

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada tanggal 24 Mei 2023 dalam sidang Dewan Eksekutif UNESCO ke 216 di Paris, Prancis, Geopark Maros Pangkep telah resmi ditetapkan sebagai salah satu UNESCO Global Geopark (UNESCO, 2023). Geopark Maros Pangkep terbentang di dua kabupaten, yaitu Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep. Geopark adalah sebuah kawasan yang memiliki unsur geologi terkemuka (*outstanding*), termasuk nilai arkeologi, ekologi, dan budaya yang ada di dalamnya. Masyarakat setempat diajak berperan serta untuk melindungi dan meningkatkan fungsi warisan alam (UNESCO, 2004). Pada prinsipnya, geopark merupakan konsep pemanfaatan dan pengembangan kawasan, di mana beberapa potensi geohéritage yang terletak berdekatan di wilayah tersebut dikelola dengan cara mengintegrasikan prinsip-prinsip konservasi dan rencana tata ruang eksisting dari pemerintah (Komoo, 1993). Geopark terdiri atas sejumlah tapak keragaman geologi yang memiliki kepentingan ilmiah khusus, kelangkaan, dan keindahan, yang dikenal sebagai warisan geologi (Geohéritage). Keragaman geologi (Geodiversity) merupakan komponen-komponen geologi yang memiliki fungsi sebagai jejak sejarah pembentukan bumi (Oktariadi, 2014). Geodiversity ini merujuk pada keragaman geologi yang mencakup berbagai elemen seperti batuan, mineral, bentukan lahan, stratigrafi, dan proses-proses geologis lainnya.

Geohéritage merupakan bagian dari geodiversity yang mengacu pada keragaman geologi secara umum. Warisan geologi (*Geohéritage*) adalah keanekaragaman geologi yang memiliki nilai lebih sebagai warisan karena merupakan rekaman dari apa yang pernah terjadi di bumi, dan nilai ilmiah yang tinggi, kelangkaan, keunikan, dan keindahan sehingga dapat digunakan untuk penelitian dan pendidikan (Anshori, 2023). Warisan geologi (*Geohéritage*) mencakup fitur-fitur geologi dan geomorfologi yang unik. Menurut (Ruban dalam Fasa & Berliandolo, 2022), terdapat beberapa tipe warisan geologi yaitu Paleontologi (Fosil), Stratigrafi (Hubungan antar unit batuan dalam ruang), Minerologi (Mineral dan Asosiasi mineral), Struktur (Lipatan, sesar, dan ketidakselarasan), Sedimentologi (akumulasi sedimen dan litifikasi), Geomorfologi (Bentang alam dan Prosesnya), Paleogeografi (Paleoenvironment dan fitur geoarkeologi), Geotermal (mata air panas dan geyser), Batuan Beku (Magmatisma dan vulkanisma), Geohistori (Sejarah Geologi), Sumber Daya ekonomi (Bijih, hidrokarbon, dan sumber daya lainnya), Geokimia (Unsur kimia dan perubahannya), dan kosmogenik (Pengaruh luar angkasa di Bumi (Meteor)).

Geosite karst, sebagai daerah dengan fitur proses karst yang menarik, merupakan bagian yang sangat penting dari warisan geologi dan memiliki kualitas dan potensi luar biasa yang dapat digunakan untuk pengembangan dan peningkatan

geowisata. Jenis medan seperti ini termasuk dalam kategori lingkungan khusus dan merupakan komponen penting dari apa yang disebut sebagai 'keanekaragaman hayati bumi' (Gray, 2004). Keunikannya, peninggalan fosil dan arkeologi menjadikannya sebagai sumber daya pariwisata yang menarik dengan nilai ekonomi yang tinggi.

Geowisata memberikan makna yang lebih luas pada situs geologi dan sangat penting untuk pengembangan, perlindungan, dan konservasi situs warisan budaya. Hal ini menyebarkan kesadaran di antara orang-orang untuk melestarikan fitur geologi lokal mereka serta manfaat ekonomi dan budaya bagi masyarakat (Singh et al., 2021). Geowisata juga berkembang dan memicu di kawasan lindung, misalnya taman nasional, suaka margasatwa, cagar alam, cagar biosfer. Geowisata yang berkelanjutan dengan cara yang sangat holistik baik untuk alam, lingkungan budaya dan orang lain yang bergantung padanya. Geowisata saling terkait dengan warisan geologi dan warisan budaya untuk meningkatkan pengetahuan, pengalaman, pendidikan geologi dan kesadaran akan geo-konservasi (Gordon, 2018).

Daerah kajian dalam penelitian ini adalah kawasan Geopark karst Maros, yang menjadi salah satu geopark karst yang diakui secara internasional oleh *UNESCO Global Geopark*. Geopark ini terletak di bagian selatan Pulau Sulawesi, yang dilintasi oleh garis Wallace dan mencakup Kabupaten Maros di Provinsi Sulawesi Selatan. Geopark Maros memiliki potensi alam dan puluhan situs warisan geologi seperti: geomorfologi karst, singkapan batuan, gua, arkeologi, dan keberagaman geologi lainnya. Dalam Geopark, geoheritage merupakan fokus utama dalam pengelolaan dan pengembangan. Untuk diakui sebagai kawasan geopark, setiap kawasan harus memiliki nilai geoheritage yang bersejarah.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). MCDM merupakan pendekatan atau metode dalam pengambilan keputusan berdasarkan alternative/opsi solusi dari multi kriteria (Jaya dkk, 2020). MCDM dikenal sebagai pendekatan yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah simetris dan asimetris dengan banyak parameter (Shaaban & Mesalam, 2022). Dalam metode ini perlu untuk menentukan bobot kriteria-kriteria yang relevan dan akan digunakan.

