

# Analysis of Sustainable Development Strategies and Mapping Based on Geographic Information Systems in the Toba Caldera Geopark Area, Samosir Regency

## Analisis Strategi Pembangunan Berkelanjutan Dan Pemetaan Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kawasan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir

**Mahara Sintong<sup>1</sup>, Sendi Permana<sup>1</sup>, Sahala Fransiskus Marbun<sup>1</sup>, Laurencia Primawati Degodona<sup>2</sup>, Muhammad Anas Kautsar<sup>1\*</sup>, Joey Athana Sembiring<sup>1</sup>, Pradipa Nasywa Syukri<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Medan, Indonesia

<sup>2</sup>Administrasi Publik, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas HKBP Nommensen, Indonesia

\*Corresponding Author: [anaskautsar7@gmail.com](mailto:anaskautsar7@gmail.com)

**Abstract:** This study aims to develop sustainable development strategies for the Toba Caldera Geopark in Samosir Regency by integrating spatial mapping and Sustainable Development Goals (SDGs) indicators. The research identifies the scientific characteristics of geosites, biodiversity, and cultural heritage as the basis for conservation-based tourism planning. A descriptive method was employed, incorporating field surveys and spatial analysis. Geosite coordinates were collected using a Garmin GPSMAP 78s device, while ArcGIS/ArcMap software was utilized to visualize spatial distribution and construct thematic maps. Additional supporting information was obtained through direct observation and brief interviews with local stakeholders, and the strategy formulation was conducted using a qualitative SWOT approach. The results indicate that five major geosites—Tele-Efrata-Sihotang, Pusuk Buhit, Simanindo-Batu Hoda, Tuktuk-Ambarita-Tomok, and Huta Tinggi-Sidihoni—are spatially distributed along geological structures controlling the Toba Caldera, showing strong integration of geological, biological, and cultural resources. The SWOT analysis reveals dominant internal strengths (30%) supported by opportunities (25%), while weaknesses and threats account for 25% and 20%, respectively. Derived strategies emphasize optimization of geosite potential through GIS-based promotion, improvement of community capacity, eco-educational tourism development, strengthening indigenous institutions, and climate-adaptation planning. The findings demonstrate that combining GIS mapping with SDGs-based SWOT analysis provides a practical framework for formulating sustainable geopark strategies. This approach contributes significantly to the field by linking spatial data, conservation, and community-based tourism planning, and can be replicated for sustainable development initiatives in other geoparks.

**Keywords:** Sustainable Development; Geopark; GIS Mapping; SWOT Analysis; Toba Caldera

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi pembangunan berkelanjutan Kawasan Geopark Kaldera Toba di Kabupaten Samosir melalui integrasi pemetaan spasial dan indikator Sustainable Development Goals (SDGs). Penelitian mengidentifikasi karakter ilmiah geosite, keanekaragaman hayati, dan warisan budaya sebagai dasar penyusunan perencanaan pariwisata berbasis konservasi. Metode penelitian bersifat deskriptif dengan survei lapangan. Titik koordinat geosite dikumpulkan menggunakan perangkat GPS Garmin GPSMAP 78s, kemudian diolah dalam perangkat lunak ArcGIS/ArcMap untuk visualisasi distribusi spasial dan pembuatan peta tematik. Informasi tambahan diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara singkat dengan pemangku kepentingan lokal, dan perumusan strategi dilakukan melalui analisis SWOT kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan lima geosite utama—Tele-Efrata-Sihotang, Pusuk Buhit, Simanindo-Batu Hoda, Tuktuk-Ambarita-Tomok, dan Huta Tinggi-Sidihoni—yang tersebar mengikuti struktur geologi pengendali Kaldera Toba dan mencerminkan integrasi kuat antara unsur geologi, biologi, dan budaya. Analisis SWOT memperlihatkan kekuatan internal mendominasi (30%) diikuti peluang (25%), sedangkan kelemahan dan ancaman masing-masing sebesar 25% dan 20%. Strategi yang dihasilkan meliputi optimalisasi potensi geosite melalui promosi berbasis SIG, peningkatan kapasitas masyarakat, pengembangan ekowisata edukatif, penguatan lembaga adat, dan perencanaan adaptasi perubahan iklim. Temuan penelitian membuktikan bahwa penggabungan pemetaan SIG dengan analisis SWOT berbasis SDGs merupakan pendekatan praktis untuk merumuskan strategi pengelolaan geopark yang berkelanjutan. Pendekatan ini memberikan kontribusi berarti dengan menghubungkan data spasial, konservasi, dan perencanaan pariwisata berbasis masyarakat serta



