



JITS

Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains

E-ISSN: 3025-8871 | <https://jurnal.akipba.ac.id/index.php/JITS>

Identifikasi dan Pemetaan Spasial Berbasis SIG Terhadap Situs Warisan Geologi (Geoheritage) Sebagai Landasan Pengembangan Geowisata di Geopark Karst Maros, UNESCO Global Geopark

(GIS-Based Identification and Spatial Mapping of Geoheritage Sites as a Foundation for Geotourism Development in Maros Karst, UNESCO Global Geopark)

Tri Nurhidayah¹, Muhammad Al Fauzi², Renan Detuage³, Anselma Diksita Prajna Duhita⁴

^{1,3,4} Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Gorontalo, Indonesia

² Departemen Magister Geofisika, Universitas Hasanuddin, Indonesia

¹ tri_nurhidayah@unigo.ac.id, ² muhammadalfauzi17@gmail.com, ³ renandd1511@gmail.com, ⁴ anselmadiksita@unigo.ac.id

Penulis Korespondensi: Tri Nurhidayah | **Email:** tri_nurhidayah@unigo.ac.id

Diterima (*Received*): 19/06/2026 Direvisi (*Revised*): 13/07/2026 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 14/07/2026

ABSTRAK

Geopark Karst Maros Pangkep yang ditetapkan sebagai UNESCO Global Geopark merupakan salah satu bentang alam karst paling signifikan di Asia Tenggara. Meskipun demikian, dokumentasi spasial yang sistematis dari situs warisan geologisnya (geoheritage) masih terbatas, sehingga menghambat perencanaan geowisata yang efektif dan perumusan kebijakan konservasi berbasis bukti ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mendeskripsikan, dan memetakan secara spasial situs-situs geoheritage di Geopark Karst Maros menggunakan pendekatan terpadu antara survei lapangan dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Survei lapangan dilakukan di tiga kawasan utama yaitu Bantimurung, Leang-leang, dan Rammang-rammang. Data primer berupa koordinat GPS dari setiap situs yang dikombinasikan dengan data spasial sekunder (DEM BIG, jaringan jalan, dan jaringan sungai) untuk menghasilkan peta distribusi spasial geoheritage. Distribusi spasial dianalisis menggunakan analisis *overlay* SIG yang memungkinkan interpretasi pola pengelompokan spasial, gradien aksesibilitas, dan hubungan antara persebaran situs geoheritage dengan pengaruh geologi yang mendasarinya. Hasil penelitian mengidentifikasi 12 situs geoheritage yang terdiri dari empat tipe utama: speleologi, geomorfologi, arkeologi, dan hidrologi. Distribusi spasial menunjukkan konsentrasi tertinggi di Kawasan Rammang-rammang dengan enam situs, diikuti oleh masing-masing tiga situs di Kawasan Bantimurung dan Kawasan Leang-leang. Ketiga kawasan tersebut membentuk koridor geowisata yang terhubung secara linier dengan potensi besar untuk pengembangan terintegrasi. Kebaruan penelitian ini terletak pada dihasilkannya inventaris geoheritage berbasis survei lapangan yang pertama dan paling komprehensif di koridor Bantimurung-Leang-leang-Rammang-rammang sebagai zona geowisata terpadu dengan pendekatan pemetaan spasial SIG yang mengungkap hubungan antara distribusi geoheritage dan kendali litologi-struktural Formasi Tonasa.

Kata Kunci: Geoheritage, Pemetaan Spasial, Geopark Maros, UNESCO Global Geopark

ABSTRACT

The Maros-Pangkep Karst Geopark designated as a UNESCO Global Geopark, is one of the most significant karst landscapes in Southeast Asia. However, systematic spatial documentation of its geological heritage sites (geoheritage) remains limited, thereby hindering effective geotourism planning and the formulation of evidence-based conservation policies. This study aims to identify, describe, and spatially map geoheritage sites in the Maros Karst Geopark using an integrated approach combining field surveys and Geographic Information Systems (GIS). Field surveys were conducted in three main areas: Bantimurung, Leang-leang, and Rammang-rammang. Primary data, consisting of GPS coordinates for each site, were combined with secondary spatial data (BIG DEM, road networks, and river networks) to generate a spatial distribution map of geoheritage sites. Spatial distribution was analysed using GIS overlay analysis, enabling interpretation of spatial clustering patterns, accessibility gradients, and the relationship between geoheritage site distribution and the underlying geological controls. The results identified 12 geoheritage sites comprising four main types: speleology, geomorphology, archaeology, and hydrology. The spatial distribution shows the highest concentration in the Rammang-rammang zone with six sites, followed by three sites each in Bantimurung and Leang-leang. These three areas form a geotourism corridor connected in a linear fashion with great potential for integrated development. The novelty of this study lies in the production of the first and most

Keywords: Geoheritage, Spatial Mapping, Maros Geopark, UNESCO Global Geopark

© Author(s) 2023. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Geopark merupakan konsep pengelolaan kawasan yang diakui secara global untuk mengelola bentang alam geologi dengan mengintegrasikan konservasi, pembelajaran ilmu bumi, dan pembangunan berkelanjutan. Setiap geopark merupakan fondasi utama dari warisan geologi (*geoheritage*) yang didefinisikan sebagai keanekaragaman geologi. Warisan geologi memiliki nilai lebih sebagai warisan karena merupakan rekaman dari peristiwa-peristiwa yang pernah terjadi di bumi, memiliki nilai ilmiah, kelangkaan, keunikan, dan keindahan yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk penelitian dan pendidikan (Ansori et al., 2023). Dalam sepuluh tahun terakhir, perhatian dunia terhadap pentingnya warisan geologi telah meningkat, dan penelitian yang berkaitan dengan identifikasi dan pemetaan situs geologi telah berkembang pesat. Pemetaan geomorfologi sangat penting untuk menjaga dan memanfaatkan warisan geologi karena memungkinkan dokumentasi yang sistematis dan terstandarisasi terhadap fitur geologi yang penting (Seppi et al., 2026). Khususnya di bentang alam karst, situs-situs geoheritage memiliki nilai yang sangat istimewa karena karakteristik speleologi, geomorfologi, dan arkeologi yang unik yang terbentuk melalui proses pelarutan dan erosi dalam rentang waktu geologis yang sangat panjang (Pardo-Igúzquiza et al., 2022).