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah mengevaluasi Geoheritage (warisan geologi) yang terdapat di Kawasan Geopark Maros untuk pengembangan geowisata menggunakan metode MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*). Geowisata memiliki arti penting karena berfokus pada fitur geologi dan prosesnya di daerah alami tertentu, seperti mekanisme erosi dan pelapukan, proses penambangan, pergerakan tektonik, gerakan tektonik, fosil tektonik, fosil-fosil dari era yang berbeda, dll (Dowling & Newsome, 2018). Penelitian ini mencakup geosite yang berada di kawasan Bantimurung, Leang-leang hingga Rammang-rammang. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan informasi tentang kebijakan dan arah

yang akan dilakukan dalam pengembangan geowisata dan perlindungan keragaman dan warisan geologi.

I.2 Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, dan Manfaat Penelitian

I.2.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik *Geoheritage* (Warisan Geologi) di Kawasan Geopark Maros yang dapat diidentifikasi dan dianalisis secara geospasial?
2. Bagaimana penerapan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) dalam menganalisis potensi Geowisata di Kawasan Geopark Maros dan parameter apa saja yang digunakan dalam pengambilan Keputusan.

I.2.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan, antara lain:

- a. Menganalisis parameter-parameter yang mempengaruhi potensi pengembangan geowisata berdasarkan evaluasi *geoheritage* (warisan geologi) seperti, bentangalam batuan, pola karst, gua dan terowongan geologi, fosil dan fenomena geologi khas lainnya dengan menerapkan metode MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*).
- b. Melakukan zonasi potensi geowisata dengan menghubungkan keberagaman geologi.

I.2.3 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan pemahaman mendalam tentang potensi geowisata di kawasan geopark Karst Maros berdasarkan *Geoheritage* sebagai daya tarik utama dan harus dilestarikan.
2. Penelitian ini juga diharapkan menjadi dasar pengembangan kebijakan dan strategi geowisata di lokasi penelitian.

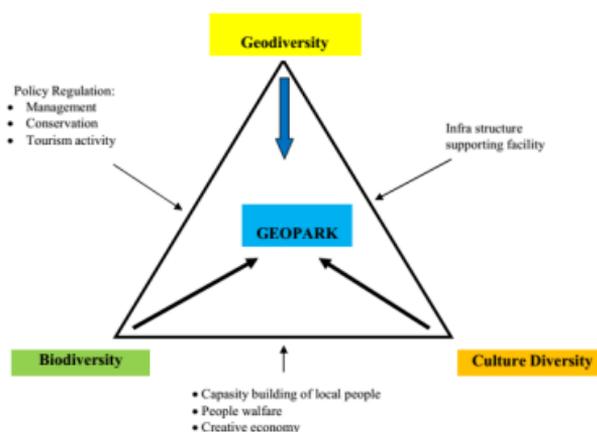
I.3 Landasan Teori

I.2.1 Geopark

Fokus geopark adalah warisan geologi, geologi, dan bentang alam, yang merupakan bagian dari konsep perlindungan, Pendidikan dan pembangunan berkelanjutan. Geopark mencapai tujuannya melalui geokonservasi, pendidikan dan geowisata (Wang, 2015). Geopark adalah area atau kawasan yang signifikan secara geologis. Kawasan ini mengandung berbagai entitas geologi yang memiliki nilai ilmiah, kelangkaan, dan keindahan yang luar biasa, serta beberapa situs warisan geologi yang penting secara global dalam berbagai skala. Karakteristik ini mencerminkan sejarah geologi dan peristiwa serta aktivitas yang membentuk

kawasan tersebut. Batas-batas geopark ditentukan dengan jelas dan mencakup area yang luas dari monumen warisan geologi yang signifikan (Papadopoulou et al, 2022).

Geopark adalah kawasan lindung dengan unsur geologi yang menonjol termasuk nilai arkeologi, ekologi dan budaya. Masyarakat lokal diajak berpartisipasi dalam melindungi dan meningkatkan fungsi warisan alam di Kawasan geopark. Unsur-unsur utama yang terdapat dalam geopark, yaitu: keragaman geologi (geodiversity), keragaman hayati (biodiversity), dan keragaman budaya (cultural diversity). Tujuan akhir geopark adalah untuk keragaman geologi (geodiversitas), konservasi lingkungan dan pendidikan ilmu bumi yang lebih luas Gambar 1.1 (Anshori,2018).



Gambar 1.1 Konsep Geopark melibatkan berbagai pemangku kepentingan untuk konservasi kawasan yang memiliki keanekaragaman geologi, keanekaragaman hayati dan keanekaragaman budaya (Anshori,2018)

Geopark atau taman bumi diawali ide yang dicetuskan oleh UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). Perkembangan Geopark diawali dengan di bentuknya suatu organisasi non government yang bertujuan melindungi warisan geologi di negaranegara eropa EGN (Europe Geopark Network) pada tahun 2001. Selanjutnya UNESCO memfasilitasi dan membentuk organisasi yang mampu menampung lebih banyak lagi negara-negara anggota sehingga terbentuklah GGN (Global Geopark Network) pada tahun 2004.