© the Author(s) 2025

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

dapat diterapkan pada geopark lainnya.

**Kata kunci:** Pembangunan Berkelanjutan; Geopark; Pemetaan SIG; Analisis SWOT; Kaldera Toba

**History Article:** Submitted 28 September 2025 | Revised 2 December 2025 | Accepted 8 December 2025

**How to Cite:** (Sintong et al., 2025). Sintong, M., Permana, S., Marbun, S. F., Degodona, L. P., Kautsar, M. A., Sembiring, J. A., & Nasywa, P. (2025). Analisis Strategi Pembangunan Berkelanjutan Dan Pemetaan Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kawasan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, 13(2), 160–173. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.37064/jpm.v13i2.27038>

## Pendahuluan

Indonesia memiliki keragaman alam (geodiversity) yang sangat tinggi karena terletak di titik pertemuan tiga lempeng tektonik (Pardede, 2023). Hal ini menciptakan warisan geologi yang penting dan berkaitan erat dengan keanekaragaman hayati dan kekayaan budaya yang bisa dikembangkan menjadi kawasan geopark guna meningkatkan sektor pariwisata secara berkelanjutan (Pardede, 2023; Syah & Said, 2020). Geopark memberikan konsep pengembangan pariwisata yang didasarkan pada konservasi (Peraturan Menteri Pariwisata Dan Ekonomi Kreatif/Kepala Badan Pariwisata Dan Ekonomi Kreatif Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 Tentang Pedoman Teknis Pengembangan Geopark Sebagai Destinasi Pariwisata, 2020). Konsep ini menggabungkan perlindungan lingkungan, pendidikan, dan pemberdayaan masyarakat lokal (Azmi et al., 2025; Hutabarat, 2023; Ompusunggu & Mega Williandani, 2022). Tujuannya adalah memberikan manfaat ekonomi jangka panjang tanpa merusak keseimbangan ekosistem di sekitar (Pardede, 2023; United Nations Development Programme, 2017). Konsep ini selaras dengan panduan yang dikeluarkan oleh UNESCO. UNESCO menganggap geopark sebagai wilayah dengan sumber daya geologis yang memiliki nilai internasional (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2017 Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, 2017). Pengelolaan wilayah seperti ini dilakukan secara holistik dan berkelanjutan dengan melibatkan masyarakat dan pemerintah daerah secara aktif (Peraturan Presiden RI. No. 111, 2022).

