

**Inventarisasi dan Evaluasi Nilai Saintifik Keragaman Geologi (Geodiversity) Pulau Binongko Bagian Selatan di Kabupaten Wakatobi*****Geodiversity Inventory and Scientific Value Evaluation of Southern Binongko Island in Wakatobi Regency***

La Ode Asruddin, Masri, dan La Ode Ngkoimani

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Universitas Halu Oleo  
Jalan H.E.A Mokodompit Kampus Hijau Bumi Tridharma, Anduonohu, Kendari, Sulawesi Tenggara

e-mail: masri@uho.ac.id

Naskah diterima 06 maret 2023, selesai direvisi 2 maret 2024, dan disetujui 30 maret 2024

**ABSTRAK**

Pulau Binongko merupakan salah satu pulau terbesar di Kabupaten Wakatobi, Sulawesi Tenggara dengan keindahan alam yang masih alami dan eksotik. Beberapa objek wisata merupakan produk karstifikasi oleh kelompok batugamping Formasi Ambeua (Tmpa) dan batugamping berumur Kuartar (Qpl). Untuk mengetahui potensi keragaman geologi (*geodiversity*) di pulau tersebut, telah dilakukan inventarisasi dan evaluasi dari nilai saintifiknya. Paper ini akan menyampaikan hasil inventarisasi dan evaluasi keragaman geologi sebagai potensi warisan geologi di Pulau Binongko Bagian Selatan. Metode yang dilakukan meliputi, kegiatan pemetaan geologi lapangan dan analisis laboratorium. Kegiatan pemetaan mencakup perencanaan lintasan geologi, pengambilan data litologi, deskripsi geometri gua, dan penyusunan matriks inventarisasi keragaman geologi, sedangkan analisis laboratorium berupa pengamatan sayatan tipis menggunakan mikroskop polarisasi. Satuan geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi gemorfologi perbukitan dan gemorfologi pedataran karst. Analisis petrografi pada sembilan sayatan tipis menunjukkan satuan batugamping kristalin, *grainstone*, *packstone*, *wackestone*, dan *mudstone*. Struktur geologi berupa teras batugamping dengan variasi litologi yang berbeda. Keragaman geologi daerah penelitian dibagi menjadi kelompok situs gua endokarst, perbukitan karst, pantai, dan teras batugamping. Dijumpai 11(sebelas) situs geologi yaitu Gua Topa Raja, Gua Topa Lemali, Gua Topa Lembuko, Gua Wa Ode Goa, Pantai Yoro, Bukit Koncu Patua Wali, Pantai Mbara-mbara, Gua La Sikori, Taman Batu, Bukit La Handu, dan Pantai Wa Cimbaumba. Situs geologi pada daerah penelitian memiliki nilai sedang hingga tinggi. Perbandingan berdasarkan kriteria warisan geologi (*geoheritage*), daerah penelitian berperingkat nasional, dengan kisaran nilai saintifik rendah, menengah, hingga tinggi. Nilai saintifik tertinggi pada geosite Taman Batu dan Bukit Koncu Patua Wali. Direkomendasikan tiga jalur geosite meliputi: jalur gua, jalur bukit karst, dan jalur pantai.

**Kata kunci:** Ambeua, Binongko, geosite, gua vadose, teras batugamping**ABSTRACT**

*Binongko Island is one of the largest islands in Wakatobi Regency, Southeast Sulawesi, with unspoiled and exotic natural tourism. Several tourism objects are karstification products from the Ambeua Formation (Tmpa) and Quaternary (Qpl) limestone. To determine the potential of geodiversity on the island, an inventory and scientific value assessment were conducted. This paper presents the results of the inventory and evaluation of geological diversity as a potential geological heritage on Southern Binongko Island. The methods involve field geological mapping and laboratory analysis. Field geological mapping include geological trajectory planning, lithology data collection, cave geometry descriptions, and preparation of geological diversity inventory matrices. Laboratory analysis includes observing the thin section using microscope polarization. The geomorphological units of the study area can be divided into karst hills and karst plains. Petrographic analysis of nine thin sections showed crystalline limestone units, grainstone, packstone, wackestone, and mudstone—geological structures in limestone terraces with different lithological variations. The geological diversity of the study area is divided into groups of endokarst cave, karst hills, beaches, and limestone terraces which are divided into 11 (eleven) geological sites, i.e., Topa Raja Cave, Topa Lemali Cave, Topa Lembuko Cave, Wa Ode Goa Cave, Yoro Beach, Koncu Patua Wali Hill, Mbara-mbara Beach, La Sikori Cave,*

*Rock Park, La Handu Hill, and Wa Cimbaumba Beach. Geological sites in the study area have medium to high values. The comparison is based on the criteria of geological heritage (geoh heritage); the research area is ranked nationally, with a low, medium, and high scientific value. The highest scientific value is in the Taman Batu geosite and Koncu Patua Wali Hills. Three geotracks are recommended: cave geotrack, rock garden hill geotrack, and beach geotrack.*

**Keywords:** *Ambeua, Binongkgeosite, geosite, vadose cave, reef terrace*

## PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi terbentuk dengan mekanisme tektonik rumit yang tersusun atas berbagai mintakat benua dan samudera (Hall, 2012, Hamilton, 1979, Surono dan Hartono, 2013). Lengan tenggara Sulawesi merupakan amalgamsi mintakat benua berumur Trias-Jura dan mintakat samudera Kompleks Ofiolit berumur Kapur, serta dilanjutkan dengan pengendapan sedimen molasa Sulawesi (Surono, 1997, Kadarusman dr., 2004, Nugraha dr., 2022). Selain itu, juga terdapat mintakat benua oleh platform karbonat yang membentuk Pulau Muna, Pulau Buton, dan Kepulauan Wakatobi (Sikumbang dr., 1995, Sukarna dan Koswara, 1994). Kepulauan Wakatobi adalah kawasan taman nasional dengan 25 (duapuluh lima) gugusan terumbu karang sepanjang 600 km. Kepulauan ini merupakan destinasi wisata unggulan yang memadukan aspek konservasi hayati berupa koral dan atraksi budaya setempat (Salim dan Purbani, 2015, Clifton, 2013). Pulau Binongko secara geografis terletak di bagian selatan Pulau Wakatobi tepatnya pada titik koordinat  $05^{\circ}57'S$  dan  $124^{\circ}02'E$  dan merupakan salah satu pulau terbesar di Kabupaten Wakatobi dengan luas wilayah sekitar  $99,64 \text{ km}^2$  (Badan Pusat Statistik, 2021). Secara administratif, Pulau Binongko terbagi atas dua kecamatan yaitu Kecamatan Binongko dan Kecamatan Togo Binongko.

Pulau Binongko tersusun atas batugamping kuartar dengan proses karstifikasi yang intensif. Proses ini menghasilkan berbagai produk endokarst dan eksokarst berupa jaringan gua, perbukitan karst, dan morfodinamika pantai karst. Selain proses karstifikasi, morfologi pada pulau ini dikontrol oleh pengangkatan terumbu selama periode Kuartar yang membentuk undakan teras terumbu pada pesisir timur dan barat daerah penelitian. Pengangkatan terse-

but berhubungan dengan tumbukan Mintakat Wakatobi terhadap Mintakat Buton (Sukarna dan Koswara, 1994).

Keberadaan kawasan karst ini memiliki nilai penting, selain sebagai kawasan reservoir air, karst juga memiliki potensi sumberdaya alam yang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pariwisata dan bahan galian untuk pertambangan. Selain itu karst memiliki daya tarik bagi para ilmuwan sebagai laboratorium alam yang sarat akan obyek-obyek menarik yang dapat diteliti. Produk kartisikasi menunjukkan evolusi kawasan karst dan beberapa fiturnya beresiko terdegradasi sehingga perlu dilindungi sebagai kawasan lindung geologi berupa Kawasan Bentang Alam Karst dan atau Kawasan Cagar Alam Geologi (Mulyadi, 2016, Sunkar, 2017). Keindahan bentang alam karst juga dapat dimanfaatkan untuk kegiatan geowisata (Jaya dr., 2022, Sunkar dr., 2022). Keragaman geologi yang bernilai ilmiah pada kawasan karst dapat ditetapkan sebagai situs warisan geologi yang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan penelitian, pendidikan dan pariwisata (Menteri ESDM, 2020, Pusat Survey Geologi, 2017a).

Keragaman geologi (*geodiversity*) adalah gambaran keunikan komponen geologi seperti mineral, batuan, fosil, struktur geologi, dan bentang alam yang menjadi kekayaan hakiki suatu daerah serta keberadaan, kekayaan penyebaran, dan keadaannya yang dapat mewakili proses evolusi geologi suatu daerah (Menteri ESDM, 2020). Penilaian kelayakan keragaman geologi menjadi sebuah warisan geologi dapat dilakukan melalui tahapan pengkriteriaan, perbandingan, dan pengklasifikasian. Tahap pengklasifikasian mencakup identifikasi nilai makna (makna ilmiah, edukasi, wisata) dan potensi resiko degradasi pada suatu situs geologi (Brilha, 2015, Djafar dr., 2020).