Sebelum diakui oleh UNESCO menjadi anggota Geopark anggota UGG, sebuah daerah dapat diusulkan untuk ditetapkan menjadi Geopark nasional di negaranya. Geopark Maros Pangkep sudah ditetapkan menjadi anggota Geopark nasional pada bulan November tahun 2017 lalu hal ini menjadikan Indonesia mempunyai 15 Geopark nasional salah satunya adalah Geopark Maros Pangkep, kemudian Geopark Raja Ampat, Geopark Bojonegoro, Geopark Tambora, Geopark Aspiring Belitung dan delapan Geopark nasional yang baru di tetapkan pada tahun

2018 Geopark Pongkor di Bogor, Geopark Karangsambung-Karangbolong di Kebumen (Jawa Tengah) Lalu Geopark Meratus di Kalimantan, dan Geopark Silokek di Sijunjung (Sumatera Barat) Kemudian Geopark Sawahlunto di Sumatera Barat, Geopark Ngaraisianok-Maninjau di Sumatera Barat Serta Geopark Natuna di Kepulauan Riau dan Geopark Banyuwangi di Jawa Timur (Invanni & Zhiddiq,2022).



Gambar 1.2 Peta Geopark di Indonesia (Anshori, 2022)

Pada tanggal 24 Mei 2023 dalam sidang Dewan Eksekutif UNESCO ke 216 di Paris, Prancis, Geopark Maros Pangkep telah resmi ditetapkan sebagai salah satu UNESCO Global Geopark. Geopark Global UNESCO Maros Pangkep terletak di bagian selatan Pulau Sulawesi, yang dilintasi oleh Garis Wallace dan mencakup Kabupaten Maros dan Pangkep di Provinsi Sulawesi Selatan. Luas daratan geopark ini mencapai 44,6% dan luas perairan mencapai 55,4% dari total area, yang terutama terdiri dari Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung di daratan, serta Taman Wisata Perairan Kapoposang dan Konservasi Perairan Lokal Liukang Tupabbiring di lautan.

Maros Pangkep, sebuah UNESCO Global Geopark, menampilkan tiga bentang alam utama. Thrust Melange dari Kompleks Bantimala, yang terdiri dari batuan metamorf dengan tingkat rendah hingga sangat tinggi, batuan sedimen laut dalam, dan blok tektonik kerak samudra, formasi ini berasal dari 70-135 juta tahun yang lalu. Formasi ini menjadi bukti penting evolusi awal Pulau Sulawesi dan berkontribusi pada pemahaman tektonik global pra-tercier. Karst Maros Pangkep adalah bagian terestrial yang menampilkan lanskap karst menara yang megah yang dikenal sebagai "The Spectacular Towers Karst." Daerah ini memiliki 572 gua, baik secara horizontal maupun vertikal, yang menunjukkan karakteristik speleothem yang luar biasa. Gua terpanjang membentang sepanjang 27 km dan berfungsi sebagai bagian dari sistem hidrologi, menghubungkan sungai bawah tanah ke doline, yang

berfungsi sebagai pintu masuk gua. Seiring berjalannya waktu, lebih dari 332 jenis artefak prasejarah telah ditemukan di gua-gua ini (UNESCO, 2023).

Kawasan Geopark Maros Pangkep merupakan Kawasan wisata yang lebih banyak memiliki potensi wisata alam yang dapat dikembangkan. Potensi wisata alam tersebut dapat berbasis Geodiversity, Geoheritage, Biodiversity. Fokus Geosite prioritas saat ini ada 7 Geotrail dan 26 Geosite yaitu (Ivanni,2022) :

Tabel 1.1 Daftar Geosite prioritas dan Geotrail

No	Geotrail	Daftar Geosite
1	Wallacea	Air Terjun Bantimurung Danau Kassi Kebo Gua Batu Gua Mimpi Sanctuari Kupu2 Gua Saripa Taman Purbakala Leang-leang Leang Bettue Leang Timpuseng
2	Karaengta-Pattunuang	Gua Salukang Kallang Hutan Pengamatan Flora Fauna Karaenta Gua Leang Pute Kontak Intrusi Basalt-Batugamping Sungai Pattunuang Biseang Labboro (columnar joint & kontak Intrusi Basalt-Batugamping)
3	Mallawa-Camba	Padang loang Permandian Air Panas Mallawa Hutan Pendidikan Bengo Air Terjun Lacolla Puncak Makkarowea
4	Rammang-rammang	Sungai Pute Hutan Batu Salenrang Kompleks Gua Bersejarah (Gua Karama,batu tianang,Pasaung) Telaga Bidadari Dusun Rammang-rammang Gua Kingkong
5	Bungoro-Bantimala	Basement Complex Bantimala Desa Malaka Sungai Pateteyang Situs Arkeologi Siloro Tambang Marmer Mata Air Mattampa Desa Wisata Pattalassang Leang Kassi Leang Kalibbong Alloa
6	Geosite Balocci-Bulusaraung	Puncak Bulusaraung Desa Wisata Tompobulu

			Taman Prasejarah Sumpangbita Hutan Batu Balocci Baru Hutan Amarai Kontak Intrusi Basalt-Batugamping X-Pabrik Semen Tonasa 1 Gua Londrong
7	Pulau Cambang-cambang dan Kepulauan Spermonde		Pulau Cambang-cambang