Geowisata didefinisikan sebagai pariwisata yang berfokus pada fitur geologi Bumi yang memainkan peran penting dalam pengembangan, perlindungan, dan konservasi situs-situs warisan geologi (Newsome & Dowling, 2018). Pengembangan geowisata yang berkelanjutan memerlukan penilaian kapasitas geotouristik yang spesifik untuk setiap situs, karena setiap situs geoheritage memiliki karakteristik unik yang tidak dapat digeneralisasi (Mohamadianmansoor & Khanian, 2022). Geopark Karst Maros Pangkep, yang terletak di Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia,

merupakan salah satu lanskap geologi paling luar biasa di Asia Tenggara. Secara resmi ditetapkan sebagai UNESCO Global Geopark dan wilayah ini menampilkan lanskap karst menara yang megah dan diakui secara internasional sebagai 'The Spectacular Towers Karst'. Secara geologis, kawasan ini didominasi oleh Formasi Batugamping Tonasa, yang terbentuk melalui sedimentasi laut dangkal, karstifikasi, aktivitas tektonik, dan pelarutan selama jutaan tahun. Di luar signifikansi geologisnya, geopark ini dilalui oleh Garis Wallace dan memiliki keanekaragaman hayati yang luar biasa di samping situs seni cadas prasejarah yang bernilai warisan dunia.

Penelitian sebelumnya yang telah mengkaji aspek-aspek Geopark Maros Pangkep dari berbagai perspektif, terutama kesiapan pengelolaan geopark menuju status UNESCO (Invanni et al., n.d.), potensi ekowisata berdasarkan keanekaragaman hayati (Ikhsan & Haris, 2022), dan analisis geospasial yang lebih luas menggunakan pendekatan MCDM untuk zonasi potensi geowisata (Bilgiç et al., 2024a). Tamang et al. menerapkan Geosite Assessment Model (GAM) untuk evaluasi geomorfosit bagi pengembangan geowisata di kawasan Proterozoik India (Tamang et al., 2023). Ansori et al. menerapkan analisis geospasial untuk pemetaan distribusi warisan geologi di Geopark Nasional Karangsambung-Karangbolong, Indonesia (Ansori et al., 2022). Sementara itu, Adrianda et al. melakukan penilaian geosite untuk mendorong geo-edukasi dan geowisata di Geopark Silokek, Indonesia, yang menghasilkan temuan bahwa kawasan karst memiliki nilai geosite tertinggi (Adrianda et al., 2025).

Meskipun demikian, kajian-kajian tersebut belum menjawab kebutuhan mendasar berupa inventaris geoheritage yang komprehensif dan berbasis lapangan secara spasial di Geopark Maros. Pada tabel 1 menyajikan analisis kesenjangan penelitian (research gap) secara sistematis untuk menjelaskan posisi penelitian ini.

Tabel 1. Analisis Kesenjangan Penelitian terkait Geoheritage Geopark Karst Maros

Aspek Kajian	Penelitian Terdahulu	Keterbatasan	Kontribusi Dalam Penelitian
Pengelolaan Geopark	Invanni et al. (n.d.)	Berfokus pada aspek administratif, belum memetakan situs geoheritage secara spasial	Menyediakan peta distribusi spasial seluruh situs geoheritage secara terverifikasi lapangan
Ekowisata & Keanekaragaman Hayati	Ikhsan & Haris (2022)	Berfokus pada biodiversitas, tidak mengidentifikasi tipe warisan geologi secara sistematis	Mengklasifikasikan 12 situs geoheritage berdasarkan kerangka tipologis internasional yang terstandarisasi
Potensi Geowisata MCDM-AHP	Bilgic et al. (2024a)	Menggunakan pendekatan pembobotan kriteria, belum menganalisis distribusi spasial situs secara individual	Menganalisis distribusi spasial berbasis koordinat GPS lapangan dan overlay SIG di 3 kawasan terpadu
Pemetaan Geoheritage di Geopark Karst Indonesia	Ansori et al. (2022); Adrianda et al. (2025)	Dilakukan di geopark lain (Karangsambung, Silokek), belum ada untuk koridor Maros secara terpadu	Menghasilkan inventaris geoheritage berbasis lapangan pertama yang mencakup koridor Bantimurung-Leang-leang-Rammang-rammang sebagai zona geowisata terpadu

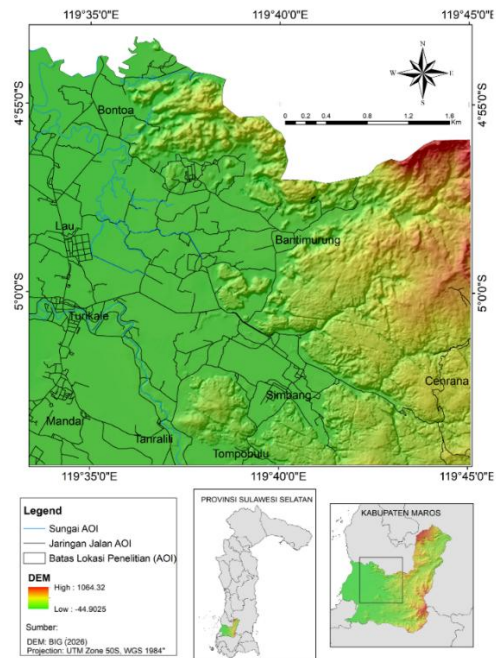
Berdasarkan analisis kesenjangan penelitian pada Tabel 1, kebaruan penelitian ini terletak pada: (1) dihasilkannya inventaris geoheritage berbasis survei lapangan yang pertama dan paling komprehensif yang secara khusus mencakup koridor Bantimurung-Leang-leang-Rammang-rammang sebagai zona geowisata terpadu; (2) pengungkapan hubungan antara distribusi spasial geoheritage dengan kendali litologis dan struktural Formasi Batugamping Tonasa melalui analisis overlay SIG; serta (3) penyediaan landasan ilmiah yang langsung dapat diterapkan dalam pengambilan keputusan pengembangan geowisata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan mendokumentasikan situs-situs warisan geologi (geoheritage) di dalam tiga zona utama melalui survei lapangan sistematis; (2) menghasilkan peta distribusi spasial berbasis SIG yang mengintegrasikan data GPS lapangan dengan lapisan spasial geologi dan administrasi; dan (3) mengklasifikasikan situs teridentifikasi menggunakan kerangka tipologi warisan geologi yang terstandarisasi dan menilai potensinya bagi pengembangan geowisata.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif-spasial yang menggabungkan survei lapangan sistematis dengan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Lokasi penelitian berada di Kawasan Geopark Karst Maros yang berada di Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia (Gambar 1). Area ini mencakup tiga kawasan warisan geologi utama: Bantimurung, Leang-leang, dan