Penelitian ini mencakup identifikasi fitur keragaman geologi oleh proses karstifikasi pada Pulau Binongko bagian selatan. Fitur keragaman mencakup keragaman litologi batugamping dan morfologi khas karst oleh proses endogen dan eksogen. Berbagai fitur keragaman geologi dikelompokkan menjadi situs geologi. Pengkriterian makna dan fungsi situs geologi didasarkan berbagai parameter geologi oleh Djafar dr. (2021) Perbandingan situs geologi pada kategori lokal, nasional, dan global didasarkan pada makna geologi dan rujukan ilmiah pada situs geologi (Menteri ESDM, 2020). Aspek pengklasifikasian hanya berfokus pada evaluasi nilai saintifik dengan kategori tinggi jika hasil evaluasi mencapai >75% (Jaya dr., 2022). Penelitian ini merupakan studi awal dalam evaluasi keragaman geologi di Pulau Binongko untuk mengidentifikasi potensi situs warisan geologi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi pemanfaatan situs geologi untuk keperluan penelitian, pendidikan, dan geowisata.

## METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini mengacu pada Menteri ESDM (2020) berupa metode penelitian kualitatif geologi lapangan dengan dukungan analisis laboratorium. Tahapan mencakup: kegiatan pemetaan dan inventarisasi keragaman geologi, analisis petrografi untuk pengamatan litologi yang lebih detail (Gambar 1). Dilanjutkan dengan identifikasi keragaman geologi yang meliputi: pengkriterian, perbandingan, dan klasifikasi. Penentuan status situs geologi didasarkan pada analisis nilai saintifik yang dinyatakan secara kuantitatif. Keberadaan situs geologi dinyatakan dalam peta sebaran situs geologi. Analisis geomorfologi dilakukan dengan membagi dalam relief, tipe morfologi, kelas lereng, dan stadia daerah. Pembagian satuan geomorfologi berdasarkan klasifikasi genetik karst oleh Brahmantyo dan Bandono (2006). Identifikasi produk eksokarst berupa, lembah karst, menara karst, doline, dan uvala dan produk endokarst yang berupa gua, stalaktit-stalakmit, dan pilar dilakukan mengacu pada deskripsi Anshori dr.

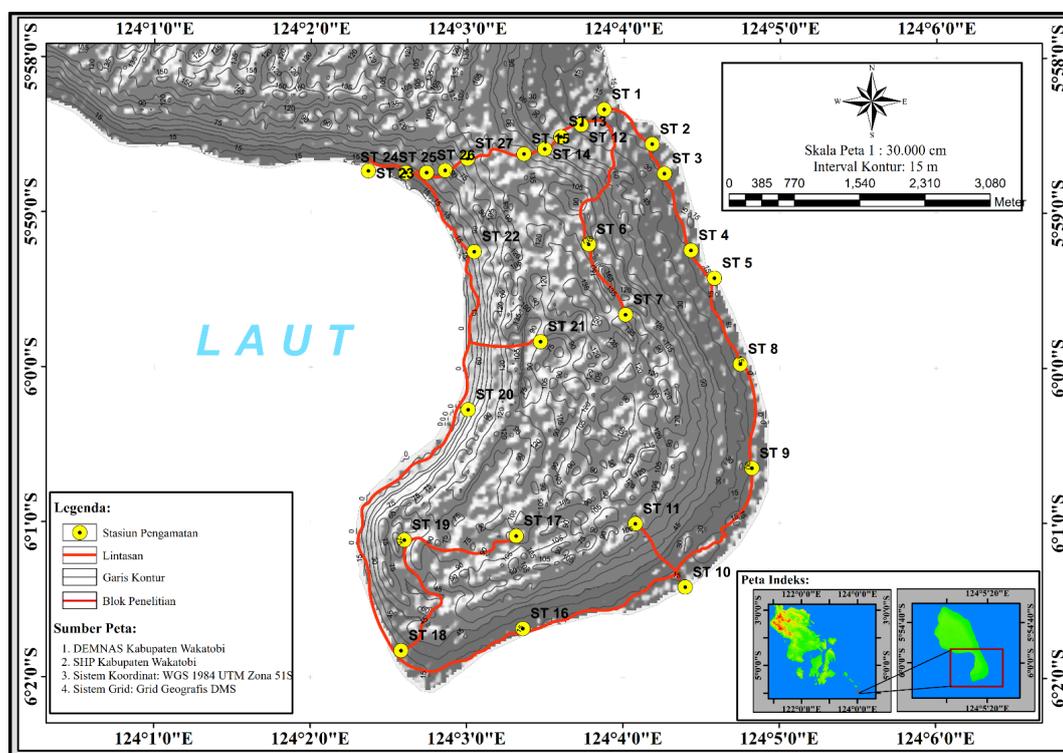


Figure 1. Google Earth timeline from May 5, 2018, to Nov 21, 2022 (collected data).

(2016), Ford dan Williams (2007). 9 (sembilan) sampel batuan diidentifikasi secara megaskopis dan mikroskopik. Analisis megaskopis batuan dilakukan sesuai dengan parameter untuk klasifikasi batuan meliputi pengamatan tekstur, struktur, dan komponen penyusun batuan. Pembuatan sayatan tipis batuan dilakukan terhadap sembilan sampel batuan pada Laboratorium Petrografi Universitas Hasanuddin Makassar, dilanjutkan pengamatan sayatan tipis dengan analisis petrografi menggunakan mikroskop polarisasi tipe Nikon Eclipse E-200. Klasifikasi gua mengacu pada Onac dan van Beynen (2021), dengan data yang diambil berupa bentuk mulut gua, panjang dan lebar mulut gua, genetika gua (gua vadose atau gua freatik), dan tipe ekologi gua.

Inventarisasi keragaman geologi dinyatakan dalam peta sebaran situs geologi. Evaluasi keragaman geologi dilakukan melalui pengkriteriaan, perbandingan, dan pengklasifikasian nilai saintifik. Pengkriteriaan meliputi pemeringkatan status *geodiversity* (rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi, dan terkemuka) berdasarkan pemaknaan nilai dan fungsi (Samodra, 2016). Perbandingan meliputi pemeringkatan lokal, nasional, maupun internasional melalui kriteria lokasi, fitur, dan rujukan ilmiah (Menteri ESDM, 2020). Tahap pengklasifikasian berfokus hanya pada nilai saintifik yang didasarkan pada (A) lokasi yang mewakili kerangka geologi, (B) lokasi kunci penelitian, (C) pemahaman keilmuan, (D) kondisi situs geologi, (E) keragaman geologi, (F) persebaran situs warisan geologi dalam suatu wilayah, dan (G) hambatan dalam penggunaan lokasi situs warisan geologi (Brilha, 2015, Pusat Survey Geologi, 2017a).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

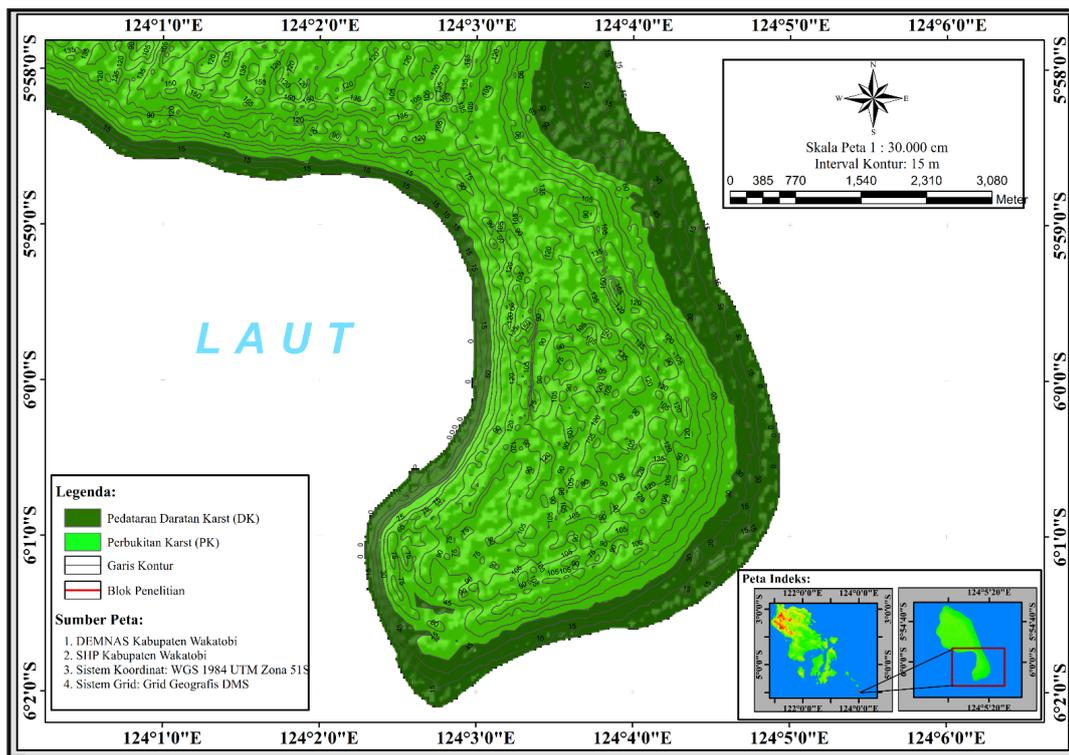
Geomorfologi Pulau Binongko bagian selatan tersusun atas karst yang dibagi menjadi perbukitan karst dan pedataran karst. Satuan perbukitan karst menempati 70% daerah penelitian yang tersebar memanjang utara hingga selatan. Satuan ini dicirikan dengan elevasi hingga 140 mdpl

dengan kemiringan 32°. Satuan ini dicirikan oleh kehadiran fitur eksokarst seperti lembah uvala, doline, dan menara karst. Sebagian besar juga dijumpai fitur endokarst berupa sistem gua dengan berbagai aksesoris dan kenampakan teras terumbu. Satuan pedataran karst menempati 30% daerah penelitian yang tersebar di pesisir timur dan barat pada daerah penelitian. Satuan ini berupa kawasan pesisir pantai dengan elevasi hingga 30 mdpl membentuk kemiringan landai 5°. Satuan ini umumnya tersusun oleh batugamping kristalin dan *packstone* dengan ciri morfologi berupa kehadiran pantai berpasir dan pantai terumbu (Gambar 2).