Geopark Kaldera Toba merupakan contoh geopark global yang memiliki nilai geologis penting. Kaldera Toba adalah bekas letusan supervolcano terbesar di dunia (Wal hidayat & Nasution, 2019). Selain itu, kawasan ini juga memiliki kekayaan budaya dari masyarakat Batak dan potensi pariwisata yang sangat baik untuk meningkatkan perekonomian daerah (Pardede, 2023; Wal hidayat & Nasution, 2019). Meskipun telah diakui secara internasional, Geopark Kaldera Toba masih menghadapi tantangan seperti degradasi lingkungan, pertumbuhan populasi, dan ketidakteraturan dalam pengelolaan wilayah (Wal hidayat & Nasution, 2019). Kondisi ini bisa mengancam kelestarian kawasan jika tidak ditangani dengan strategi pengelolaan yang berkelanjutan (Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2021 Penetapan Taman Bumi (Geopark) Nasional, 2021). Dalam kebijakan nasional, pemerintah Indonesia mengedepankan pentingnya mempertahankan warisan geologi, keanekaragaman hayati, dan kekayaan budaya. Hal ini terlihat dari (Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2021 Penetapan Taman Bumi (Geopark) Nasional, 2021) dan juga penekanan pada pengembangan geopark dalam kerangka SDGs hingga tahun 2030 (Haq et al., 2024).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Mareta, 2024) di Geopark Kebumen bertujuan untuk memahami rencana penunjukan Geopark Kebumen sebagai UNESCO Global Geopark (UGGp) melalui konsep pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini fokus pada sejauh mana visi dan misi Geopark Kebumen sesuai dengan tiga aspek utama pembangunan berkelanjutan, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan (Kusumahbrata & ESDM, 2015; Mareta, 2024). Tujuan dari penelitian ini muncul dari kebutuhan untuk mengetahui posisi Geopark Kebumen dalam konteks pembangunan berkelanjutan serta mengevaluasi kesiapan kawasan ini untuk memenuhi syarat menjadi UGGp dengan menganalisis studi literatur yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa visi dan misi Geopark Kebumen sangat selaras dengan tiga aspek utama pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan Geopark Kebumen tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan perekonomian melalui wisata geologi, tetapi juga untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan mendukung kesejahteraan masyarakat sekitar (Mareta, 2024). Penelitian tersebut menegaskan bahwa pengembangan geopark dapat menjadi cara yang efektif untuk meningkatkan perekonomian secara berkelanjutan. Hal ini bisa tercapai jika konsep konservasi,

pendidikan, serta keterlibatan masyarakat dijalankan secara terpadu (Pardede, 2023; United Nations Development Programme, 2017). Hasil utama penelitian menyimpulkan bahwa Geopark Kebumen merupakan kelanjutan dari Geopark Nasional Karangsambung–Karangbolong (GNKK). Saat ini, Geopark Kebumen sedang dalam proses pengusulan menjadi geopark global UNESCO setelah mengalami perluasan wilayah dan penguatan konsep pengelolaan kawasan (Mareta, 2024).

Namun, penelitian sebelumnya tentang geopark masih memiliki beberapa kekurangan, terutama karena belum menggunakan analisis spasial berbasis data nyata dalam perencanaan dan menyusun strategi pengembangan geopark (Abbas & Jaber, 2020). Penelitian sebelumnya hanya mengandalkan metode studi pustaka, sehingga belum menggabungkan pemetaan geosite, keanekaragaman hayati, dan budaya secara geospasial, serta belum menghubungkannya dengan indikator pencapaian SDGs sebagai dasar dalam perencanaan pembangunan kawasan (Abbas & Jaber, 2020). Kondisi ini menunjukkan bahwa dibutuhkan pendekatan ilmiah yang lebih menyeluruh untuk menghubungkan konservasi lingkungan, pembangunan ekonomi, dan pengembangan pariwisata melalui data spasial yang tepat (Kusumahbrata & ESDM, 2015; Pangestu, 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi pembangunan berkelanjutan Geopark Kaldera Toba dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memetakan karakteristik geosite, keanekaragaman hayati, dan warisan budaya, serta menyambungkannya dengan indikator SDGs sebagai dasar dalam menyusun arahan pengelolaan kawasan (ESRI, 2007; Gulo, 2024). Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran kondisi kawasan secara objektif dan berdasarkan bukti, sehingga dapat mendukung pembuatan strategi pengembangan geopark yang berfokus pada konservasi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat (Guth et al., 2021; United Nations Development Programme, 2017). Keunggulan ilmiah dari penelitian ini terletak pada penggunaan SIG yang diintegrasikan dengan kerangka SDGs sebagai dasar untuk merekomendasikan kebijakan, sehingga tidak hanya memperkuat peran geopark dalam menjaga lingkungan, tetapi juga dalam mendorong transformasi sosial-ekonomi masyarakat secara berkelanjutan (Pardede, 2023).