I.3.3 Kawasan Karst

Istilah karst yang dikenal di Indonesia sebenarnya diadopsi dari bahasa Yugoslavia atau Slovenia. Istilah aslinya adalah 'krst / krast' yang merupakan nama suatu kawasan di perbatasan antara Yugoslavia dengan Italia Utara, dekat kota Trieste. Karst sebenarnya tidak hanya terjadi di batuan karbonat, namun sebagian besar karst berkembang di batugamping. Ciri utama kawasan karst adalah terdapatnya cekungan-cekungan tertutup yang disebut sebagai dolin. Apabila dolin saling menyatu membentuk uvala. Di beberapa tempat, dolin dapat terisi air membentuk danau dolin. Kenampakan permukaan daerah karst selain doline dan uvala adalah polje, ponor, pinnacle, menara karst, atau kubah karst. Kombinasi dolin dan kubah menyebabkan panorama karst menjadi unik dengan bukit-bukit yang terhampar luas. Keunikan lain dari kawasan karst adalah keberadaan goa dan sungai bawah tanah. Goa-goa tersebut pada umumnya bertingkat dengan ukuran kurang dari satu meter hingga ratusan meter persegi dengan bentuk vertikal miring maupun horisontal. Goa-goa karst hampir semuanya dihiasi dengan ornamen (speleothem) yang sangat beragam dari mulai yang sangat kecil (helectite) hingga yang sangat besar (column) dengan bentuk dan warna yang bervariasi (Adji dkk, 1999).

Morfologi karst diartikan sebagai bentuk bentang alam karst (karst landscape) yang berkembang pada suatu kawasan/ formasi batuan karbonat (batugamping dan dolomit) yang telah mengalami proses karstifikasi atau pelarutan sampai batas tertentu. Kekhasannya dapat dibedakan antara fenomena di atas permukaan (eksokarst) dan fenomena di bawah permukaan (endokarst). Eksokarst antara lain ditandai dengan adanya menara atau kubah berbentuk kerucut (karst tower), lembah (locus), dan dolina (polje). Sedangkan endokarst ditandai dengan adanya gua-gua (batuan/rock shelter) dengan segala bentuk lengkungan, bangku, lorong, sungai bawah tanah serta stalaktit dan stalagmit atau disebut speleothem (Duli et al, 2019).

Provinsi Sulawesi Selatan memiliki fenomena eksokars dan endokars yang menakjubkan dan dianggap paling lengkap di Indonesia, yaitu kawasan kars Maros-Pangkep. Gugusan bukit-bukit batugamping menempati bagian tengah daerah Maros dan menyebar ke utara hingga daerah Pangkep Berbagai macam kegiatan

penelitian geologi, hidrogeologi, speleologi, biologi, arkeologi, dan ekologi, telah dilakukan di kawasan ini, meskipun sumber daya biotik dan abiotiknya belum banyak terungkap, mulai dari potensi flora dan faunanya sampai kandungan di bawah permukaan. Keberadaan gua-gua pada kawasan karst ini menjadi semakin bernilai karena sebagian termasuk gua-gua prasejarah dan menjadi salah satu faktor yang banyak menarik perhatian para ahli dari dalam dan luar negeri dengan berbagai disiplin keilmuan menjadikan kawasan ini sebagai laboratorium alam yang menyimpan berbagai informasi ilmiah di atas dan di bawah permukaan (Nuhung,2016).



Gambar 1.3 Kenampakan Bentang Alam Karst Kab. Maros dan TN Babul (Nuhung,2016)

I.3.3 Geoheritage

Warisan geologi (geoheritage) adalah keanekaragaman geologi yang memiliki nilai lebih sebagai warisan karena merupakan catatan tentang apa yang telah terjadi di Bumi, dan nilai ilmiah, kelangkaan, keunikan, dan keindahannya yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk penelitian dan pendidikan (Ansori dkk, 2023).

Geoheritage dibentuk oleh unsur-unsur geologi dengan minat khusus, sebagian besar bersifat ilmiah, tetapi juga bersifat mendidik atau wisata. Geoheritage dibentuk oleh unsur-unsur geologi dengan minat khusus, sebagian besar bersifat ilmiah, tetapi juga bersifat mendidik atau wisata. Geoheritage adalah bagian dari warisan alam, dan mencakup semua elemen yang dihasilkan dari proses geologi, baik objek, fitur, bentang alam atau struktur, yang penting bagi bidang geologi apa pun, seperti geomorfologi, stratigrafi, tektonik, petrologi, mineralogi, paleontologi, hidrogeologi, dll. Referensi terhadap warisan geo yang diidentifikasi untuk masing-masing bidang ini dibuat dengan istilah-istilah tertentu seperti warisan mineralogi, geomorfologi, atau paleontologi. Masing-masing memiliki kekhasannya masing-masing, namun semuanya merupakan bagian dari geoheritage dalam arti luas. (Carcavilla et al, 2019).

Saat ini badan geologi telah menginventarisasi keragaman geologi sebanyak hampir 180 lokasi dan diantaranya sebanyak 36 lokasi telah di verifikasi memiliki nilai warisan geologi (Oktariadi, 2014).



Gambar 1.4 Warisan Geologi Indonesia yang di inventarisasi oleh badan geologi (Oktariadi,2014)



Gambar 1.5 Contoh Geohéritage di Sulawesi (Oktariadi, 2014)

I.3.4 Geowisata

Geowisata adalah suatu bentuk pariwisata yang mengandalkan fitur geologi bumi yang dapat memberikan dampak positif dan negatif pada situs geohéritage (Newsome & Dowling, 2018). Geowisata memberikan peluang bagi wisatawan untuk

mengembangkan pemahaman tentang fitur geologi lingkungan alam dan proses geomorfologi (Hose, 2005). Geowisata memiliki arti penting karena berfokus pada fitur geologi dan prosesnya di kawasan alami tertentu, seperti mekanisme erosi dan pelapukan, proses penambangan, pergerakan tektonik, fosil dari era yang berbeda, dll. (Dowling & Newsome, 2010) .