Sebanyak sembilan sayatan tipis digunakan untuk menentukan satuan batugamping pada daerah penelitian. Analisis petrografi dilakukan dengan melakukan pengamatan komposisi batugamping, meliputi skeletal grain, mineral, mikrit, sparit, dan tipe porositas yang hadir. Batugamping daerah penelitian dapat dibagi menjadi satuan *packstone*, *wackestone*, *mudstone*, dan *grainstone* (Tabel 1). Selain itu setempatan pada ornamen gua juga dijumpai batugamping kristalin.

Batugamping *grainstone* tersebar pada perbukitan karst. Sebagian dalam kondisi segar namun juga dijumpai dalam kondisi lapuk sedang. Satuan batugamping ini didominasi oleh skeletal grain berupa foraminifera dan koral berukuran 0,3-1,9 mm. Sebagian koral hadir dalam bentuk pecahan. Mikrit hadir dengan warna absorpsi abu-abu gelap berukuran kurang dari 4 µm. Porositas hadir dalam berbagai tipe (Gambar 2). Dijumpai porositas tipe *vuggy*, *interparticle* oleh koral, dan gabungan *vuggy* yang membentuk porositas gerowong (*cavern*).

Satuan *packstone* dijumpai di area pedataran karst yang menyusun daerah pantai. Kenampakan megaskopis dari satuan batugamping ini secara umum berwarna cokelat kehijauan dalam kondisi lapuk dan berwarna cokelat terang kekuningan dalam keadaan segar. Satuan batugamping ini dicirikan oleh kehadiran *skeletal grain* hingga 81%, dengan komposisi fosil alga



Gambar 2. Peta geomorfologi Kawasan karst pada bagian selatan Pulau Bonongko yang tersusun atas pedataran (DK) dan perbukitan karst (PK).

Tabel 1 Komposisi penyusun batugamping yang dicirikan oleh kelimpahan skeletal grain (SG) pada *packstone* dan *grainstone* serta kelimpahan mikrit (Mik) dan sparit (Spar) pada *wackestone* dan *mudstone*

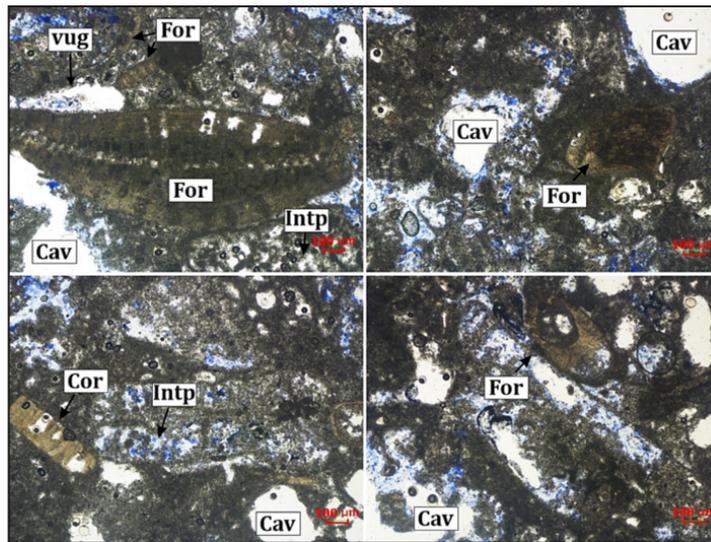
Sampel	Komponen Penyusun (%)				
	Skeletal grain	Non-Skeletal Grain	Mikrit	Sparit	Pori
ST2 Packstone	68%	1%	20%	4%	7%
ST5 Packstone	35%	4%	27%	20%	14%
ST22 Packstone	79%	-	11%	6%	4%
ST24 Packstone	81%	-	5%	12%	2%
ST6 Wackestone	25%	2%	17%	41%	15%
ST12 Wackestone	25%	2%	37%	26%	10%
ST14 Mudstone	7%	2%	68%	17%	6%
ST27 Mudstone	5%	-	70%	21%	4%
ST19 Grainstone	55%	-	8%	12%	25%

berukuran  $\pm 0,22$  mm, koral, dan dominasi oleh foraminifera berukuran 0,05-0,54 mm. Mikrit hadir sebagian telah terkristalisasi membentuk sparit berukuran lebih dari 4 $\mu$ m berbentuk sub-hedral oleh kristal kalsit. Pori hanya sedikit hadir pada ST-5 berupa tipe *shelter* yang dijumpai pada foraminifera berukuran besar (Gambar 3), dengan sebagian dijumpai memiliki porositas *vuggy* dan *interparticle*.

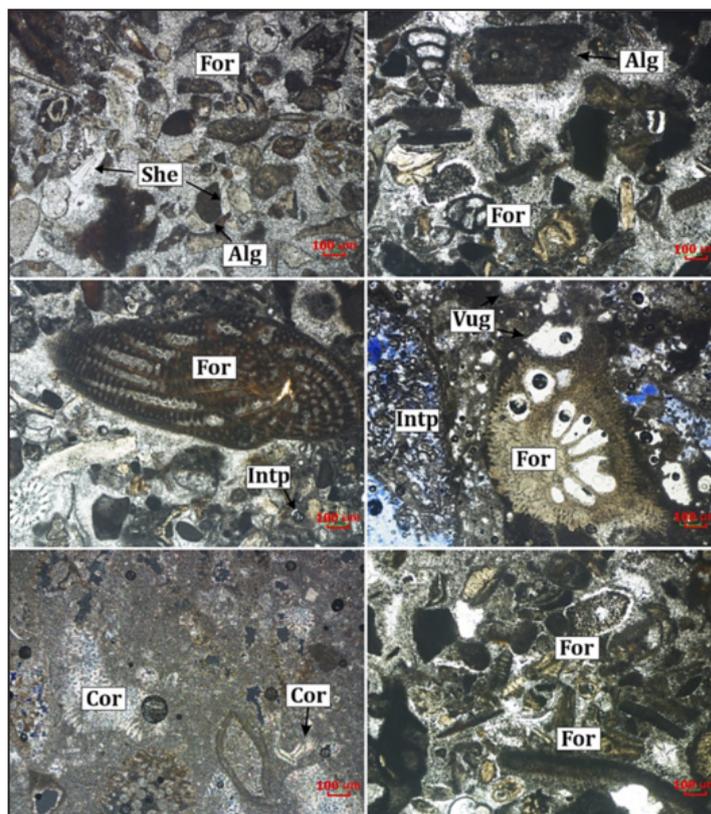
Satuan *wackestone* hadir sebagai penyusun perbukitan karst. Satuan batugamping ini umumnya

tersusun atas foraminifera berukuran 0,19-1,2 mm dan koral. Peloid hadir sebagai *nonskeletal grain* berbentuk elips tanpa struktur internal. Sebagian mikrit juga telah terkristalisasi menjadi sparit. Tipe pori berupa gerowong dan *interparticle* pada foraminifera (Gambar 4). Sedangkan satuan *mudstone* dicirikan oleh kelimpahan mikrit (68%), setempatan hadir foraminifera dan peloid sebagai fragmen.

Secara umum perlapisan batugamping ditemukan dalam kemiringan landai (<15°). Indikasi



Gambar 3. Singkapan dan sayatan tipis *grainstone* dengan kehadiran foraminifera (for) dan koral (cor) beserta porositas *vuggy* (vug), *interparticle* (intp), dan gerowong (cav).