## Metode

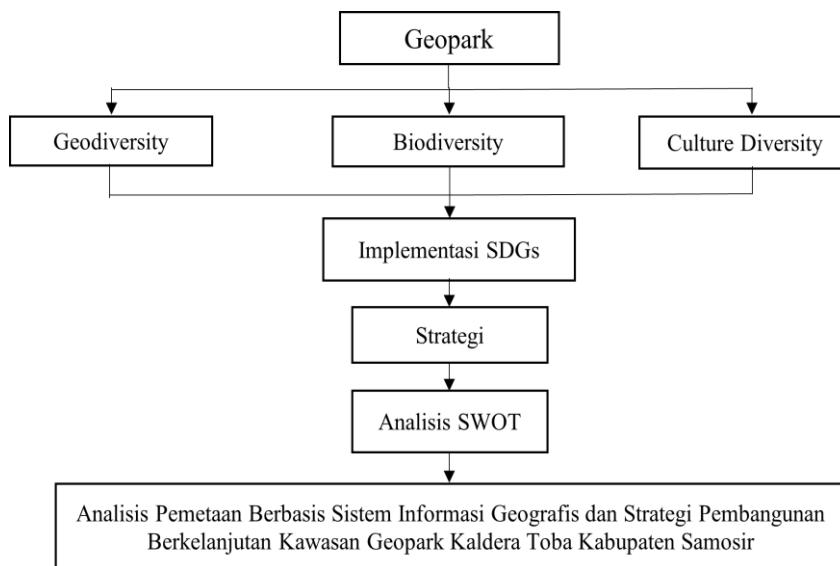
Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Samosir, yang merupakan bagian dari Provinsi Sumatera Utara. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Mei-Juni 2025. Kabupaten Samosir terletak di Provinsi Sumatera Utara dan memiliki koordinat lintang sekitar  $2^{\circ} 38' 24.9''$  N, dan bujur sekitar  $98^{\circ} 42' 54.9''$  E. Luas Kabupaten Samosir adalah  $1.444,25 \text{ km}^2$ . Lokasi penelitian ini dipilih karena potensi pariwisata kawasan Geopark Kaldera Toba cukup menjanjikan dan dapat di rencanakan sebagai pariwisata yang berkelanjutan sesuai dengan program SDGs yang di pelopori oleh PBB.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan metode survei lapangan, yang bertujuan memetakan persebaran geosite dan merumuskan strategi pengelolaannya. Materi penelitian terdiri dari titik koordinat geosite, deskripsi kondisi fisik, aksesibilitas, potensi, serta dokumentasi foto di setiap lokasi. Pengambilan data dilakukan melalui survei langsung menggunakan perangkat keras GPS Garmin GPSMAP 78s untuk memperoleh titik koordinat utama (centroid) dan titik pendukung di tiap geosite. Data GPS diekspor dalam format GPX, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS/ArcMap untuk visualisasi peta dan analisis spasial. Penelitian ini tidak menggunakan kuesioner, namun didukung oleh observasi lapangan dan wawancara singkat dengan pengelola atau masyarakat sekitar sebagai informasi tambahan. Alasan dipilihnya teknik pengumpulan data ini ialah dikarenakan peneliti mengalami keterbatasan waktu dalam wawancara mendalam dan formal dimana peneliti juga sekaligus melakukan plotting titik koordinat di setiap geosite yang ada di Kabupaten Samosir.

Dalam penelitian ini, teori pembangunan berkelanjutan melalui indikator SDGs dioperasionalkan secara langsung ke dalam kerangka analisis SWOT. Setiap geosite dianalisis berdasarkan kesesuaianya dengan tiga pilar SDGs dalam konteks geopark, yaitu keberlanjutan lingkungan, sosial-budaya, dan ekonomi. Pilar SDGs ini kemudian dipetakan ke dalam elemen SWOT secara sistematis: aspek kekuatan (Strengths) diidentifikasi berdasarkan kontribusi geosite terhadap konservasi geologi, pelestarian budaya, dan potensi peningkatan ekonomi lokal; aspek