Rammang-rammang, yang secara geologis didominasi oleh Formasi Batugamping Tonasa yang dicirikan oleh bentang alam karst menara hasil dari jutaan tahun proses karstifikasi, pelarutan, dan tektonik. Ketiga kawasan tersebut dihubungkan oleh jaringan jalan yang mudah diakses, sehingga sangat potensial untuk pengembangan kawasan geowisata.



Gambar 1. Peta wilayah studi yang menunjukkan lokasi penelitian di Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan (Sumber: DEM: BIG, 2026; Proyeksi: UTM Zona 50S, WGS 1984)

Pengumpulan data melibatkan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan yang meliputi: (1) perekaman koordinat GPS dari setiap situs warisan geologi yang diidentifikasi menggunakan perangkat GPS genggam; (2) pengamatan geologi lapangan termasuk deskripsi litologi, karakterisasi geomorfologi, dokumentasi morfologi gua, dan identifikasi proses-proses geologi yang aktif; (3) dokumentasi fotografi lapangan; dan (4) pencatatan deskriptif tentang aksesibilitas, kondisi situs, dan potensi geowisata masing-masing situs.. Data spasial yang dikumpulkan dari sumber yang tersedia untuk umum seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data spasial yang digunakan dalam penelitian

Data Spasial	Sumber	Skala/Resolusi
Batas Administratif Kabupaten Maros	Ina-Geoportal	Skala 1:50.000
Digital Elevation Model (DEM)	Website BIG	Resolusi 30 m
Jaringan Jalan	Ina-Geoportal	Skala 1:50.000
Jaringan Sungai	Ina-Geoportal	Skala 1:50.000
Data GPS Titik Geoheritage	Survei Lapangan	Fitur Titik

2.2. Metodologi

Situs warisan geologi (geoheritage) diidentifikasi berdasarkan pengamatan lapangan sistematis di ketiga kawasan studi. Setiap situs dievaluasi secara kualitatif berdasarkan empat kriteria penilaian yang mengacu pada kerangka penilaian geoheritage internasional (Brilha, 2016; Vujičić et al., 2011), yaitu:

(1) Nilai ilmiah, yang meliputi keunikan fitur geologi, kelangkaan, dan keterwakilan proses geologi. Situs dinilai berdasarkan seberapa baik situs tersebut merepresentasikan proses geologi khas seperti karstifikasi, speleogenesis, atau pelarutan batugamping;

(2) Nilai estetika, termasuk daya tarik visual dan keindahan lanskap. Penilaian dilakukan melalui observasi langsung dan dokumentasi fotografi.

(3) Nilai pendidikan, yang meliputi potensi pendidikan geologi dan interpretasi publik. Aspek yang dinilai

meliputi kemudahan fenomena geologi untuk dijelaskan kepada non-ahli dan ketersediaan fitur interpretasi.

(4) Nilai pariwisata, termasuk aksesibilitas, keamanan pengunjung, dan daya tarik geowisata. Situs yang dapat dicapai dengan mudah, aman, dan memiliki fitur visual menarik mendapat nilai tertinggi pada kriteria ini.

Situs yang diidentifikasi, selanjutnya diklasifikasikan menggunakan kerangka tipologi warisan geologi yang meliputi empat tipe: geomorfologi (bentuk lahan dan proses lanskap), speleologi (sistem gua dan fitur speleothem), arkeologi/paleogeografi (jejak manusia prasejarah), dan hidrologi (air terjun dan mata air karst) (Ruban, 2010) (Bruno et al., 2014)(Sapari et al., 2020)(Mikhailenko et al., 2020)(Khalaf, 2022)(Santos et al., 2022)

Pemetaan spasial berbasis SIG dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan sistem koordinat UTM Zona 50S, datum WGS 1984. Proses pemetaan meliputi: (1) Georeferensi dan plotting koordinat GPS sebagai fitur titik; (2) Overlay spasial titik-titik warisan geologi dengan batas administrasi, DEM hillshade (azimuth 315°, altitude 45°, Z factor 1), jaringan jalan, dan lapisan jaringan sungai. Lapisan DEM diproses untuk menghasilkan peta dasar bayangan bukit untuk visualisasi latar belakang topografi, yang secara efektif menampilkan karakteristik relief karst dari lokasi penelitian; (3) Pembuatan tiga peta *output*, yaitu peta lokasi penelitian, peta distribusi spasial semua situs warisan geologi, dan peta detail per kawasan; (4) Analisis distribusi spasial yang meneliti hubungan antara distribusi situs warisan geologi dan struktur geologi yang mendasarinya, fitur topografi, dan jaringan aksesibilitas.

3. Hasil dan Pembahasan

Survei lapangan yang dilakukan berhasil mengidentifikasi 12 situs warisan geologi (geoheritage) yang terdistribusi di tiga kawasan studi: tiga situs di Bantimurung, tiga situs di Leang-leang, dan enam situs di Rammang-rammang. Tabel 3 menyajikan ringkasan komprehensif dari seluruh situs geoheritage yang teridentifikasi, termasuk koordinat dan klasifikasi tipologinya.