Gambar 4 *Packstone* dengan fragmen skeletal fosil alga (alg), koral (cor) dan foraminifera (for) disertai tipe porositas *shelter* (she), *vuggy* (vug) dan *interparticle* (intp).

struktur geologi ditunjukkan oleh undakan teras terumbu pada tepi timur dan barat daerah penelitian. Undakan ini juga teramati pada peta topografi yang dicirikan dengan perubahan

kontur secara gradual. Undakan teras terumbu erat kaitannya dengan tumbukan mintakat Wakatobi dan kepulauan Buton pada masa Kuartar (Sukarna dan Koswara, 1994, Pedoja

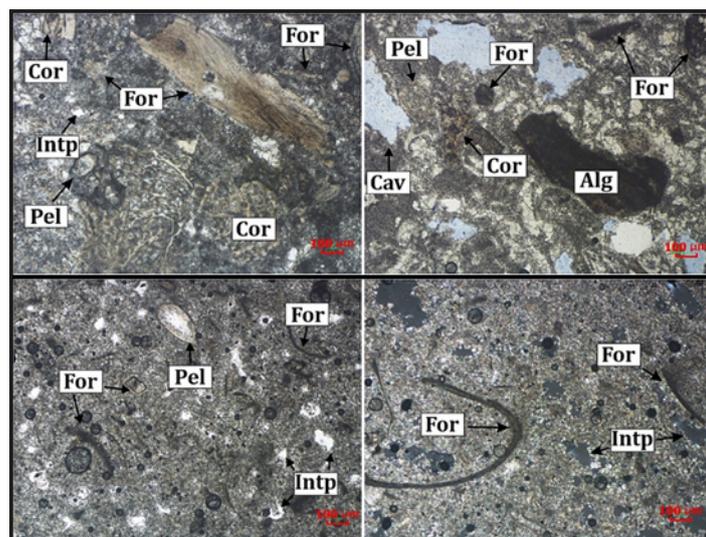
dr., 2018). Pada sisi timur dan barat dikenali beberapa undakan yang teramati. Pada undakan 1 dan 2 relatif tersusun atas *packstone* dan *wackestone*, sedangkan pada undakan 3 dan 4, khususnya pada sisi barat tersusun atas dominasi *packstone* dan *grainstone*. Teras terumbu pada bagian timur relatif lebih landai dibanding bagian barat dengan kemiringan hingga 32° (Gambar 5). Antar undakan hadir dengan beda tinggi 5-10 m. Batugamping penyusun undakan disetarakan dengan Formasi Ambeua (Tmpa) berumur Miosen Atas-Pliosen berupa batugamping klastika yang ditindih tidak selaras oleh batugamping koral (Qpl) yang berumur Plistosen-Resen.

Hasil inventarisasi keragaman geologi berdasarkan variasi litologi dan fenomena karstifikasi menunjukkan daerah penelitian dapat dibagi menjadi 11 situs geologi utama. Kelompok situs geologi ini dapat dikelompokkan menjadi lima situs geologi bertema gua endokarst, dua situs geologi berupa situs perbukitan karst, satu situs geologi berupa teras terumbu, dan tiga situs geologi merupakan kawasan pantai.

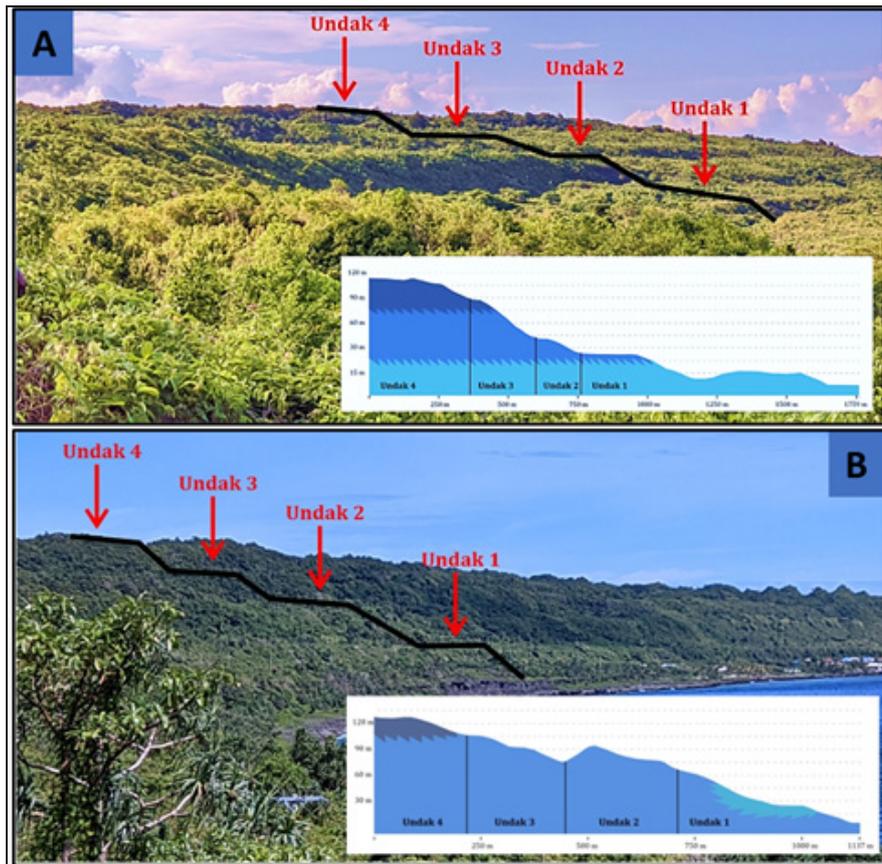
Situs Geologi Gua Topa Raja (**G1**) terletak di Kelurahan Wali dengan koordinat 124°03'52,2"E 5°58'19,6"S. Gua Topa Raja berasal dari bahasa daerah setempat yang be-

rarti "Pemandian Sultan". Saat ini gua dijadikan sebagai tempat pemandian umum. Panjang gua mencapai 26 m dan lebar dalam gua 2-5 meter. Gua ini merupakan tipe gua freatik oleh kehadiran kolam dan sungai bawah tanah (Onac dan van Beynen, 2021). Mulut gua berbentuk oval dan hadir dengan pelorongan miring hingga 45° sepanjang 7 meter sebelum mencapai dasar gua (Gambar 6). Proses pelarutan membentuk ornamen dalam gua dan kolam pada dasar gua. Proses pelarutan juga dikontrol oleh rembesan air meteorik pada rekahan batuan. Ornamen gua berupa stalaktit dan stalakmit yang menghablur pada lantai dan langit-langit gua. Juga dijumpai pilar dan *flowstone*. Litologi penyusun gua berupa batugamping kristalin dan *wackestone*. Gua Topa Raja dihuni oleh kelelawar dan hewan air seperti udang dan ikan air tawar. Gua freatik ini tergolong gua yang relatif mudah untuk dijelajahi dengan pelorongan gua yang cukup besar. Pada dasar gua, air mengalir melalui selokan dengan diameter tertentu membentuk sistem mata air bawah permukaan.

Situs Geologi Gua Topa Lemali (**G2**) berada tidak jauh dari Gua Topa Raja, terletak di Kelurahan Kampung Wali. Geometri gua tidak jauh berbeda, berupa gua oval dengan panjang 28 m dengan lebar dalam gua 20 m. Gua ini berada



Gambar 5 *Wackestone* (atas) dengan kehadiran fragmen foraminifera (For), alga (alg), dan peloid (pel). *Mudstone* (bawah) didominasi oleh mikrit dengan sedikit foraminifera dan porositas tipe interparticle

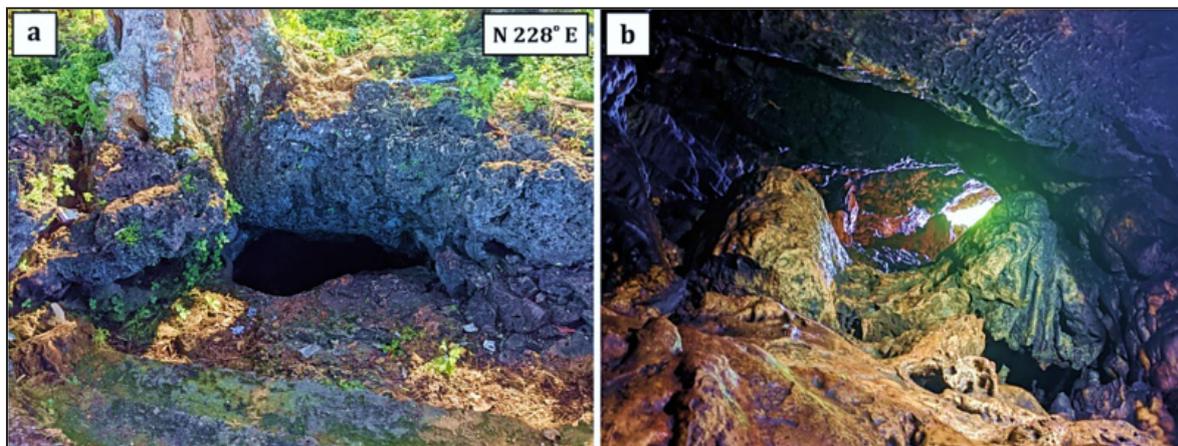


Gambar 6. Morfologi teras terumbu yang teramati pada tepi timur (A) dan tepi barat (B) pada daerah penelitian. Tepi timur membentuk teras relatif lebih landai dibanding tepi barat.

pada area pemukiman warga. Gua ini juga merupakan gua freatik dengan kolam air hadir dengan kedalaman hingga 2,5 m (Gambar 7). Juga hadir ornamen gua seperti stalaktit-stalakmit, soda straw dan pilar. Gua ini relatif lebih lembab dan gelap dibanding Gua Topa Raja. Kelelawar, ikan

air tawar, dan kepiting merupakan contoh fauna yang dijumpai pada gua ini.

