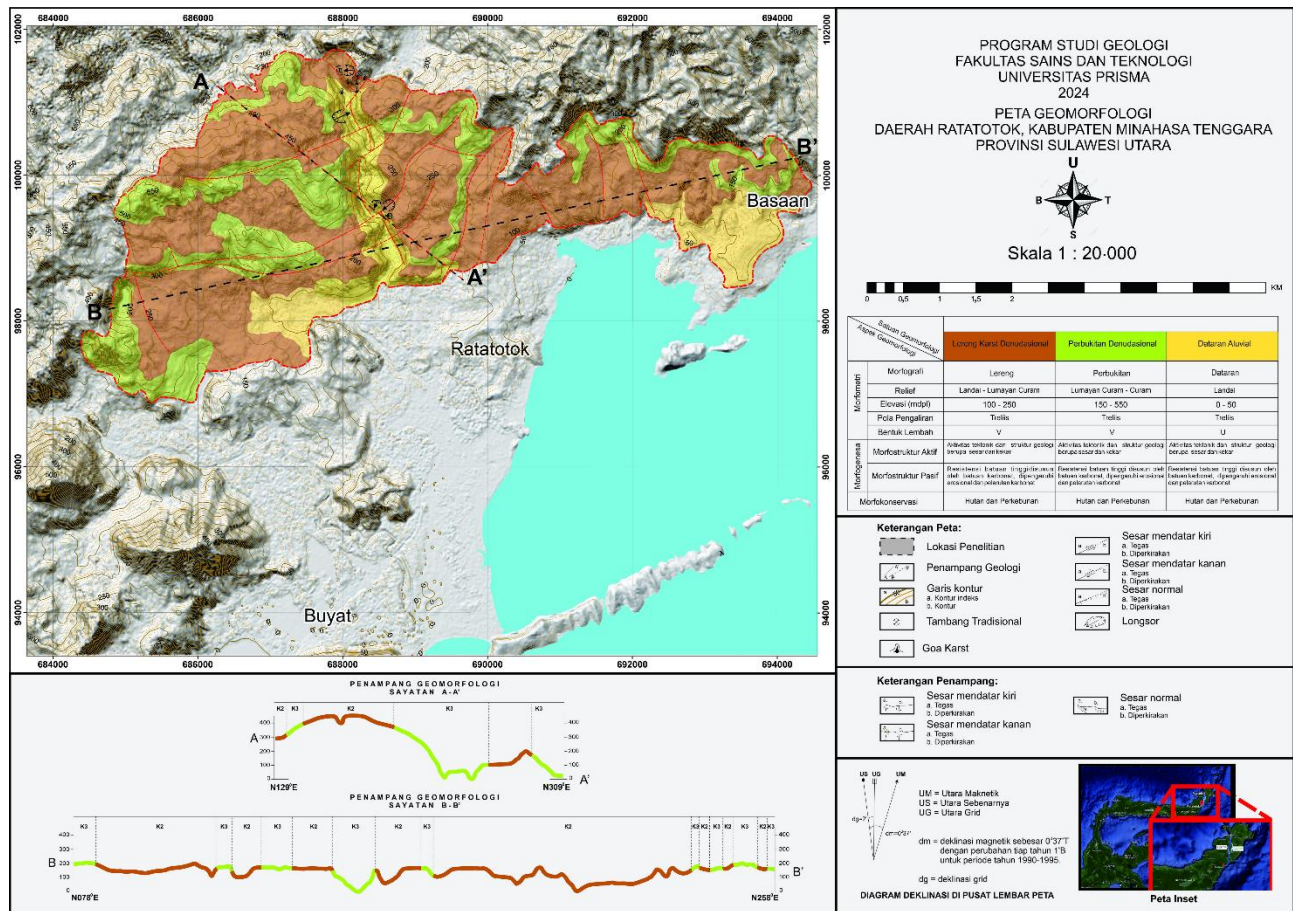
jaringan dalam batuan karbonat memungkinkan aliran lebih efisien, mempercepat proses pelarutan dan pembentukan fitur karst (**Gambar 5**).