Tabel 3. Ringkasan situs geoheritage yang teridentifikasi di Geopark Karst Maros UNESCO Global Geopark

Nama Situs	Kawasan	Tipe Geoheritage	Easting (m)	Northing (m)
Air Terjun Bantimurung	Bantimurung	Hidrologi/Geomorfologi	797850	9444941
Gua Batu Bantimurung	Bantimurung	Speleologi	798174	9445477
Gua Mimpi Bantimurung	Bantimurung	Speleologi	797908	9444586
Jejak Tangan Leang-leang	Leang-leang	Arkeologi	796798	9449069
Taman Batu Leang-leang	Leang-leang	Geomorfologi	796665	9449169
Leang Burung	Leang-leang	Speleologi/Arkeologi	795173	9446441
Hutan Batu Rammang-rammang	Rammang-rammang	Geomorfologi	788281	9455040
Gua Karst Rammang-rammang	Rammang-rammang	Speleologi	790168	9456193
Taman Batu Rammang-rammang	Rammang-rammang	Geomorfologi	790033	9456179
Gua Kristal Rammang-rammang	Rammang-rammang	Speleologi/Mineralogi	790027	9456029
Gua Puncak Rammang-rammang	Rammang-rammang	Speleologi	790104	9456019
Gua Gorila Rammang-rammang	Rammang-rammang	Speleologi/Arkeologi	789522	9456214

3.1. Kawasan Bantimurung

Kawasan Bantimurung yang terletak di bawah Formasi Batugamping Tonasa, mengandung tiga situs geoheritage yang mewakili tipe warisan hidrologi, speleologi, dan geomorfologi. Dari perspektif geologi, Kawasan Bantimurung berada di zona transisi antara dataran rendah dan perbukitan karst yang tersusun atas batugamping masif berfosil berumur Eosen-Miosen (Deharveng et al., 2021). Pertemuan antara sistem pelarutan batugamping secara vertikal (vadose zone) dan horizontal (phreatic zone) telah menciptakan jaringan gua dan lorong bawah tanah yang kompleks, serta fitur hidrologi permukaan berupa air terjun yang spektakuler.

Air Terjun Bantimurung merupakan situs warisan geologi hidrologi-geomorfologi yang terbentuk melalui kombinasi karstifikasi, aktivitas tektonik, pergeseran lereng (sesar), dan proses erosi (Ortega-Becerril et al., 2019). Dari sisi litologi, batugamping di sekitar air terjun ini bersifat masif dan kompak dengan rekahan-rekahan yang dikontrol oleh struktur kekar (joint) berarah NW-SE, yang menjadi jalur pelarutan dominan. Gua Batu Bantimurung adalah situs speleologi yang dicirikan oleh banyaknya stalaktit dan stalagmit dengan beragam ukuran. Stalaktit menggantung dari langit-langit gua dan stalagmit tumbuh ke atas dari lantai melalui pengendapan kalsium karbonat dari air yang menetes (Frisia, 2019). Keragaman dan kepadatan formasi speleothem menjadikannya situs yang luar biasa untuk interpretasi speleologi. Gua Mimpi Bantimurung terbentuk melalui pelarutan dan pelebaran retakan batu kapur yang berkepanjangan dalam skala waktu geologis yang panjang (Arif et al., 2013). Lorong-lorong yang panjang dan berliku mencerminkan kompleksitas sistem hidrologi bawah tanah yang pernah aktif di kawasan ini.

3.2. Kawasan Leang-leang

Kawasan Leang-leang berisi tiga situs geoheritage yang memiliki signifikansi arkeologis dan paleogeografis tertentu. Secara geologis, kawasan ini berada di zona perbukitan karst terisolasi (isolated karst hills) yang berkembang di atas batugamping Formasi Tonasa berumur Eosen. Pola perbukitan karst terisolasi ini merupakan hasil dari proses denudasi karst tingkat lanjut yang mengikis massa batugamping horizontal menjadi perbukitan terpisah-pisah, yang secara ilmiah sangat representatif untuk studi evolusi geomorfologi karst.

Taman Batu Leang-leang adalah situs geomorfologi yang dicirikan oleh perbukitan karst hasil proses pelarutan, erosi diferensial, dan deformasi tektonik. Jejak Tangan Prasejarah Leang-leang merupakan situs geoheritage bertipe arkeologi-paleogeografi yang paling signifikan di kawasan geopark ini. Lukisan stensil tangan yang ditemukan di dinding gua Leang-leang merupakan beberapa seni cadas (*rock art*) tertua yang dikenal di dunia dan memberikan bukti langsung keberadaan manusia prasejarah. Sifat geologis batu gamping telah memfasilitasi pelestarian luar biasa dari lukisan-lukisan ini selama puluhan ribu tahun, menciptakan perpaduan yang menarik antara warisan geologis dan arkeologis. Leang Burung adalah gua prasejarah dengan struktur batuan karst yang khas yang terbentuk melalui erosi air dan angin selama jutaan tahun. Keunggulan utama situs ini adalah lokasinya hanya sekitar 20 meter dari jalan umum, menjadikannya situs geoheritage dengan aksesibilitas tertinggi yang dapat dikembangkan dengan investasi infrastruktur minimal.