Beberapa situs geologi lain seperti Gua Topa Lembuku (G3) dan Gua Topa Wa Ode Goa (G4) juga terletak di Kelurahan yang sama pada satuan



Gambar 7. Bentuk oval pada mulut Gua Topa Raja (a), pelorongan gua setelah memasuki mulut gua (b).

pedataran karst. Kedua mulut gua berbentuk oval dengan pelorongan horisontal dan vertikal. Litologi penyusun berupa batugamping *packstone* dengan ornamen stalaktit dan pilar tersusun atas batugamping kristalin. Kedua gua merupakan gua freatik dengan kedalaman kolam 1,5-2 meter. Tidak seperti Gua Topa Raja, pelorongan gua tidak berkembang dengan baik sehingga ketinggian langit gua cukup rendah membuat pengunjung tidak cukup leluasa menjelajahi gua. Berbeda dengan gua lain, Gua La Sikori (G8) merupakan tipe gua kering tanpa kolam air (*vadose*). Penamaan La Sikori berasal dari pengabdian nama tokoh masyarakat Daerah Mbara-mbara di masa lampau. Gua La Sikori berdimensi panjang  $\pm 70$  m dengan jarak masuk dari mulut gua terjal hingga ke dasar gua sepanjang  $\pm 30$  m. Secara umum Gua La Sikori memiliki fitur dan ornamen serupa dengan gua lainnya. Setempatan dijumpai ornamen *moonmilk* dan *gordyn* oleh *flowstone* (Gambar 8). Gua ini memiliki pelorongan yang cukup besar sehingga leluasa bergerak, namun tidak memiliki mata air. Litologi penyusun berupa *wackestone*. Gua ini dijumpai di bagian selatan

di daerah perbukitan karst. Pada gua ini dapat dijumpai kelelawar dan jangkrik.

Situs geologi yang menunjukkan produk dari eksokarst dijumpai pada perbukitan karst berupa situs Bukit Koncu Patua Wali (G6), dan Bukit La Handu (G10). Situs Bukit Koncu Patua Wali terletak pada koordinat  $124^{\circ}03'45,7''E$   $5^{\circ}59'11,9''S$  di bagian tengah oleh perbukitan karst. Bukit Koncu Patua Wali merupakan fenomena eksokarstik berupa perbukitan karst terisolir membentuk menara karst yang tersusun atas batugamping *wackestone*, dikelilingi oleh lembah memanjang (*uvala*) di setiap sisinya. Bukit ini berbentuk seperti kapal dengan panjang  $\pm 600$  m dan lebar rata-rata  $\pm 50$  m. Bukit Koncu Patua Wali biasa disebut masyarakat setempat sebagai “Koncu Kapala” yang berarti badan kapal. Berdasarkan cerita rakyat, bukit ini adalah sebuah kapal yang karam di tengah lautan hingga menjadi sebuah pulau. Bukit ini merupakan perkampungan lama yang diyakini sebagai “Kampung Pertama” di Pulau Binongko yang dihuni oleh masyarakat Kelurahan Wali dahulu kala sebelum akhirnya pindah ke pesisir



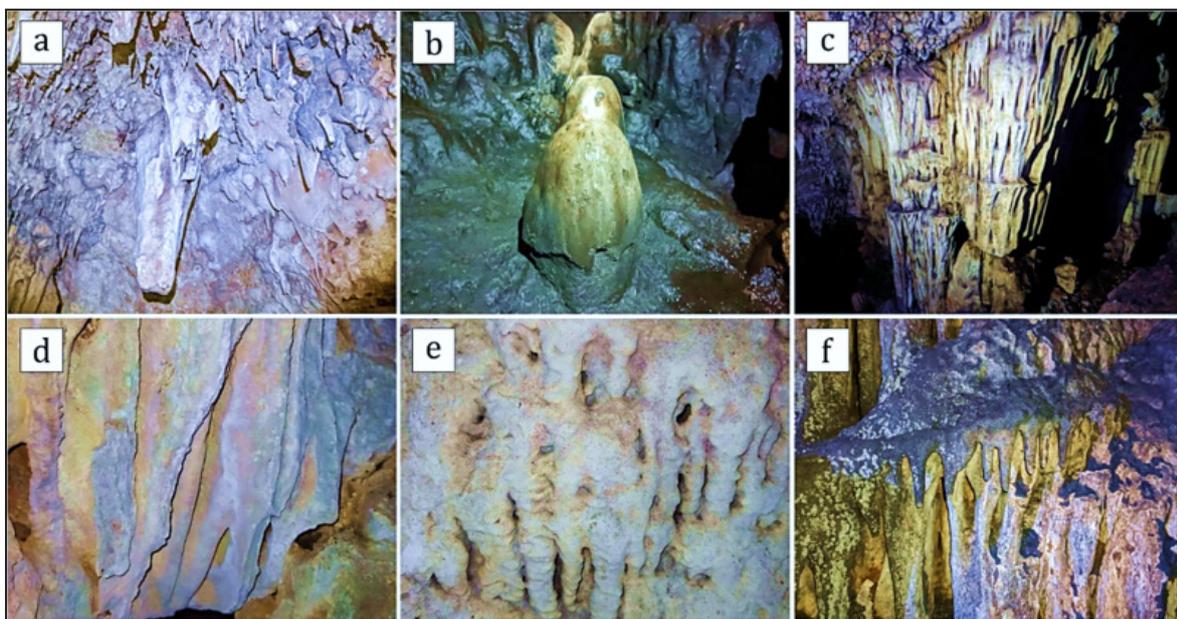
Gambar 8. Mata air Gua Topa Lemali membentuk kolam yang hampir mengisi seluruh dasar gua berkedalaman hingga 1,5 m.

pantai (Mbaru, 2023). Bukit Koncu Patua Wali memiliki banyak peninggalan bersejarah seperti benteng dengan tujuh gerbang, meriam dan masjid kuno di bagian tengah dan belakang bukit, dan kuburan kuno yang tersebar dari bagian depan hingga belakang menara karst (Gambar 9). Serupa dengan Bukit Koncu Patua Wali, Bukit La Handu juga merupakan perbukitan terisolir dengan lembah karst di bagian selatan daerah penelitian. Bukit ini memiliki panorama laut yang indah sehingga umum digunakan sebagai tempat berkemah. Bukit ini tersusun atas menara karst oleh batugamping *packstone* dan dikelilingi lembah (uvala) memanjang yang dipenuhi padang rumput dan tumbuhan perdu (Gambar 10).

Situs Taman Batu (G10) terletak di Desa Haka; paling selatan pada daerah penelitian dengan koordinat 124°02'33,8"E 6°01'49,3"S. Dinamakan Taman Batu karena seluruh areanya didominasi oleh gugusan batugamping baik eksitu maupun insitu yang membentuk menara karst minor tanpa adanya tanah penutup yang signifikan (Gambar 11). Situs ini merupakan singkapan teras terumbu pada sisi selatan Pulau di area perbukitan. Seperti halnya teras terumbu

pada bagian utara Pulau Wangi-wangi, teras ini juga menjadi kunci urutan dan laju pengangkatan yang berbeda antara Kepulauan Wakatobi dan pulau terumbu lain di Pulau Buton bagian selatan, seperti Pulau Kadatua (Pedoja dr., 2018). Situs Taman Batu menawarkan panorama yang indah dan langka berupa hamparan tumbuhan pisang yang tumbuh di atas batugamping. Taman Batu dapat ditempuh menggunakan kendaraan bermotor yang berjarak ±500 m dari Desa Haka. Situs geologi ini merupakan bentang alam karst yang terbentuk oleh erosi angin dan air meteorik yang terjadi secara terus-menerus (Syahadat, 2022). Erosi yang bekerja menjadikan batugamping yang lebih resisten membentuk menara-menara karst minor. Litologi penyusun Taman Batu yaitu batugamping *packstone* dan *grainstone* yang tersebar luas di seluruh area Taman Batu. Situs Taman Batu dahulu merupakan sebuah desa bernama Desa Pimpi. Namun sejak Tahun 1960-an, pemukiman tersebut tiba-tiba ditinggalkan begitu saja oleh penduduknya dan akhirnya menjadi kawasan tidak berpenghuni (Mbaru, 2023).

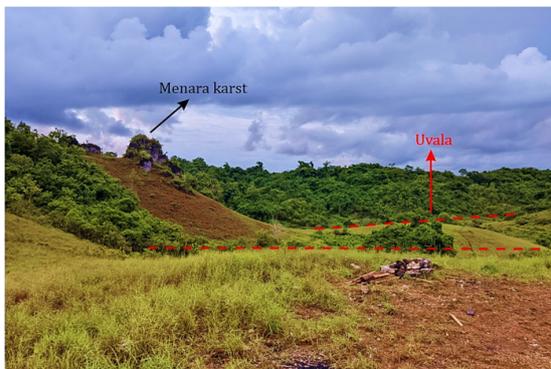
Selain speleoterm, perbukitan karst, dan teras terumbu, juga hadir situs geologi penciri pantai. Pantai Yoro (G5) dan Pantai Mbara-



Gambar 9. Ornamen Gua La Sikori, (a). Gugusan stalaktit dengan panjang bervariasi, (b). Stalakmit dengan panjang hingga 16 cm, (c). Pilar dengan panjang 200 cm, (d). *Gordyn* membentuk seperti tirai, (e). *Moonmilk* yang berbentuk seperti lelehan susu dan (f). *Flowstone* oleh aliran air pada rekahan dinding gua.