kelemahan (Weaknesses) mencakup keterbatasan fasilitas, aksesibilitas, kesiapan masyarakat lokal, serta ancaman kerusakan lingkungan; aspek peluang (Opportunities) diturunkan dari keselarasan geosite dengan target SDGs, seperti prospek ekowisata, pemberdayaan masyarakat, investasi pariwisata hijau, dan potensi branding internasional UNESCO; sedangkan aspek ancaman (Threats) mencakup risiko eksploitasi pariwisata massal, konflik pemanfaatan ruang, degradasi lingkungan, dan rendahnya pengawasan kelembagaan. Dengan demikian, setiap informasi hasil observasi lapangan tidak hanya dicatat sebagai atribut geosite, tetapi juga diposisikan sebagai dasar pengambilan keputusan strategis berbasis SDGs dalam matriks SWOT. Pemodelan ini memastikan bahwa strategi pengelolaan yang dihasilkan tidak hanya bertumpu pada kondisi eksisting geosite, tetapi juga selaras dengan arah pembangunan pariwisata berkelanjutan di kawasan Geopark Kaldera Toba.

Asumsi utama penelitian adalah bahwa koordinat yang direkam GPS Garmin memiliki akurasi konsisten dalam kondisi cuaca cerah dan lingkungan lapang. Kondisi pengambilan data dicatat, termasuk cuaca, akses lokasi, serta kemungkinan gangguan sinyal GPS. Seluruh data spasial direferensikan pada sistem koordinat WGS84. Analisis data menggunakan pendekatan SWOT kualitatif." Hasil observasi dan informasi lapangan kemudian dimasukkan ke dalam matriks SWOT untuk merumuskan strategi pengelolaan geosite. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 1.** Diagram Alur Penelitian

Diagram alur pada gambar 1 menunjukkan keterkaitan komponen utama dalam pengelolaan Geopark, yang terdiri dari *geodiversity*, *biodiversity*, dan *culture diversity*. Ketiga unsur tersebut menjadi fondasi dalam implementasi tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) di kawasan geopark. Implementasi SDGs kemudian diterjemahkan ke dalam perumusan strategi pengembangan kawasan, yang selanjutnya dianalisis melalui pendekatan *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)*. Keseluruhan rangkaian proses tersebut mengarah pada tujuan akhir penelitian, yaitu analisis pemetaan berbasis Sistem Informasi Geografis dan penyusunan strategi pembangunan berkelanjutan kawasan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir.