4.4 Geomorfologi Daerah Penelitian

Berdasarkan relief dan pemodelan geomorfologi pada daerah penelitian (**Gambar 6**) didapatkan tiga bentuk lahan yang mengacu peneliti sebelumnya (Van Zuidam, 1985) terdiri dari Lereng Karst Denudasional dengan kenampakan lereng relief landai-agak curam dengan elevasi 100-250 mdpl menunjukkan pola pengaliran trellis dengan bentuk lembah V, menunjukkan aktifitas struktur yang masif dengan kemunculan sesar dan kekar pada lereng karst. Perbukitan denudasional, dengan morfografi

perbukitan dengan relief agak curam-curam, elevasi 150-550 mdpl. Dataran Aluvial, dataran dengan relief landai ketinggian 0-50m bentuk lembah U serta

Lembah Karst lembah dengan relief sangat curam elevasi 50-250mdpl.



Gambar 6 Peta geomorfologi daerah penelitian yang mengilustrasikan bentuk lahan dan karakteristik geomorfik

5 Identifikasi Potensi Geologi

5.1 Potensi Geohazard

Peta potensi *geohazard* ini menggunakan *overlay* parameter litologi, kelerengan, dan struktur geologi untuk menggambarkan potensi bahaya di daerah karst. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi risiko dan merencanakan langkah mitigasi. Peta ini memakai gradasi warna untuk menunjukkan tingkat bahaya: merah untuk risiko tinggi, kuning untuk risiko sedang, dan hijau untuk risiko rendah (Gambar 7).

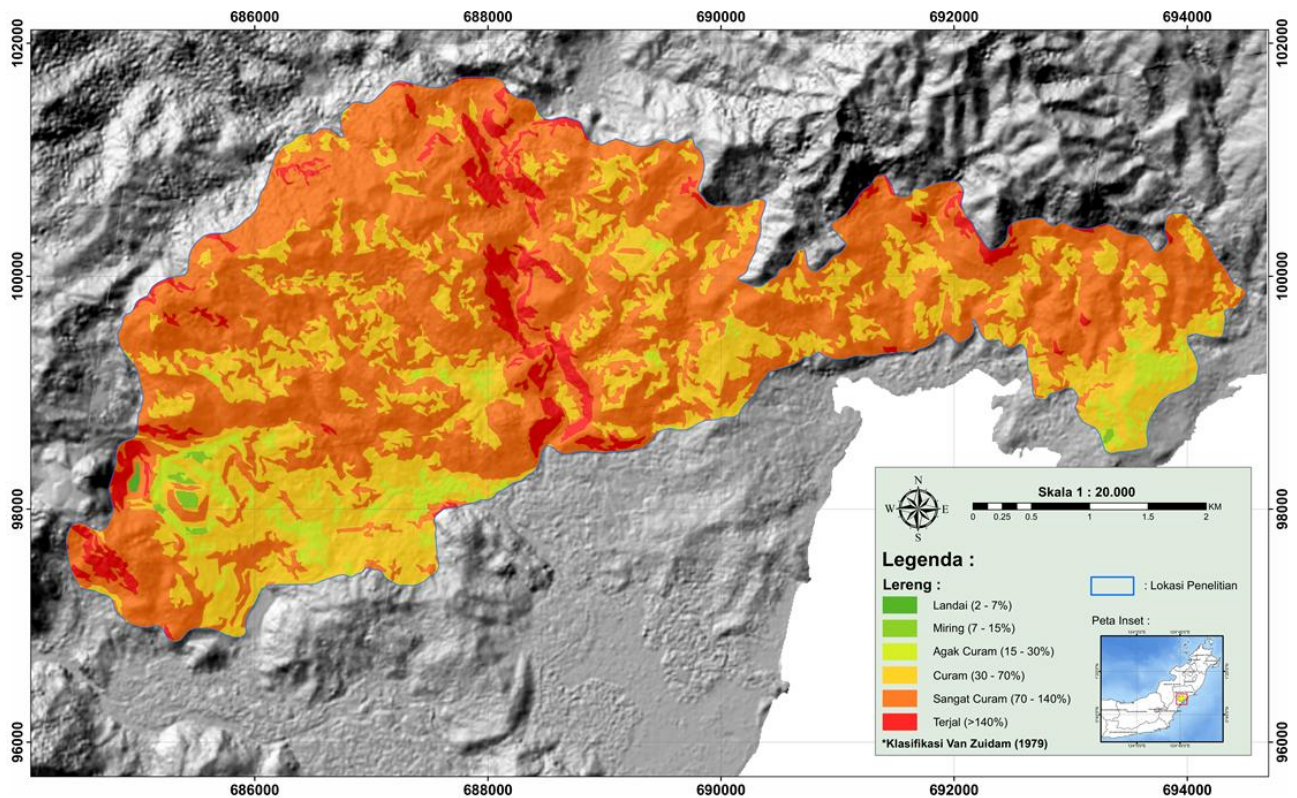
Risiko tinggi (merah). area dengan litologi lemah, kelerengan curam, dan struktur geologi aktif. Berpotensi tinggi terhadap tanah longsor, keruntuhan batuan, dan *subsidence*. Risiko sedang (kuning), area dengan kelerengan sedang dan litologi yang sedikit kurang stabil, dengan kemungkinan bahaya lebih rendah tetapi masih perlu perhatian. Risiko rendah (hijau), area dengan litologi stabil dan kelerengan