Gambar 10. (a). Kompleks Benteng, (b). Meriam yang terletak di bagian tengah, (c). Kuburan kuno yang terletak di bagian belakang dan (d). Masjid kuno yang terletak di bagian tengah.



Gambar 11. Puncak Bukit La Handu dengan hamparan padang rumput dan ketersediaan menara karst pada lembah uvala yang memanjang.

mbara (G7) hadir dalam bentuk pantai berpasir (gisik) berwarna putih yang dibatasi oleh tanjung batugamping *packstone* di sisi selatan pantai. Pantai Yoro memanjang hingga 600 m dengan kemiringan landai membentuk cekungan seperti teluk. Pantai Yoro merupakan jenis pantai primer bertipe pantai erosi dan pengendapan darat. Pantai berkembang di bawah pengaruh erosi yang ditandai dengan tersingkapnya terumbu di tengah-tengah gisik

pasir di bagian selatan yang diikuti oleh pengendapan pasir (Gambar 12). Tipe ini umum dijumpai pada pantai dengan topografi karst (Rahardjo, 2003, Shepard, 1973). Pantai ini dibatasi oleh tanjung tersusun oleh batugamping *packstone* di sisi utara dan selatan. Pantai ini memiliki panjang  $\pm 506$  m, relief landai dengan kemiringan  $0-5^\circ$  dengan bentuk pantai melengkung.

Situs Pantai Wa Cimbaumba terletak di Desa Oihu bagian timur daerah penelitian. Pantai ini berupa pantai bertebing rendah yang tersusun atas terumbu. Pantai ini memiliki panjang  $\pm 120$  m, relief landai dengan kemiringan  $0-9^\circ$  dengan bentuk garis pantai tidak beraturan dikontrol morfologi terumbu karal. Pantai Wa Cimbaumba merupakan pantai sekunder bertipe pantai erosi gelombang. Pantai ini terbentuk oleh erosi gelombang laut membentuk tebing pantai yang tersusun oleh terumbu.

Hasil pengamatan lapangan, analisis laboratorium dan kriteria keragaman geologi telah teridentifikasi 11 (sebelas) situs geologi di Pulau



Gambar 12. Pelarutan batugamping pada puncak bukit Taman Batu yang terhampar luas. Pada celah batuan tumbuh berbagai jenis tumbuhan, termasuk pohon pisang.

Binongko yang dikelompokkan berdasarkan kelompok dalam situs gua endokarst, perbukitan karst, teras terumbu, dan kawasan pantai. Untuk mengetahui nilai setiap situs geologi tersebut, selanjutnya dilakukan pemeringkatan dan penilaian makna keragaman geologi berdasarkan standar teknis inventarisasi keanekaragaman geologi (Pusat Survey Geologi, 2017b). Pemeringkatan keragaman geologi didasarkan pada klasifikasi keragaman geologi berdasarkan aspek bentangalam umum (a), ranah batuan (b), proses endogen dan eksogen (c), kondisi tektonik (d), dan evolusi temporer mencakup skala waktu geologi (e). Pemeringkatan situs geologi pada daerah penelitian berstatus sedang hingga tinggi. Status sedang dicirikan oleh bentangalam perbukitan karst dan pantai erosional seperti pada geosite Pantai Mbara-mbara, Pantai Wa Cimbaumba, dan Bukit Koncu Patua Wali. Status tinggi dicirikan

oleh kombinasi bentangalam karst, speleoterm, ornament dan variasi batugamping penyusun gua yang berinteraksi dengan hidrogeologi karst dan ekologi gua seperti pada Gua Topa Raja dan Gua La Sikori (Tabel 2). Berdasarkan penilaian makna, situs geologi dikategorikan bernilai menengah hingga tinggi. Nilai menengah ditunjukkan oleh situs geologi pantai dan bukit karst yang mengandung rekaman ilmiah penting untuk penelitian dan pendidikan. Situs geologi bernilai tinggi, selain mengandung rekaman ilmiah, juga hadir dengan bentangalam spesifik khas, seperti spleoterm dan taman batu yang juga memiliki fungsi ekologi dan fungsi budaya yang dapat dimanfaatkan untuk penelitian, pendidikan, dan perlindungan alam melalui konservasi (Tabel 2).

Pembandingan situs geologi dapat dibagi menjadi berperingkat internasional, nasional, dan lokal. Pemeringkatan didasarkan pada representasi

Tabel 2. Pengkriteriaan, penilaian, dan pembandingan makna situs geologi

Geosite	Kriteria	Penilaian makna	Pembandingan
G1 Gua Topa Raja	Tinggi	Tinggi	Nasional
G2 Gua Topa Lemali	Tinggi	Tinggi	Lokal
G3 Gua Topa Lembuko	Tinggi	Tinggi	Lokal
G4 Gua Wa Ode Goa	Sedang	Tinggi	Lokal
G5 Pantai Yoro	Tinggi	Menengah	Nasional
G6 Koncu Patua Wali	Tinggi	Tinggi	Nasional
G7 Gua La Sikori	Tinggi	Tinggi	Lokal
G8 Pantai Mbara-Mbara	Sedang	Menengah	Lokal
G9 Taman Batu	Tinggi	Tinggi	Nasional
G10 Bukit La Handu	Sedang	Menengah	Lokal
G11 Pantai Wa Cimbaumba	Sedang	Menengah	Lokal

situs geologi sebagai contoh fitur/kerangka tektonik yang digunakan sebagai rujukan penelitian. Situs geologi terjaga dengan baik dan memiliki kekhasan yang spesifik dalam suatu kawasan. Situs geologi daerah penelitian mencakup berbagai fenomena eksokarst maupun endokarst yang juga dijumpai pada Kawasan Karst Maros Pangkep (Jaya dr., 2022) dan Kawasan Karst Karangbolong (Haryono dr., 2017). Perbukitan karst yang khas seperti pada Situs Geologi Taman Batu menunjukkan teras terumbu yang menjadi lokasi kunci pengangkatan mintakat Wakatobi selama tumbukan Kuartar (Pedoja dr., 2018), ditandai dengan berbagai undakan dengan beda tinggi hingga 10 meter tersusun atas berbagai variasi batugamping. Dijumpai publikasi jurnal nasional terakreditasi dan prosiding nasional yang umumnya terkait geodiversitas Pulau Wakatobi dalam pengembangan ekowisata dan wisata bahari (Syahadat, 2022, Haryono dr., Purbani dr., 2014). Geodiversitas berfokus pada objek Pantai Yoro, meskipun fitur bukit karst,

gua, dan teras terumbu juga disebutkan sebagai potensi objek wisata. Teras terumbu pantai utara Pulau Wangi-wangi hingga Binongko oleh Pedoja dr. (2018) juga merupakan objek penting sejarah pengangkatan Pulau Wakatobi terhadap beberapa pulau di selatan Pulau Buton. Fitur geologi pada situs geologi terjaga dengan baik karena masih terhubung dengan kearifan lokal masyarakat adat yang sakral, sarat akan makna budaya, seperti pada Gua Topa Raja dan Bukit Koncu Patua Wali (Mbaru, 2023). Berdasarkan uraian tersebut, beberapa situs geologi seperti Gua Topa Raja (G1), Pantai Yoro (G5), Bukit Koncu Patua Wali (G6), dan Taman Batu (G9) pada daerah penelitian dibandingkan dengan situs geologi lainnya yang berperingkat nasional. Klasifikasi nilai saintifik pada 11 (sebelas) situs geologi daerah penelitian menggunakan kriteria lokasi kunci situs geologi sebagai lokasi penelitian, keragaman geologi yang dikenali, dan hambatan dalam akses dan penggunaan lokasi. Faktor-faktor yang digunakan dalam melakukan