3.3. Kawasan Rammang-rammang

Kawasan Rammang-rammang merupakan kawasan yang konsentrasi situs geoheritage tertinggi dalam penelitian ini, dengan enam situs mewakili tipe

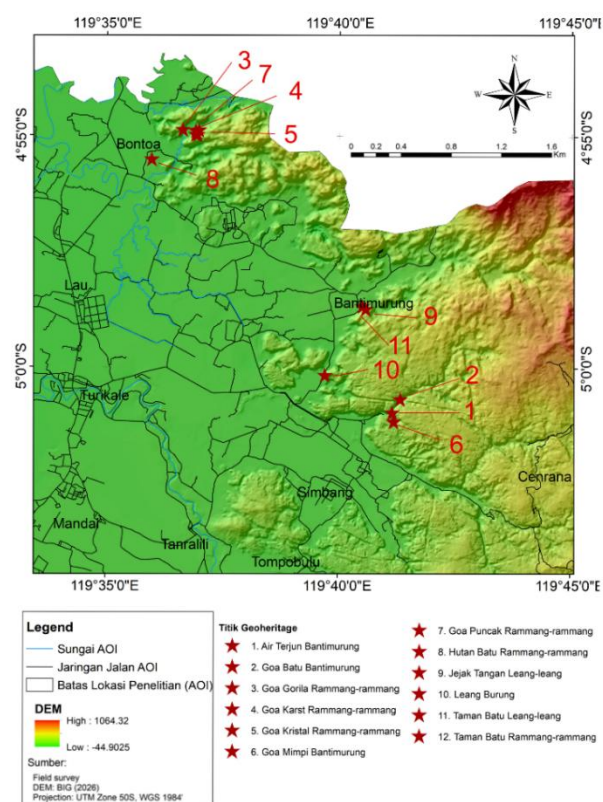
geomorfologi, speleologi, mineralogi, dan arkeologi. Enam geosite yang teridentifikasi di kawasan ini tidak muncul secara acak, melainkan berkaitan dengan tiga faktor utama. Pertama, dominasi batugamping Formasi Tonasa yang tebal dan relatif masif menyediakan material karbonat ideal bagi perkembangan tower karst dan gua. Kedua, intensitas karstifikasi yang tinggi dan ditunjukkan oleh keberadaan menara karst, permukaan batuan terlarut, lorong gua, speleothem, dan fitur mineralogi. Hal ini menunjukkan evolusi bentanglahan karst yang lebih matang dibanding dua kawasan lain. Ketiga, keberadaan lembah dan jalur Sungai Pute menciptakan koridor geomorfologi yang mempertemukan proses fluvial, pelarutan, dan aksesibilitas wisata berbasis sungai.

Hutan Batu Rammang-rammang (Hutan Batu) dikenal secara internasional sebagai tower karst yang dicirikan oleh tebing dan bukit karst yang luas dan berasal dari endapan terumbu karang laut dangkal yang secara bertahap mengalami sementasi dan pepadatan, sehingga membentuk formasi bukit batu kapur saat ini (Ikhsan & Haris, 2022). Lanskap sekitarnya mencakup keanekaragaman hayati yang tinggi, menciptakan integrasi keanekaragaman geologi dan keanekaragaman hayati yang mewakili salah satu lanskap tower karst paling spektakuler di Asia Tenggara. Padang Ammarung (Taman Batu) adalah situs geomorfologi terbuka yang menampilkan permukaan batuan karst yang luas dengan tekstur dan pola khas yang menunjukkan proses erosi dan pelarutan yang berkepanjangan selama ribuan tahun. Situs ini diidentifikasi sebagai situs dengan potensi geoturisme tertinggi di wilayah penelitian berdasarkan keunikan geologis yang luar biasa, daya tarik visual, dan daya tarik pengunjung (Bilgiç et al., 2024). Sistem gua Rammang-rammang (Gua Karst, Gua Kristal, Gua Puncak, dan Gua Gorila) merupakan situs warisan geologis speleologi dan arkeologi yang menyimpan sejarah geologis yang kaya. Keberadaan sistem gua yang berkembang dengan baik berfungsi sebagai indikator berkembangnya bentuklahan karst secara intensif di kawasan ini (Arif et al., 2013). Gua Kristal memiliki keistimewaan berupa stalaktit dan stalagmit yang berkilauan ketika terkena cahaya akibat sifat kristal mineral kalsium karbonat. Gua Gorila berisi lukisan dinding prasejarah dan beragam artefak yang memberikan catatan nyata peradaban prasejarah dengan stalaktit dan stalagmit berskala besar yang telah

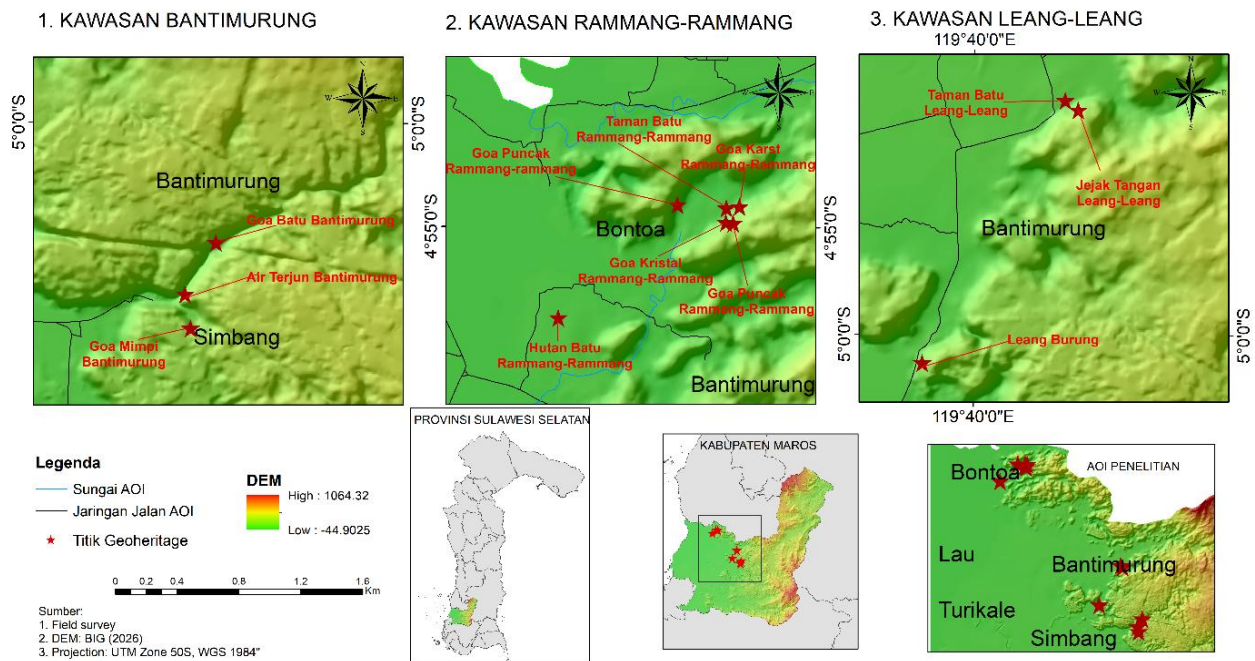
bersatu membentuk tiang-tiang gamping yang mengesankan.