datar, menunjukkan risiko minimal terhadap *geohazard*.

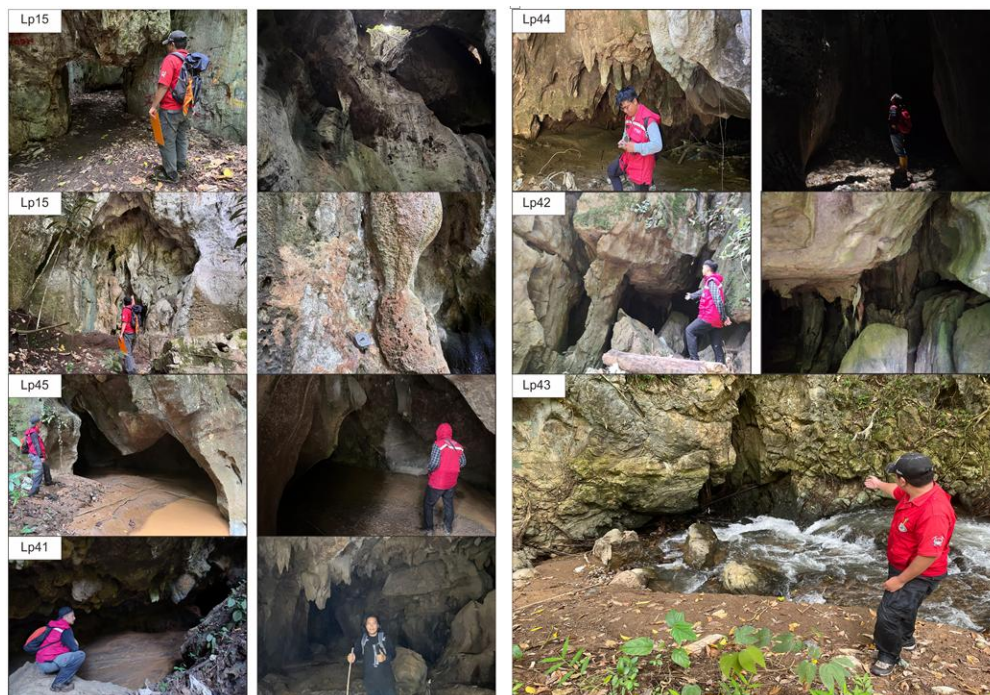
Peta ini membantu dalam penilaian risiko dan perencanaan mitigasi, seperti stabilisasi lereng dan pengelolaan air hujan untuk mengurangi dampak bahaya *geohazard*. Berdasarkan persebaran itu kita dapat mengetahui lokasi karst yang berdekatan dengan bentuk lahan lembah dan lereng serta perkembangan sesar lokal menjadi potensi *geohazard* dengan tingkat yang tinggi.