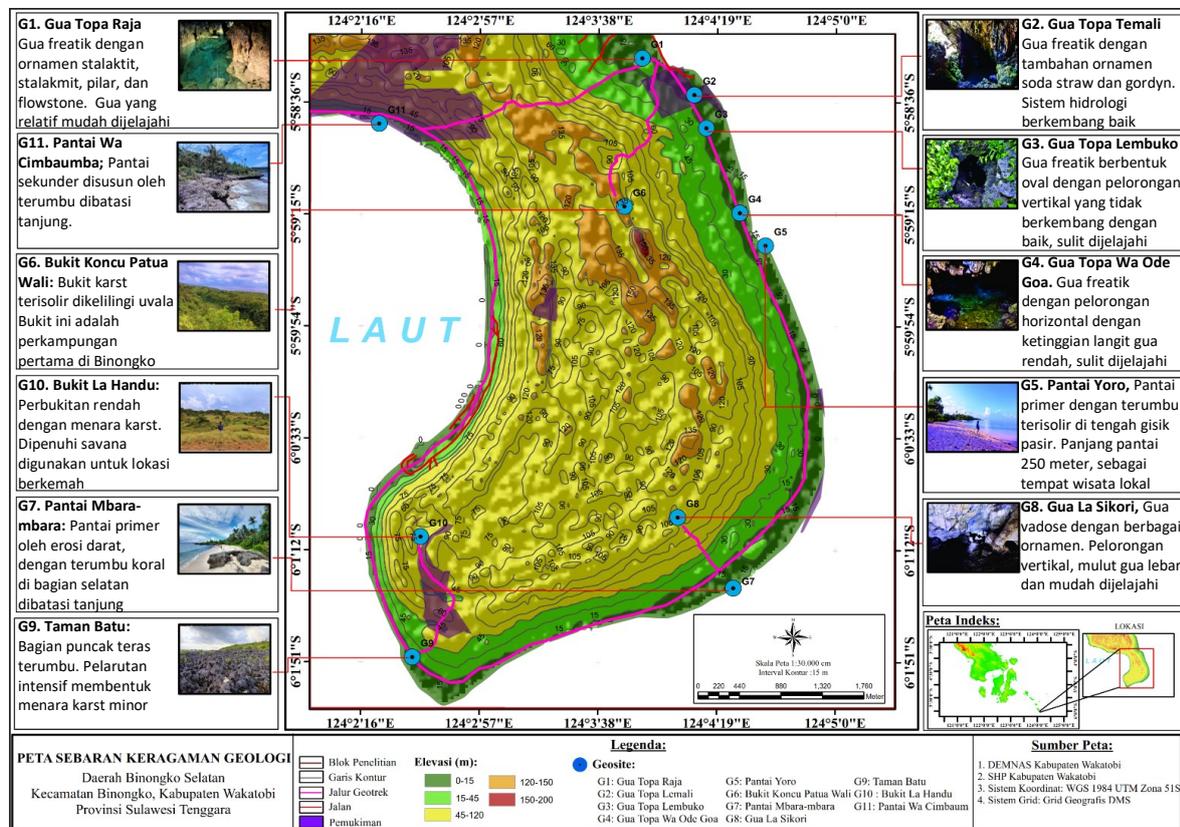


Gambar 13. Hampan pasir pada Pantai Yoro dengan bagian selatan didominasi terumbu koral.

asesmen kuantitatif nilai-nilai saintifik, meliputi: Lokasi yang mewakili kerangka geologi, lokasi kunci penelitian, pemahaman keilmuan, kondisi situs geologi, keragaman geologi, persebaran situs warisan geologi dalam suatu wilayah, dan hambatan dalam penggunaan lokasi situs warisan geologi. Evaluasi dinyatakan dalam persen (%). Geosite diklasifikasikan berkategori rendah (<50%), berkategori sedang (51-75%), dan berkategori tinggi lebih dari 75% (Jaya drr., 2022).

Evaluasi saintifik yang dilakukan pada 11 (sebelas) situs geologi menunjukkan kisaran nilai 45%-78% dengan nilai rata-rata 61% (Tabel 3). Situs Geologi Gua Topa Raja (G1), Bukit Koncu Patua Wali (G6), dan Taman Batu (G9). Ketiga situs geologi ini menunjukkan fitur karst Pulau Binongko bagian selatan yang terbentuk selama pengangkatan, dilanjutkan dengan produk eksokarst dan endokarst yang intens selama Periode Kuartar. Pada aspek lokasi kunci penelitian, secara umum geosite tersebut juga digunakan sebagai rujukan penelitian pada publikasi ilmiah

skala nasional (Syahadat, 2022). Berdasarkan aspek keragaman geologi, situs geologi Taman Batu (G9) menunjukkan kehadiran beberapa fitur geologi utama seperti variasi batugamping pada tiap undakan, kelimpahan fosil pada sayatan tipis, bukti pengangkatan terumbu, dan tipe bentang alam karst yang unik. Situs geologi ini di masa depan dapat menjadi kunci studi paleogeografi, laju pengangkatan, dan perubahan muka air laut di Pulau Wakatobi bagian selatan. Sebelumnya, studi serupa telah dilakukan di Pulau Wakatobi bagian utara (Pedoja drr., 2018). Situs Geologi Gua Topa Raja (G1) dan Gua La Sikori (G7) juga menghadirkan berbagai ornamen gua produk endokarst. Kedua gua ini dapat dijadikan komparasi contoh tipe gua freatik dan gua vadose pada Pulau Binongko. Berbeda dengan Binongko bagian selatan, Gua pada Karst Maros Pangkep umumnya berasosiasi dengan menara karst, bertipe gua berair dengan sistem hidrologi yang baik (Jaya drr., 2022). Gua pada karst Maros Pangkep juga menjadi lokasi kunci



Gambar 14. Peta sebaran keragaman geologi pada daerah penelitian.

Tabel 3 Rekapitulasi evaluasi nilai saintifik pada 11 geosite daerah penelitian

Kriteria	Kerangka geologi	Lokasi kunci penelitian	Pemahaman keilmuan	Kondisi lokasi/situs geologi	Keragaman geologi	Keberadaan situs warisan geologi	Hambatan penggunaan lokasi	
<b>Bobot (%)</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>100</b>
Gua Topa Raja	23	10	4	11	4	11	10	73
Gua Topa Lemali	15	5	4	11	4	8	10	54
Gua Topa Lembuko	8	5	4	11	4	8	10	46
Gua Topa Wd. Goa	15	10	4	11	4	8	10	59
Pantai Yoro	15	10	4	11	3	11	10	61
Bukit Koncu Patua Wali	23	10	4	15	4	11	10	76
Pantai Mbara-mbara	8	5	4	8	3	11	10	45
Gua La Sikori	15	10	4	11	4	11	10	63
Taman Batu	23	10	4	11	5	15	10	78
Bukit La Handu	15	10	4	11	4	11	10	63
Pantai Wa Cimbaumba	8	5	4	8	4	15	10	50
							<b>Rata-rata</b>	<b>61</b>

kehidupan prasejarah dengan ditemukannya gambar tangan (Brumm dr., 2021).

Beberapa fitur geologi pada Situs Geologi Bukit Koncu Patua Wali (G6) tetap terjaga dengan baik karena berasosiasi dengan Kawasan budaya yang sarat akan peninggalan sejarah seperti benteng kuno, makam, dan masjid kuno. Di sisi lain beberapa situs geologi terletak di area pemukiman dan perkebunan warga sehingga berpotensi untuk mengalami degradasi dan berakhir pada rusaknya fitur geologi. Situs Geologi Bukit La Handu (G10) dan Pantai Yoro (G5) juga telah digunakan warga setempat sebagai destinasi wisata alam. Tidak ada hambatan yang berarti untuk penggunaan lokasi situs geologi sebagai lokasi penelitian maupun edukasi. Beberapa situs geologi memiliki nilai budaya sakral yang cukup kental, namun tidak menjadi penghambat akses.

Dari kesebelas situs geologi, direkomendasikan tiga jalur geotrek yaitu: Jalur Geotrek Gua, Jalur Geotrek Bukit Karst, dan Jalur Geotrek Pantai. Jalur Geotrek Gua berada di bagian utara daerah penelitian. Adapun situs geologi yang dikunjungi berupa Gua Topa Raja, Gua Topa Lemali, Gua Topa Lembuko, dan Gua La Sikori. Untuk mengunjungi seluruh geosite tersebut diperlukan waktu kurang lebih 4 jam dengan menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat. Fitur yang dijumpai umumnya adalah variasi ornamen dan geometri gua. Jalur Geotrek Bukit Karst dapat dikunjungi Bukit Koncu Patua Wali, Bukit La

Handu, dan Taman Batu. Geosite ini menunjukkan variasi perbukitan karst dan panorama yang indah. Pada Jalur Geotrek Pantai, mencakup Pantai Yoro, Pantai Mbara-mbara, dan Pantai Wa Cimbaumba yang menunjukkan tipe pantai berpasir dan pantai terumbu yang di setiap sisi pantai dibatasi oleh tanjung batugamping.

## KESIMPULAN

Pulau Binongko bagian selatan merupakan kawasan karst yang disusun oleh berbagai fitur endokarst dan eksokarst. Area pedataran di bagian timur dan barat dicirikan oleh kehadiran gua dan pantai, sedangkan di bagian tengah dijumpai berbagai tipe perbukitan karst. Dijumpai 11 (sebelas) situs geologi dari ketiga kategori tersebut. Situs geologi fitur gua menunjukkan berbagai variasi litologi, geometri, dan ornamen gua sebagai penciri proses endokarst. Kehadiran teras terumbu yang dijumpai pada Situs Geologi Taman Batu menunjukkan proses pengangkatan, sedangkan Bukit Koncu Patua Wali menunjukkan interaksi fitur geologi terhadap budaya setempat.

Secara umum situs geologi pada daerah penelitian memiliki pemeringkatan berstatus sedang hingga tinggi, sedangkan berdasarkan penilaian maknanya, situs geologi dikategorikan bernilai menengah hingga tinggi. Evaluasi nilai saintifik juga menunjukkan situs geologi berkategori

rendah hingga tinggi. Direkomendasikan tiga jalur geotrek dengan prioritas pada Situs Geologi Gua Topa Raja, Gua La Sikori, Bukit Koncu Patua Wali, Taman Batu, dan Pantai Yoro.