3.4. Distribusi Spasial Situs Geoheritage

Pemetaan spasial berbasis SIG dari 12 situs warisan geologi yang teridentifikasi mengungkapkan pola distribusi yang khas dengan implikasi geologis yang signifikan (Gambar 2). Peta distribusi spasial secara jelas menampilkan tiga kelompok geografis berbeda yang bersesuaian dengan tiga kawasan studi dengan Kawasan Rammang-rammang menunjukkan kepadatan situs tertinggi. Pada Gambar 3 menyajikan peta detail dari setiap kawasan yang memungkinkan visualisasi presisi lokasi setiap situs beserta hubungan spasialnya dengan jaringan jalan dan sungai.



Gambar 2. Peta distribusi spasial 12 titik geoheritage di Geopark Karst Maros UNESCO Global Geopark (Sumber: Survei lapangan, November 2024; DEM: BIG, 2024; Proyeksi: UTM Zone 50S, WGS 1984)



Gambar 3. Peta detail situs geoheritage per kawasan: (1) Bantimurung, (2) Rammang-rammang, (3) Leang-leang (Sumber: Survei lapangan, DEM: BIG, 2024; Proyeksi: UTM Zone 50S, WGS 1984)

Analisis spasial mengungkapkan empat karakteristik distribusi utama. Pertama, pola konsentrasi tertinggi ditemukan di Rammang-rammang, di mana enam situs tersebar dalam area yang relatif kompak dan dapat diakses melalui koridor Sungai Pute. Pengelompokan spasial ini menunjukkan sistem karst yang sangat produktif dengan beragam proses geologi yang beroperasi secara intensif dalam area lokal, konsisten dengan karstifikasi tingkat lanjut yang didokumentasikan dalam sistem Maros-Pangkep. Kedua, tiga kawasan studi membentuk koridor geowisata linier alami yang terhubung oleh jaringan jalan, menciptakan potensi signifikan untuk pengembangan rute geowisata multi-hari yang terintegrasi. Ketiga, distribusi spasial situs-situs warisan geologi sangat dipengaruhi oleh Formasi Batugamping Tonasa yang mendasarinya. Sistem gua dan bentang alam karst terkonsentrasi di zona-zona dengan singkapan batugamping maksimum, berasosiasi dengan zona interaksi aktif antara air permukaan dan sistem karst bawah tanah. Hal ini konsisten dengan temuan dari kajian geopark karst dalam konteks yang lebih luas (Ansori et al., 2023) (Papadopolou et al., 2022). Keempat, terdapat gradien aksesibilitas yang jelas di ketiga zona tersebut, yaitu: Bantimurung menawarkan aksesibilitas umum tertinggi untuk pariwisata massal, Leang-leang menyediakan aksesibilitas sedang dengan signifikansi arkeologi yang sangat tinggi, dan Rammang-rammang membutuhkan

akses berbasis sungai yang menambah nilai pengalaman sekaligus secara alami membatasi volume pengunjung.

Analisis overlay SIG mengungkapkan empat karakteristik distribusi spasial utama. Pertama, pola pengelompokan (*clustering*) spasial tertinggi dijumpai di Kawasan Rammang-rammang, di mana enam situs terdistribusi dalam radius kurang dari 2 km. Berdasarkan analisis spasial, kepadatan situs di Rammang-rammang mencapai 3 situs/km², jauh lebih tinggi dibandingkan Bantimurung (1,2 situs/km²) dan Leang-leang (1,4 situs/km²). Pengelompokan spasial ini secara langsung berkorelasi dengan zona singkapan Formasi Batugamping Tonasa yang paling tebal dan dengan intensitas jaringan kekar yang tinggi, sebagaimana telah dianalisis pada subbab 3.3.

Kedua, analisis buffer jaringan jalan menunjukkan bahwa 10 dari 12 situs geoheritage (83%) berada dalam radius 500 meter dari jaringan jalan utama, yang mencerminkan tingkat aksesibilitas yang sangat baik secara keseluruhan. Pengecualian adalah Gua Puncak Rammang-rammang (akses melalui jalur pendakian curam) dan seluruh situs Rammang-rammang yang memerlukan akses tambahan melalui Sungai Pute. Distribusi aksesibilitas ini memiliki implikasi langsung bagi perencanaan pengembangan infrastruktur geowisata.

Ketiga, analisis overlay antara titik geoheritage dan peta topografi yang diturunkan dari DEM menunjukkan bahwa seluruh situs berada pada rentang ketinggian 50–

500 meter di atas permukaan laut (mdpl), yang merupakan zona dataran rendah hingga perbukitan karst rendah. Rentang ketinggian ini sangat kondusif untuk pengembangan geowisata karena relatif mudah dijangkau oleh berbagai segmen pengunjung tanpa memerlukan peralatan pendakian khusus. Kondisi topografi yang berada pada zona dataran rendah hingga perbukitan karst rendah ini secara langsung mendukung potensi aksesibilitas dan kenyamanan pengunjung di ketiga kawasan.

Keempat, ketiga kawasan membentuk koridor geowisata linier alami sepanjang kurang lebih 20 km yang terhubung oleh jaringan jalan, menciptakan peluang signifikan untuk pengembangan rute geowisata multi-hari yang terintegrasi. Keberadaan koridor linier ini ditunjukkan secara visual pada Gambar 2 yang merupakan aset spasial yang sangat berharga dan menjadi salah satu keunikan Geopark Maros dibandingkan geopark karst lainnya di Indonesia.