Geowisata memanfaatkan potensi geologi suatu daerah dengan dukungan fasilitas interpretasi dan sarana pendukung kepariwisataan. Daya tarik geowisata berupa daya tarik wisata alam yang berbasis potensi keanekaragaman dan keunikan lingkungan alam di wilayah daratan, telah dijabarkan juga didalam Rencana Induk Pengembangan Kepariwisata Nasional (RIPPARNAS) antara lain berupa bentang alam khusus, seperti gua, karst, padang pasir, dan sejenisnya. Sehingga geowisata dapat berperan untuk meningkatkan fungsi kawasan geopark sebagai kawasan pariwisata. Sejalan dengan kegiatan pelestarian alam, budaya dan konservasi, masyarakat lokal juga dapat meningkatkan pertumbuhannya melalui kegiatan geowisata ini (Fadlina,2018).

Geowisata memberikan arti yang lebih luas pada geo-site dan penting untuk pengembangan, perlindungan dan konservasi situs geoheritage (Dollma, 2019; Hose, 2005). Hal ini menyebarkan kesadaran masyarakat untuk melestarikan fitur geologi lokal dan manfaat ekonomi dan budaya bagi masyarakat (Vasiljevic, Markovic, Hose et al., 2012). Geowisata juga berkembang dan dimulai di kawasan lindung, misalnya taman nasional, suaka margasatwa, cagar alam, cagar biosfer. Geowisata berkelanjutan dengan cara yang sangat holistik bermanfaat bagi alam, lingkungan budaya, dan masyarakat yang bergantung padanya. Geowisata terhubung dengan geoheritage dan warisan budaya dan meningkatkan pengetahuan, pengalaman, geo-edukasi dan kesadaran pengunjung akan geo-konservasi (Gordon, 2018).

Geowisata mendorong pemberdayaan masyarakat dan peningkatan kualitas sumber daya manusia lokal, membuka lapangan kerja baru, sekaligus meningkatkan pendapatan masyarakat, serta menstimulasi pertumbuhan ekonomi pedesaan melalui pengembangan produk-produk pariwisata berbasis masyarakat. Memabangun kepedulian dan kebanggaan masyarakat terhadap perlindungan warisan geologi. Geowisata bentuk branding sekaligus kegiatan edukatif. Mendorong pengembangan kelembagaan, kemitraan antar pihak serta jejaring kemitraan di kawasan Geopark (Ivanni,2022).

I.3.5 Fuzzy Logic

Logika fuzzy merupakan perluasan dari logika Boolean oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 yang didasarkan pada teori matematika himpunan fuzzy, yang merupakan generalisasi dari teori himpunan klasik. Dengan memperkenalkan gagasan derajat dalam verifikasi suatu kondisi, sehingga memungkinkan suatu kondisi berada dalam kondisi selain benar atau salah, logika fuzzy memberikan

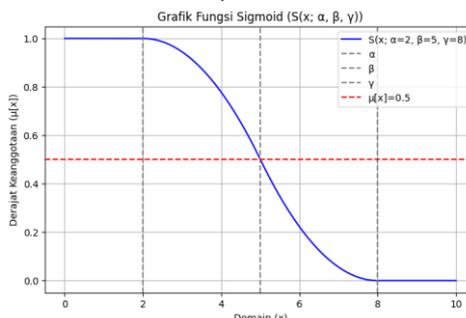
fleksibilitas yang sangat berharga fleksibilitas untuk penalaran, yang memungkinkan untuk memperhitungkan ketidakakuratan dan ketidakpastian (Dernoncourt,2013).

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya. Sering juga disebut dengan derajat keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Adapun jenis-jenis fungsi keanggotaan fuzzy, yaitu: kurva linear, kurva segitiga, kurva trapezium, kurva sigmoid (S), dan kurva lonceng (Rindengan & Langi,2019).

Kurva-S atau sigmoid berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tidak linear. Kurva-S untuk penyusutan akan bergerak dari sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) ke sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0). Fungsi keanggotaannya akan tertumpu pada 50% nilai keanggotaannya yang sering disebut dengan titik infleksi (cox,1994).

Fungsi keanggotaan kurva S Penyusutan:

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1 & , x \leq \alpha \\ 1 - 2 \left(\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha} \right)^2 & , \alpha < x < \beta \\ 0.5 & , x = \beta \dots\dots\dots (1) \\ 2 \left(\frac{\gamma-x}{\gamma-\alpha} \right)^2 & , \beta < x < \gamma \\ 0 & , x \geq \gamma \end{cases}$$



Gambar 1.6 Kurva Sigmoid Penyusutan

Catatan : Nilai $\beta = \alpha + (\gamma - \alpha)/2 \dots\dots\dots (2)$

Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau crossover (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar.

I.3.6 Metode MCDM

MCDM atau Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) merupakan pendekatan atau metode dalam pengambilan keputusan berdasarkan alternatif/opsi solusi dari multi kriteria. Pada dasarnya MCDM merupakan bagian dari bidang keilmuan riset operasi. Fokus bahasanya mencakup aspek kualitatif dan kuantitatif (Mardani et al., 2015), multi kriteria dan adakalanya saling bertentangan terhadap

pencapaian kinerja, sehingga diperlukan normalisasi terhadap nilai dari kriteria tersebut (Marimin, 2004) (Jaya dkk, 2020).