Untuk keperluan evaluasi situs geologi hingga pada penilaian kelayakan warisan geologi, tidak cukup hanya dengan pemeringkatan, perbandingan, dan evaluasi nilai saintifik. Juga diperlukan evaluasi lain pada aspek nilai edukasi, nilai pariwisata, dan risiko degradasi. Pemeringkatan situs geologi dan *geomorphosite* untuk keperluan warisan geologi sebagai objek geowisata maupun geokonservasi menjadi fokus penelitian selanjutnya menggunakan berbagai pendekatan metode evaluasi (Brilha, 2015, Kubalíková dan Kirchner, 2015, Vujičić dr., 2011). Pada situs geologi dengan nilai saintifik tinggi, juga diperlukan kajian lanjutan terkait kelayakannya untuk diusulkan sebagai Kawasan Cagar Alam Geologi (KcAG).

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Pariwisata Kabupaten Wakatobi dan Pemerintah Kecamatan Binongko Selatan yang telah memberikan akses dan berbagai data pendukung pada penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Petrologi Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas kesediaannya membantu preparasi dan pembuatan sampel sayatan tipis batuan. Tak lupa penulis juga berterima kasih kepada para penelaah atas masukan dan saran berharga terhadap perbaikan manuskrip ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Anshori, C., Kumoro, Y., Hastria, D. & Widiyanto, K. 2016. *Panduan Geowisata: Menelusuri jejak dinamika bumi pada rangkaian Pegunungan Serayu dan Pantai Selatan Jawa*, Jakarta, LIPI Press.

Badan Pusat Statistik 2021. *Kabupaten Wakatobi Dalam Angka*, Wangi-wangi, CV. Primatama.

Brahmantyo, B. & Bandonno, S. 2006. Klasifikasi

Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk pemetaan geomorfologi pada skala 1:25.000 dan aplikasinya untuk penataan ruang. *Jurnal Geoaplika*, 1, p. 71-78. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8ah6v>

Brilha, J. 2015. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8, p. 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>

Brumm, A., Oktaviana, A. A., Burhan, B., Hakim, B., Lebe, R., Zhao, J.-X., Sulistyarto, P. H., Ririmasse, M., Adhityatama, S., Sumantri, I. & Aubert, M. 2021. Oldest cave art found in Sulawesi. *Science Advances*, 7, p. eabd4648. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4648>

Clifton, J. 2013. Refocusing conservation through a cultural lens: Improving governance in the Wakatobi National Park, Indonesia. *Marine Policy*, 41, p. 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.015>

Djafar, A., Suharyogi, I. Y. P. & Wibowo, U. P. 2020. Identifikasi situs geologi cekungan Soa - Flores, sebagai warisan geologi. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 11, p. 83-94. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v11i2.260>

Djafar, A., Suharyogi, I. Y. P. & Winarto, J. B. 2021. Geologi Pesisir Selatan Cianjur – Garut, Jawa Barat : Keragaman Dan Prospeknya Sebagai Obyek Geowisata. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 4, p. 48-56.

Ford, D. C. & Williams, P. W. 2007. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Amsterdam, Springer Netherlands.

Hall, R. 2012. Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570-571, p. 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.04.021>

Hamilton, W. B. 1979. *Tectonics of the Indonesian Region (Report No. 1078)*, Professional Paper, U.S. Govt. Print. Off.

Haryono, E., Putro, S. T., Suratman, S. & Sutikno, S. 2017. Karst Morphology of Karangbolong Area, Java-Indonesia. *Acta Carsologica*, 46, p. 63-72. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.3589>

- Haryono, E., Zulqisthi, G. & Malawani, M. N. 2014. Geodiversitas Pulau Wangi-Wangi Kabupaten Wakatobi dan potensinya untuk pengembangan ekowisata. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Ikatan Geograf Indonesia, Yogyakarta. 937-951.
- Jaya, A., Sumantri, I., Bachri, D. I. & Maulana, B. R. 2022. Understanding and Quantitative Evaluation of Geosites and Geodiversity in Maros-Pangkep, South Sulawesi, Indonesia. *Geoheritage*, 14, p. 01-20. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00678-9>
- Kadariusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C. D. & Ishikawa, A. 2004. Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. *Tectonophysics*, 392, p. 55-83. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.008>
- Kubalíková, L. & Kirchner, K. 2015. Geosite and Geomorphosite Assessment as a Tool for Geoconservation and Geotourism Purposes: a Case Study from Vizovická vrchovina Highland (Eastern Part of the Czech Republic). *Geoheritage*, 8, p. 5-14. <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0143-2>
- Mbaru, L. R. 2023. *Culadha Tapetape: Peradaban Binongko Wakatobi Buton*, Yogyakarta, Ocenia Press.
- Menteri ESDM 2020. *Peraturan menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia nomor 1 tahun 2020 tentang pedoman penetapan warisan geologi (geoheritage)*, Jakarta, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- Mulyadi, Y. 2016. Kajian Keterawatan Lukisan Gua Prasejarah di Kawasan Karst Maros Pangkep Sulawesi Selatan. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 10, p. 15-27. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v10i1.144>
- Nugraha, A. M. S., Hall, R. & BouDagher-Fadel, M. 2022. The Celebes Molasse: A revised Neogene stratigraphy for Sulawesi, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 228, p. 105140. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105140>
- Onac, B. P. & van Beynen, P. 2021. Caves and Karst. In: Alderton, D. & Elias, S. A. (eds.) *Encyclopedia of Geology*. 2 ed. Amsterdam: Elsevier.
- Pedoja, K., Husson, L., Bezos, A., Pastier, A.-M., Imran, A. M., Arias-Ruiz, C., Sarr, A.-C., Elliot, M., Pons-Branchu, E., Nexer, M., Regard, V., Hafidz, A., Robert, X., Benoit, L., Delcaillau, B., Authemayou, C., Dumoulin, C. & Choblet, G. 2018. On the long-lasting sequences of coral reef terraces from SE Sulawesi (Indonesia): Distribution, formation, and global significance. *Quaternary Science Reviews*, 188, p. 37-57. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.03.033>
- Purbani, D., Yulius, Ramdhan, M., Arifin, T., Salim, H. L. & Novianti, N. 2014. Karakteristik pantai Taman Nasional Wakatobi dalam mendukung potensi wisata bahari: Studi kasus Pulau Wangiwangi. *DEPIK: Jurnal Ilmu Perairan Pesisir dan Perikanan*, 3, p. 137-145. <https://doi.org/10.13170/depik.3.2.1539>
- Pusat Survey Geologi 2017a. *Petunjuk teknis asesmen sumberdaya warisan geologi*, Bandung, Badan Geologi.
- Pusat Survey Geologi 2017b. *Standar Teknis Inventarisasi Keragaman Geologi dan Identifikasi Warisan Geologi*, Bandung, Badan Geologi.
- Rahardjo, N. 2003. Sebaran tipe pantai dan karakteristik lingkungan di pantai Selatan Jawa Barat. *Majalah Geografi Indonesia*, 17, p. 129-145.
- Salim, H. L. & Purbani, D. 2015. Pengembangan pariwisata bahari berbasis masyarakat di Pulau Kaledupa, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22, p. 380-387. <https://doi.org/10.22146/jml.18765>
- Samodra, H. 2016. *Inventarisasi Keragaman Geologi dan Identifikasi Warisan Geologi Untuk Keperluan Cagar Alam Geologi*, Bandung, Badan Geologi.
- Shepard, F. P. 1973. *Submarine Geology*, New York, Harper and Row.

- Sikumbang, N., Sanyoto, P., Supandjono, R. J. B. & Gafoer, S. 1995. *Peta Geologi Lembar Buton, Sulawesi Tenggara, Skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sukarna, D. & Koswara, A. 1994. *Geologi lembar Tukang Besi, Sulawesi*, Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sunkar, A. 2017. Pedoman Sistem Klasifikasi Gua Karst : Kunci Pemanfaatan Gua Karst Berkelanjutan. *RISALAH KEBIJAKAN PERTANIAN DAN LINGKUNGAN: Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 1, p. 1-6. <https://doi.org/10.20957/jkebijakan.v1i1.10270>
- Sunkar, A., Laksapriyanti, A. P., Haryono, E., Brahmi, M., Setiawan, P. & Jaya, A. F. 2022. Geotourism Hazards and Carrying Capacity in Geosites of Sangkulirang-Mangkalihat Karst, Indonesia. *Sustainability*, 14, p. 1704. <https://doi.org/10.3390/su14031704>
- Surono 1997. A petrographic study on sandstones from the Meluhu Formation, Southeast Sulawesi, Eastern Indonesia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 40, p. 215-231. <https://doi.org/10.7186/bgsm40199716>
- Surono & Hartono, U. 2013. *Geologi Sulawesi*, Jakarta, LIPI Press.
- Syahadat, R. M. 2022. Inventarisasi dan Identifikasi Objek Daya Tarik Wisata dalam Perencanaan Pariwisata Wakatobi. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 6, p. 30-46. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2022.6.1.30-46>
- Vujičić, M. D., Vasiljević, D. A., Marković, S. B., Hose, T. A., Lukić, T., Hadžić, O. & Janićević, S. 2011. Preliminary geosite assessment model (gam) and its application on Fruška gora mountain, potential geotourism destination of Serbia. *Acta geographica Slovenica*, 51, p. 361-376. <https://doi.org/10.3986/ags51303>