Berdasarkan klasifikasi tipologis yang diterapkan, 12 situs geoheritage dikategorikan ke dalam empat tipe utama sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi tipologi situs warisan geologi yang teridentifikasi

Jenis Warisan Geologi	Jumlah Situs	Persentase (%)	Situs-situs Utama
Speleologi	6	50%	Gua Batu, Gua Mimpi, Leang Burung, Gua Karst, Gua Kristal, Gua Puncak
Geomorfologi	3	25%	Taman Batu Leang-leang, Hutan Batu, Padang Ammarung
Arkeologi	2	17%	Jejak Tangan Leang-leang, Gua Gorila
Hidrologis	1	8%	Air Terjun Bantimurung

Dominasi tipe geoheritage speleologi (6 situs, 50%) secara langsung mencerminkan kondisi geologi Formasi Batugamping Tonasa yang sangat reaktif terhadap proses pelarutan, dikombinasikan dengan intensitas jaringan kekar yang tinggi dan kondisi iklim tropis lembap yang menyediakan curah hujan melimpah sebagai agen pelarutan. Kondisi-kondisi ini secara

sinergis mendorong perkembangan sistem gua (endokarst) yang sangat intensif di ketiga kawasan, namun paling tinggi di Rammang-rammang sebagaimana telah dianalisis.

Implikasi pengembangan geowisata yang diperoleh dari hasil pemetaan spasial dapat dikelompokkan menjadi tiga tingkatan prioritas. Tingkat Prioritas pertama mencakup situs-situs dengan kesiapan tinggi untuk pengembangan segera yang memiliki aksesibilitas tinggi, daya tarik visual yang kuat, yaitu Leang Burung, Taman Batu Leang-leang, dan Padang Ammarung. Situs-situs ini terutama memerlukan investasi promosi, fasilitas pengunjung dasar, dan panel interpretasi geologi untuk memaksimalkan nilai geowisatanya. Tingkat Prioritas kedua mencakup Air Terjun Bantimurung, Gua Batu, dan Gua Mimpi yang sebagian sudah dikembangkan untuk pariwisata tetapi membutuhkan peningkatan interpretasi geologi, sistem manajemen pengunjung, dan fasilitas pendidikan khusus geowisata. Tingkat Prioritas ketiga mencakup Gua Puncak dan sistem gua dalam Rammang-rammang yang memerlukan infrastruktur keselamatan khusus dan pemandu profesional. Temuan ini sejalan dengan kerangka kerja prioritas warisan geologi serupa yang diterapkan dalam konteks geopark UNESCO lainnya (Singh et al., 2021) (Bilgiç et al., 2024), di mana aksesibilitas lokasi dan keunikan geologi berfungsi sebagai penentu utama kesiapan pembangunan. Konektivitas spasial koridor Bantimurung-Leang-leang-Rammang-rammang menghadirkan peluang signifikan untuk pengembangan rute geowisata yang saling terintegrasi dan berpotensi meningkatkan pengalaman pengunjung, meningkatkan durasi pengeluaran rata-rata, dan mendistribusikan manfaat ekonomi geowisata secara lebih merata kepada masyarakat lokal, selaras dengan prinsip-prinsip geowisata berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan memetakan secara spasial 12 situs warisan geologi (geoheritage) di Geopark Karst Maros yang telah ditetapkan sebagai bagian dari UNESCO Global Geopark, mencakup Kawasan Bantimurung, Leang-leang, dan Rammang-rammang. Hasil identifikasi menunjukkan empat tipe warisan geologi utama, yaitu speleologi (6 situs, 50%), geomorfologi (3 situs, 25%), arkeologi (2 situs, 17%), dan hidrologi (1 situs, 8%).

Kontribusi ilmiah utama penelitian ini adalah sebagai berikut: Pertama, penelitian ini menghasilkan inventaris geoheritage berbasis survei lapangan yang pertama dan paling komprehensif yang secara khusus mencakup koridor terpadu Bantimurung-Leang-leang-Rammang-rammang sebagai zona geowisata tunggal yang mengisi kesenjangan dokumentasi ilmiah yang telah lama ada.

Kedua, analisis overlay SIG yang dilakukan mengungkapkan bahwa konsentrasi enam geosite di Kawasan Rammang-rammang bukan merupakan fenomena acak, melainkan dikontrol secara langsung oleh faktor geologi yang saling berinteraksi. Ketiga, pemetaan spasial berbasis SIG yang dihasilkan menyediakan landasan ilmiah yang tervalidasi secara spasial untuk perencanaan pengembangan geowisata, perumusan kebijakan konservasi berbasis evidensi, dan pengelolaan situs warisan geologi di Geopark Karst Maros.

Implikasi praktis dari penelitian ini mencakup penetapan tiga tingkatan prioritas pengembangan geowisata berbasis aksesibilitas dan keunikan geologi. Kebaruan penelitian ini memberikan kontribusi metodologis yang dapat direplikasi untuk kawasan geopark karst lainnya di Indonesia dan Asia Tenggara, khususnya dalam hal integrasi analisis overlay SIG dengan survei lapangan geoheritage untuk mengungkap pengaruh geologi terhadap distribusi spasial situs. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan penilaian geoheritage secara kuantitatif menggunakan metode terstandarisasi (seperti GAM atau M-GAM), analisis daya dukung pengunjung, dan kerangka pengembangan geowisata berbasis komunitas lokal guna memperkuat landasan ilmiah geowisata berkelanjutan di Geopark Karst Maros.