Dalam sistem pendukung terdapat beberapa metode yang dapat dijadikan sebagai solusi untuk pemecahan masalah, antara lain metode Simple Additive Weighting (SAW), metode Weight Product (WP), metode Analytical Hierarchy Process (AHP), metode TOPSIS, metode Promethee, metode Electre, metode Oreste, metode Entropi, dan lain-lain. Hasil dari sebuah sistem pendukung keputusan yaitu berupa sebuah keputusan strategi atau tindakan pemecahan masalah yang diyakini akan memberikan solusi terbaik dan dapat dijadikan sebagai tolak ukur sebuah kebijakan dari sebuah masalah yang diteliti (Nofriansyah & Defit, 2017).

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan salah satu metode pendukung keputusan yang dikembangkan pada tahun 1980 oleh Thomas L., Saaty (Febriyanti dkk, 2006). Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki, menurut Thomas L. Saaty (1993). Hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. Dengan hirarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hirarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis (Pebakirang, 2017).

I.3.7 Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian yang dilakukan tentang geopark Karst Maros Pangkep. Seperti pada paper yang berjudul "*KARST MAROS PANGKEP MENUJU GEOPARK DUNIA (Tinjauan dari Aspek Geologi Lingkungan)*" yang ditulis oleh Slamet Nuhung pada tahun 2019. Pada paper tersebut dikatakan Bentuk bentang alam kars Maros - Pangkep membentuk arsitektur eksokars dengan karakteristik relief yang khas berupa bukit-bukit menjulang menyerupai menara (tower kars), dan fenomena endokars yang unik dengan gua-gua prasejarahnya, serta kekayaan biotik dan abiotiknya. Sebagai daerah resapan air ("Recharge Zone"), kawasan ini mampu memenuhi kebutuhan pertanian dan suplai air baku bagi masyarakat dan daerah sekitarnya. Dengan demikian kawasan kars ini menyimpan nilai ekonomi, ilmiah dan kemanusiaan dan oleh dunia internasional diakui sebagai fenomena alam warisan dunia yang layak diperhitungkan dan diajukan untuk masuk ke dalam Global Geopark Network (GGN).

Pada paper kedua yang berjudul "*Kesiapan Geopark Nasional Maros Pangkep menuju UNESCO GLOBAL GEOPARK*" yang ditulis oleh Ichsan Invanni dan Sulaiman Zhiddiq pada tahun 2022. Dalam paper ini membahas tentang pedoman Geopark. Di dalam pedoman dan kriteria Geopark yang diterbitkan oleh

UGG (UNESCO Global Geopark) UNESCO pada tahun 2007 ada 6 kriteria yang harus dipenuhi agar suatu Geopark dapat berlangsung mencapai tujuannya. 1) Ukuran dan kondisi 2) Manajemen/pengelolaan (

m.

3. Berbatasan dengan Kecamatan Minasa Tene Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan dengan koordinat Latitude : 784,605.2737 m dan Longitude : 9,459,688.7112 m. perlibatan masyarakat lokal) 3) Pengembangan ekonomi 4) Pendidikan 5) Perlindungan dan konservasi 6) Kerjasama jaringan. Global Geopark Maros Pangkep telah memenuhi beberapa poin di dalam kriteria pengembangan Geopark UNESCO diantaranya warisan geologi yang langka unik dan indah, usaha pelibatan masyarakat lokal, peningkatan ekonomi dan perlindungan konservasi. Selain itu juga terdapat beberapa isu penting diantaranya masih kurangnya pemahaman masyarakat mengenai Geopark. Geopark Nasional Maros Pangkep dinilai telah memenuhi kriteria tersebut, selain itu Geopark Nasional Maros Pangkep juga siap menjalankan pengelolaan yang berkelanjutan dan sedang mempersiapkan Masterplan dimana nantinya Masterplan tersebut menghasilkan rencana induk yang akan menjadi acuan pembangunan Geopark Nasional Maros Pangkep yang memadukan upaya pengembangan kepariwisataan, konservasi, alam dan budaya, serta pendidikan dan penelitian berdasarkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan.

BAB II

METODE PENELITIAN

II.1 Jenis penelitian

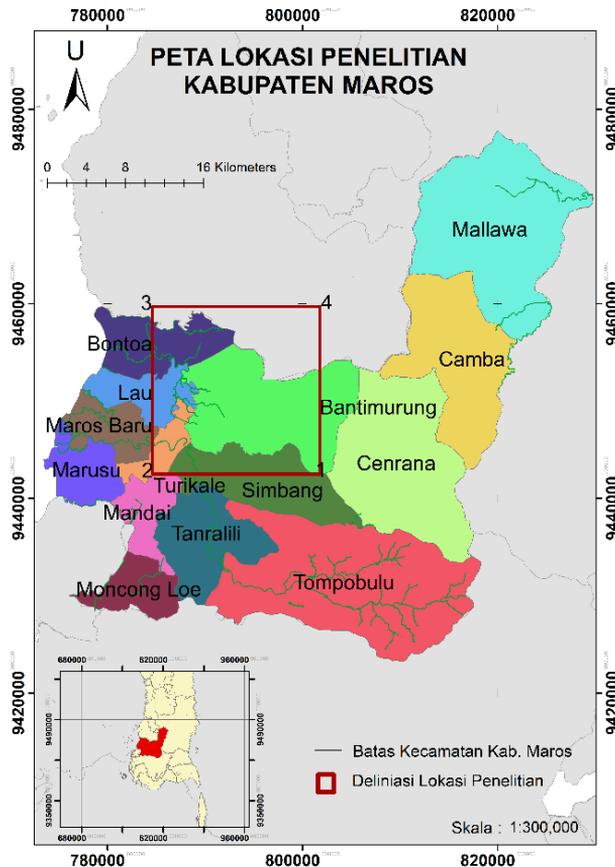
Metode penelitian yang digunakan adalah menggabungkan aspek-aspek geologi dengan analisis geospasial. Pemanfaatan data geospasial berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data dilakukan untuk mengidentifikasi aspek-aspek *Geoheritage* (warisan geologi). Parameter yang digunakan terdiri dari : iklim, topografi, kemiringan lereng, tutupan lahan, longsor, banjir, kebakaran hutan dan lahan. Kemudian akan dilakukan analisis dan pendekatan menggunakan metode MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*). Salah satu metode MCDM yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Sehingga dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan yang mendalam tentang potensi geowisata berdasarkan aspek-aspek *Geoheritage* (warisan geologi) di Kawasan Geopark Karst Maros dan merancang strategi pengembangan yang efektif.