5.2 Potensi Ekowisata Gua Karst

Goa karst, dengan formasi seperti stalaktit dan stalagmit, menawarkan pengalaman wisata unik yang menarik bagi penggemar geologi dan speleologi. Pada daerah penelitian ditemukan kurang lebih sebanyak enam goa yang tersebar pada zona sesar Utara-Selatan Ratatotok. Kenampakan goa karst pada Lokasi penelitian menunjukkan potensi ekowisata dengan berbagai keragaman goa karst (Gambar 8).



Gambar 7 Peta potensi geohazard



Gambar 8 Potensi ekowisata karst (goa karst), Lp15.) kenampakan goa karst yang berada tepat disamping jalan utama; Lp45.) kenampakan goa dengan stalaktit yang baik; Lp41; 44; 42) goa dengan jarak yang berdekatan terdapat halo dan akses yang tidak sulit; Lp43.) terdapat goa vertikal di bagian selatan dari ketiga goa sebelumnya

Lp15, Goa karst berada tempat di samping jalan utama (terdapat pengembangan oleh warga lokal; Lp45, kenampakan goa dengan stalaktit yang baik; Lp41; 44; 42, goa dengan jarak yang berdekatan terdapat Halo dan akses yang tidak sulit; Lp43,

terdapat goa vertikal yang berada di bagian selatan dari ketiga goa sebelumnya.

Berdasarkan perkembangan goa karst pada daerah penelitian menjadi penting untuk menciptakan lingkungan yang berkelanjutan. Hal ini

dilihat berdasarkan pendapatan utama warga sekitar yang didominasi oleh penambangan emas, kegiatan tersebut akan merusak ekowisata yang luar biasa dan lebih berkelanjutan.

5.3 Kendala dan Tantangan

Degradasi lingkungan akibat penambangan, pencemaran air dan tanah, serta erosi dapat merusak struktur geologi karst dan mengurangi keanekaragaman hayati. Perubahan iklim dan perubahan penggunaan lahan juga mengancam keberlanjutan kawasan karst.

6 Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis potensi *geohazard* dan ekowisata di daerah karst menunjukkan bahwa pemetaan risiko sangat penting untuk pengelolaan dan mitigasi bahaya geologi. Peta potensi *geohazard*

yang mengintegrasikan litologi, kelerengan, dan struktur geologi memberikan gambaran yang jelas tentang risiko tinggi, sedang, dan rendah. Hal ini memungkinkan perencanaan tindakan mitigasi yang efektif, seperti stabilisasi lereng dan pengelolaan air hujan.

Di sisi lain, potensi ekowisata goa karst menawarkan peluang menarik untuk pendidikan dan pelestarian lingkungan. Penjelajahan goa yang berkelanjutan dapat meningkatkan kesadaran tentang pentingnya ekosistem karst, namun harus dilakukan dengan perhatian untuk mencegah kerusakan.

Dengan demikian, kombinasi antara pengelolaan risiko *geohazard* dan pengembangan ekowisata yang bertanggung jawab dapat memberikan manfaat lingkungan dan sosial yang berkelanjutan.