5. Referensi

- Adrianda, R. S., Sahara, R., & Gusti, U. K. (2025). The geodiversity site of Geopark Ranah Minang Silokek, Indonesia: Promoting geo-education and geotourism through geosite assessment. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 13(2), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.11.012>
- Ansori, C., Setiawan, N. I., Warmada, I. W., & Yogaswara, H. (2022). Identification of geodiversity and evaluation of geosites to determine geopark themes of the Karangsambung-Karangbolong National Geopark, Kebumen, Indonesia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.01.001>
- Ansori, C., Warmada, I. W., Setiawan, N. I., & Yogaswara, H. (2023). Geospatial analysis of the distribution of the Megalithic to colonial cultural features at the Karangsambung-Karangbolong National Geopark, Kebumen, Indonesia and its surrounding area. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(3), 407–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2023.06.002>
- Arif, O. : Jurusan, A., Geografi, P., & Uny, F. (2013). *POLA LORONG GUA DAN SPELEOGENESIS PADA SISTEM PERGUAAN GESING-JLAMPRONG-SINDEN KARST GUNUNGSEWU* (Vol. 11).
- Bilgiç, S., Karadeniz, E., & Selman Er. (2024). Enhancing Geosite Accessibility Assessment: A New Mcdm Model. *Geoheritage*, 16(2). <https://doi.org/10.1007/s12371-024-00965-7>
- Bruno, D. E., Crowley, B. E., Gutak, J. M., Moroni, A., Nazarenko, O. V., Oheim, K. B., Ruban, D. A., Tiess, G., & Zorina, S. O. (2014). Paleogeography as geological heritage: Developing geosite classification. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 138, pp. 300–312). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.06.005>
- Deharveng, L., Rahmadi, C., Rahayuningsih Suhardjono, Y., & Bedos, A. (2021). The Towakkalak System, A Hotspot of Subterranean Biodiversity in Sulawesi. *Indonesia. Diversity*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/d13080392i>
- Frisia, S. (2019). Stalactites and stalagmites. In *Encyclopedia of Caves, Third Edition* (pp. 1041–1048). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00120-5>
- Ikhsan, M., & Haris, H. (2022). EKOWISATA RAMMANG-RAMMANG SEBAGAI LABORATORIUM PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL GEOGRAFI DI KABUPATEN MAROS. *JAMBURA GEO EDUCATION JOURNAL*, 3(2), 43–51. <https://doi.org/10.34312/jgej.v3i2.15366>
- Invanni, I., Zhiddiq, S., Geografi, J., Ilmu, F., & Alam, P. (n.d.). *KESIAPAN GEOPARK NASIONAL MAROS PANGKEP MENUJU UNESCO GLOBAL GEOPARK (STUDI PEMBANDING UNSECO GLOBAL GEOPARK GUNUNG SEWU)*.
- Khalaf, E. E. D. A. H. (2022). Karst Heritage as a Tourist Attraction: a Case Study in the White Desert National Park, Western Desert, Egypt. *Geoheritage*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00727-3>
- Mikhailenko, A. V., Ruban, D. A., & Ermolaev, V. A. (2020). The khadzokh canyon system-an important geosite of the western caucasus. *Geosciences (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/geosciences10050181>
- Mohamadianmansoor, S., & Khanian, M. (2022). Sustainable Geotourism: Developing a Grounded Model for Evaluation of Geotouristic Capacities in Geosites via the Study of Khorzeneh in Hamedan, Iran. *Geoheritage*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00663-2>
- Newsome, D., & Dowling, R. (2018). Geoheritage and geotourism. In *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management* (pp. 305–321). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00017-4>

- Ortega-Becerril, J. A., Polo, I., & Belmonte, A. (2019). Waterfalls as Geological Value for Geotourism: the Case of Ordesa and Monte Perdido National Park. *Geoheritage*, 11(3), 1199–1219. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00366-1>
- Papadopoulou, E. E., Papakonstantinou, A., Vasilakos, C., Zouros, N., Tataris, G., Proestakis, S., & Soulakellis, N. (2022). Scale issues for geoheritage 3D mapping: The case of Lesvos Geopark, Greece. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(3), 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.08.006>
- Pardo-Igúzquiza, E., Durán-Valsero, J. J., Dowd, P. A., Luque-Espinar, J. A., Heredia, J., & Robledo-Ardila, P. A. (2022). Geodiversity of closed depressions in a high relief karst: Geoeducation asset and geotourism resource in the “Sierra de las Nieves” National Park (Málaga Province, Southern Spain). *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(2), 196–217. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.04.001>
- Ruban, D. A. (2010). Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists’ Association*, 121(3), 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2010.07.002>
- Santos, D. S., Mansur, K. L., & Seoane, J. C. S. (2022). Classification Scheme for Geomorphosites’ GIS Database: Application to the Proposed Geopark Costões e Lagunas, Rio de Janeiro, Brazil. *Geoheritage*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00732-6>
- Sapari, M., Hadian, D., Barkah, N., Ramadhan, R., & Rahmat, B. (2020). IDENTIFICATION AND CONSERVATION OF GEOHERITAGE (GEOLOGY) BASED ON GEODIVERSITY ANALYSIS (ASPIRING GEOPARK): STUDY OF KALTARA AND SANGKULIRANG-MANGKALIHAT. 1(2), 8–35. <https://doi.org/10.17501/27838625.2020.1202>
- Seppi, R., Scognamiglio, E., Zanoner, T., Carton, A., La Licata, M., Bombarda, W., Masè, V., Viviani, M., & Zumiani, M. (2026). Geomorphological Mapping as a Key Tool for Geoheritage Protection and Valorisation: A Digital Database for the Adamello Brenta UNESCO Global Geopark (European Alps). *Geoheritage*, 18(2), 54. <https://doi.org/10.1007/s12371-026-01295-6>
- Singh, B. V. R., Sen, A., Verma, L. M., Mishra, R., & Kumar, V. (2021). Assessment of potential and limitation of Jhamarkotra area: A perspective of geoheritage, geo park and geotourism. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(2), 157–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.04.001>
- Tamang, L., Mandal, U. K., Karmakar, M., Banerjee, M., & Ghosh, D. (2023). Geomorphosite evaluation for geotourism development using geosite assessment model (GAM): A study from a Proterozoic terrain in eastern India. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(1), 82–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.12.001>