II.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Kawasan Geopark Karst Maros, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Pada lokasi ini, dilakukan deliniasi atau pembatasan wilayah yang akan dilakukan penelitian seluas 295.079407 km², yang mencakup Kawasan Bantimurung, Leang-leang, hingga Rammang-rammang. Adapun Batasan koordinat daerah penelitian antara lain:

1. Berbatasan dengan Kecamatan Simbang Kabupaten Maros dengan koordinat Latitude : 801,783.6121 m dan Longitude : 9,442,511.2977 m.
2. Berbatasan dengan Kecamatan Turikale Kabupaten Maros dengan koordinat Latitude : 784,605.2737 m dan Longitude : 9,442,511.2977
4. Berbatasan dengan Kecamatan Balocci Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan dengan koordinat Latitude : 801,783.493 m dan Longitude : 9,459,740.755 m.

Hal ini dilakukan karena terdapat jalur yang menghubungkan ketiga kawasan tersebut. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024 dengan melakukan survei dan pengamatan langsung. Peta lokasi penelitian tersaji pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Peta Administrasi Lokasi Penelitian

II.3 Tahapan Penelitian

II.3.1 Studi Literature

Pada tahap ini dilakukan studi literatur terkait geopark, keanekaragaman geologi, pengembangan geowisata dan yang berkaitan dengan lokasi penelitian.

II.3.2 Survei dan Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan 2 tahap, yaitu:

1. Pengumpulan data primer : dilakukan survei dan pengamatan langsung di lapangan untuk mengambil data koordinat setiap titik-titik warisan geologi (*geoheritage*) yang ada di lokasi penelitian.
2. Pengumpulan data sekunder: pada tahap ini dilakukan pemilihan kriteria dan pengumpulan data yang digunakan untuk analisis data spasial. Data yang digunakan adalah data spasial yang berasal dari beberapa sumber dengan skala 1:50.000 dan resolusi 30 m, seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini (Sahani,2019)

No	Data Spasial	Sumber Data	Skala/Resolusi
1	Batas Administrasi Kabupaten Maros	inageoportal	1:50.000
1	Tutupan Lahan	Landsat 8 Oli (USGS)	1:50.000
2	Topografi	DEM, website BIG	30 m resolusi
3	Kemiringan Lereng	DEM, website BIG	30 m resolusi
4	Iklim	Website CHIRPS	30 m resolusi
5	Longsor	Website Inarisk	1:50.000
6	Banjir	Website Inarisk	1:50.000
7	Kebakaran Hutan dan Lahan	Website Inarisk	1:50.000

II.3.3 Standarisasi (Fuzzifikasi) Kriteria

Pada tahap ini dilakukan proses standarisasi dan klasifikasi menggunakan fuzzy logic. Proses ini dilakukan agar menyetarakan nilai pada setiap kriteria menjadi interval antara 0 sampai 1.

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) yang digunakan dalam proses ini yaitu kurva Sigmoid (S) penyusutan atau penurunan. Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau crossover (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar. Kurva-S untuk penyusutan akan bergerak dari sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) ke sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0)

II.3.4 Penentuan Bobot Kriteria

Penentuan bobot kriteria adalah langkah penting yang akan dilakukan dalam proses pengambilan keputusan, terutama dalam konteks analisis multi-kriteria. Penentuan bobot membantu mengidentifikasi dan memberikan tingkat kepentingan relative dari setiap kriteria yang akan digunakan dalam pengambilan keputusan. Metode yang akan digunakan dalam tahap ini yaitu metode AHP (*Analitycal Hierarchy Process*). Metode AHP adalah suatu metode yang banyak digunakan dalam MCDM untuk mendapatkan bobot yang diperlukan untuk setiap kriteria yang ada.. Dalam proses AHP ini, melibatkan expert judgment dalam pengambilan keputusan. Berikut Langkah-langkah yang akan dilakukan, yaitu:

1. Perbandingan pasangan kriteria : Untuk membuat perbandingan, kita memerlukan skala angka yang menunjukkan berapa kali lebih penting atau dominannya satu elemen dibandingkan elemen lain sehubungan dengan kriteria atau properti yang dibandingkan (Saaty,2008). Skala ini umumnya memiliki nilai 1-9 (dari sama penting hingga sangat lebih penting) (Tabel 2.2)

dan menjadi acuan expert judgment dalam menilai potensi geowisata untuk setiap kriteria yang digunakan.