Referensi

- Azzaman, M. A., Idrus, A. & Titisari, A. D. 2021. Geology, hydrothermal alteration and mineralization of the Carlin-type gold deposit at South Ratatotok, Southeast Minahasa Regency, North Sulawesi Province, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 789(1), pp. 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/789/1/012076>
- Djaya, J. H. M., & Rachmadhan, H. D. 2024. Geologi dan Studi Fasies Gunungapi Awu, Daerah Bungalawang dan sekitarnya, Kecamatan Tahuna, Kabupaten Kepulauan Sangihe, Sulawesi Utara. Journal Geological Processes, Risks, and Integrated Spatial Modeling, 2(1), pp. 27-33.
- Effendi, A. C., & Bawono, S. S. 1997. Peta geologi lembar Manado, Sulawesi Utara. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Ford, D., & Williams, P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons.
- Gussyak, S., Muslim, D. & Yuningsih, E. T. 2022. Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Lorong Gua Karst Karangnunggal Kabupaten Tasikmalaya Provinsi Jawa Barat. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, 13(1), pp. 46-58. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v13i1.399>
- Gunawan, T., & Suharsono. (2018). Karst Landscape and Its Management Challenges: A Case Study in Gunung Sewu Karst Area, Indonesia. Indonesian Journal of Geography.
- Haryanto, A., & Nurlatifah, E. (2020). Community-Based Conservation of Karst Ecosystems: Lessons from Kebumen, Indonesia. Biodiversity Journal.
- Haryono, E., Sasongko, M. H. D., Barianto, D. H., Setiawan, J. B., Hakim, A. A. & Zaenuri, A. 2018. The geomorphology and hydrogeology of the karstic Islands Maratua, East Kalimantan, Indonesia: the potential and constraints for tourist destination development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 148, pp. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/148/1/012014>
- Haryono, E., & Adji, T. N. (2004). Geomorfologi dan hidrologi karst. UGM Press.
- Iqbal, M. A. (1995). Iqbal, M. A. 2018. Engineering experience with limestone. In: Beck, B. F. (ed.) Karst Geohazards. London: Routledge. pp. 463-468. <https://doi.org/10.1201/9780203749708>
- Irianto, S., Solihin, Nasihin, Z. 2020. Identifikasi Bentang Alam Karst Untuk Penentuan Kawasan Konservasi Dan Budidaya Daerah Cibarani Dan Sekitarnya, Kecamatan Cirinteun, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Jurnal Teknik, 21(2), pp. 47-53
- Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia. (2018). National Medium-Term Development Plan 2015-2019. Jakarta: Ministry of Environment and Forestry.
- Okto, A., Meliawati, Hasria, Muliddin, Arisona, Suryawan & Sawaluddin 2023. Studi Geomorfologi Karst Pulau Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara dan Potensinya Sebagai Geowisata. Jurnal Geosains dan Remote Sensing, 4(1), pp. 27-36. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2023.v4i1.105>

- Permana, R., & Nalendra, S. (2021). Geological modelling from field data and geological knowledge Part I. Modelling method coupling 3D potential-field interpolation and geological rules. Research Gate.
- Prasetyo, L. B., & Suryantini, A. (2019). Sustainable Development of Karst Areas: A Case Study in Gunung Kidul Regency, Indonesia. *Environmental Engineering and Management Journal*.
- Rachmadhan, H.D., Mugiyanoro, A., Janitra U, A., Maha, M., 2019. The trend of Foraminifera Benthic Assemblages for Comparing Paleo-environmental change: a Case study at Bulu and Wonosari Formation, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 256, 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012029>
- Rachmadhan, H. D., & Djaya, J. H. M. 2023. Volcanic And Tectonic Interactions In Sangihe Island And Mount Awu: An Integrative Study In The Context Of Indonesian Geology. *Journal Geological Processes, Risks, and Integrated Spatial Modeling*, 1(2), 39-46.
- Raharja, B., Setianto, A., and Titisari, A.D., 2020. Ekstraksi Informasi dari DEM untuk Pemetaan Struktur Geologi Studi Kasus di Daerah Kokap, Kulon Progo. *Jurnal Geomine*, 8 (2), pp. 80-95. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i2.483>
- SNI 1992. SNI 13-4691-1998 ICS 07.060. Penyusunan peta geologi. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Suri, M. & Susilo, B. K. 2020. Identifikasi Dolina Karst Formasi Kalipucang Melalui Analisis DEM, Daerah Ayah, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah. *Seminar Nasional Avoer XII*, Palembang. Universitas Sriwijaya. pp. 218-224.
- Suprianto, A., Prasetyono, D., Hardianto, A. S., Labib, M. A., Efendi, S., Hidayat, K., Triyono, J. A., & Ahmad, A. A. (2017). Identifikasi Hubungan Kelurusan Dan Lorong Gua Karst Di Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang. *Prosiding Seminar Nasional Geotik*. Surakarta. pp. 20-30.
- Tim Sandi Stratigrafi Indonesia IAGI. (2023). Sandi Strat Sandi Stratigrafi in Indonesia 2023. IAGI Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Turner, S. J., Flindell, P. A., Hendri, D., Hardjana, I., Lauricella, P. F., Lindsay, R. P., Marpaung, B. & White, G. P. 1994. Sediment-hosted gold mineralisation in the Ratatoto district, North Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50(1-3), pp. 317-336. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)90029-9)
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Guide to Geomorphologic Aerial Photographs Interpretation and Mapping*. Enschede, The Netherlands.