Tabel 2.3 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan (Saaty,2008)

Intensitas Kepentingan	Definisi	Keterangan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
5	Lebih penting	Pengalaman dan penilaian memberikan nilai kuat berbeda antara satu elemen terhadap elemen pasangannya
7	Sangat penting	Satu elemen sangat lebih disukai dibanding elemen pasangannya.
9	Mutlak lebih penting	Satu aktivitas (elemen) secara pasti menempati urutan tertinggi dalam tingkatan preferensi.
2,4,6,8	Nilai Kompromi atas nilai-nilai di atas (Nilai tengah antara dua pertimbangan yang berdekatan)	Penilaian Kompromi secara numeris dibutuhkan semenjak tidak ada kata yang tepat untuk menggambarkan tingkat preferens
Kebalikan	Jika elemen X memiliki salah satu angka diatas	Ketika dibandingkan dengan elemen Y, maka elemen Y memiliki nilai kebalikan dibandingkan dengan elemen Y.

Selanjutnya membuat matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*) yang akan digunakan untuk setiap tingkat dalam hirarki (Tabel 2.3).

Table 2.3 Matriks Perbandingan Berpasangan yang digunakan

	Topografi	kemiringan Lereng	Iklim	Tutupan Lahan	Longsor	Banjir	Kebakaran Hutan dan Lahan
Topografi	1.00						
kemiringan Lereng		1.00					
Iklim			1.00				
Tutupan Lahan				1.00			
Longsor					1.00		
Banjir						1.00	
Kebakaran Hutan dan Lahan							1.00
Total:							

2. Perhitungan bobot

Dalam metode AHP, menghitung bobot kriteria berdasarkan perbandingan yang diberikan. Proses ini melibatkan perhitungan matriks konsistensi dan vector eigen. Pada tahap ini menghitung vector eigen untuk setiap matriks perbandingan berpasangan yang melibatkan perhitungan nilai eigen dan vector eigen. Kemudian menormalisasikan vector eigen untuk setiap matriks perbandingan berpasangan. Sehingga menghasilkan bobot untuk masing-masing kriteria.

3. Konsistensi

Konsistensi sangat penting dalam metode AHP karena dalam proses ini memastikan perbandingan berpasangan yang dibuat cukup konsisten dan dapat diandalkan. Konsistensi diperiksa menggunakan indeks konsistensi (CI) dan rasio konsistensi (CR). Indeks konsistensi matriks (CI) merupakan ukuran yang menunjukkan tingkat konsistensi penilaian yang dibuat dalam perbandingan berpasangan kriteria. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai konsistensi indeks (CI), yaitu:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana λ_{max} adalah nilai eigen maksimum dan n adalah jumlah elemen. Sedangkan Rasio konsistensi (CR) berfungsi untuk menilai apakah matriks perbandingan memiliki inkonsistensi yang dapat diterima atau tidak. Menghitung rasio konsistensi (CR) dengan menggunakan nilai konsistensi indeks (CI) dan faktor konsistensi (RI) yang terkait dengan ukuran matriks. Faktor konsistensi (RI) adalah nilai rasio konsistensi yang sudah ditentukan. Adapun rumus dari rasio konsistensi yaitu:

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots \dots (4)$$

Jika nilai rasio konsistensi (CR) kecil (kurang atau sama dengan 0.1) maka hasil perbandingan berpasangan dianggap konsisten. Sebaliknya jika CR lebih besar dari 0.1, nilai tersebut mengindikasikan penilaian yang tidak konsisten (Desbalo and woldesenbet, 2024).

II.3.5 Analisis Potensi Geowisata

Dari hasil skoring dan pembobotan dihasilkan peta potensi geowisata yang selanjutnya akan dilakukan korelasi dengan titik geoheritage. Sehingga dihasilkan peta zonasi potensi geowisata.

II.3 Validasi Peta

Metode validasi yang akan digunakan yaitu ROC Curve menggunakan aplikasi Python. Alat yang banyak digunakan untuk validasi grafis dalam berbagai model kesesuaian adalah kurva ROC. Kurva ini dibuat dengan memplotkan tingkat positif sejati (TPR) yang juga disebut sensitivitas, terhadap tingkat positif palsu (FPR), yang juga disebut spesifisitas-1 untuk berbagai ambang batas (Saha & Roy, 2024). Dalam analisis kurva ROC, AUC menunjukkan akurasi prediksi dengan menggambarkan kemampuan sistem untuk memperkirakan ketidakhadiran dan kehadiran “peristiwa” yang telah ditentukan sebelumnya (Pramanik, Singh, et al., 2020). Area di bawah kurva (AUC) adalah metrik umum yang merangkum kinerja model, dengan nilai mulai dari 0,5 hingga 1 (Saha & Roy, 2024). Semakin dekat kurva ROC ke sudut kiri atas grafik, semakin tinggi akurasi tes karena sudut kiri atas, sensitivitas=1 dan Tingkat positif palsu=0 (spesifisitas=1) (Nahm,2021). Secara umum aturan praktis untuk menginterpretasikan nilai AUC adalah (Yang dan Bernide,2017):

Tabel 2.4 Interpretasi AUC

AUC = 0,5	Diskriminasi Gagal
0,6 ≥AUC> 0,5	Diskriminasi Buruk
0,7 ≥AUC> 0,6	Diskriminasi dapat diterima
0,8 ≥AUC> 0,7	Diskriminasi sangat baik
AUC > 0,9	Diskriminasi Luar biasa

II.4 Diagram Alir Penelitian