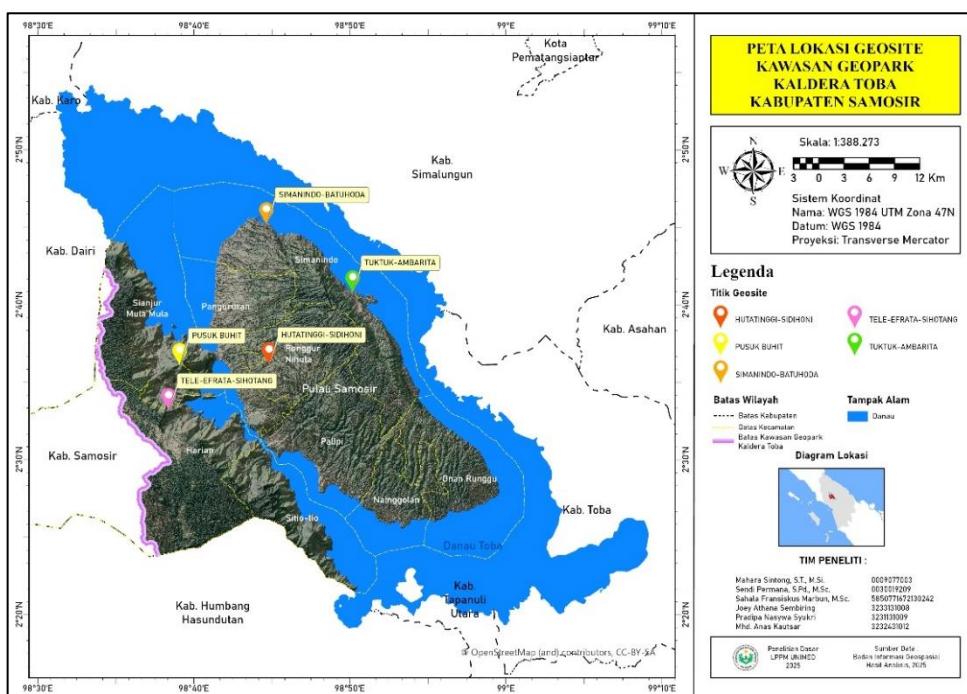
## Hasil dan Pembahasan

### Analisis Sebaran Lokasi Titik Geosite di tiap kawasan Geosite

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan Geopark Kaldera Toba di Kabupaten Samosir memiliki struktur spasial geosite yang saling terhubung dan membentuk suatu kesatuan lanskap yang merepresentasikan integrasi kuat antara unsur geologi, ekologi, dan budaya. Integrasi tersebut terlihat dari pola persebaran geosite yang mengikuti kontrol struktur geologi

pembentuk Kaldera Toba serta keterkaitannya dengan kawasan permukiman dan aktivitas masyarakat. Hubungan spasial ini berhasil diidentifikasi melalui pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai perangkat pemetaan ilmiah yang berfungsi untuk memvisualisasikan lokasi geosite, analisis persebaran, dan interpretasi hubungan antarunit bentang alam secara presisi (ESRI, 2007). Melalui pemodelan spasial, geosite yang sebelumnya hanya dikenali sebagai lokasi wisata berbasis alam kini dapat dianalisis secara lebih komprehensif melalui indikator keterjangkauan, konektivitas antar titik destinasi, serta tingkat ketergantungan lanskap dengan aktivitas sosial-budaya masyarakat.

Penerapan SIG pada penelitian ini juga memperlihatkan kontribusi penting dalam penyusunan strategi pengembangan pariwisata berbasis konservasi. Visualisasi spasial yang dihasilkan memungkinkan identifikasi pola aksesibilitas, baik terhadap jaringan transportasi, fasilitas penunjang wisata, maupun jarak kedekatan dengan permukiman penduduk. Hal ini memberikan dasar ilmiah untuk merumuskan prioritas intervensi pembangunan, terutama pada lokasi geosite yang memiliki potensi besar namun masih terbatas secara infrastruktur. SIG juga berperan dalam mendeteksi kerentanan lingkungan, termasuk area yang berpotensi mengalami tekanan wisata, risiko bencana geologi, atau degradasi ekosistem akibat alih fungsi lahan. Dengan demikian, pemetaan berbasis SIG tidak hanya mendeskripsikan kondisi fisik, tetapi juga mendukung penilaian kelayakan pengembangan ekowisata secara berkelanjutan dan berbasis mitigasi risiko (Gulo, 2024).



(Sumber: Hasil Analisis Data, 2025)

**Gambar 2.** Sebaran Titik Geosite di Kabupaten Samosir

Gambar 2 menggambarkan persebaran titik geosite di Kabupaten Samosir yang tersusun mengikuti bentuk morfologi Pulau Samosir dan garis tepi Kaldera Toba. Pola persebaran ini tidak bersifat acak, melainkan mengikuti kontrol struktur geologi yang terbentuk akibat erupsi supervolcano Toba dan proses resurgent dome yang mengangkat Pulau Samosir ke permukaan. Titik-titik geosite terkonsentrasi di zona yang merekam jejak aktivitas vulkanik dan tektonik paling intens, seperti zona uplift, patahan aktif, dan area pelapukan hidrotermal. Distribusi ini menegaskan bahwa geosite di Samosir merupakan representasi lengkap evolusi kaldera, mulai dari proses erupsi, keruntuhan kaldera, hingga pembentukan kembali elevasi Samosir sebagai pusat pengangkatan kaldera.

**Tabel 1.** Karakteristik Tiap Geosite di Kabupaten Samosir

No	Geosite	Terletak di Kecamatan	Luas (km <sup>2</sup> )	Jarak ke Ibu Kota Kabupaten	Karakteristik Ilmiah Utama
1	Tele–Efrata–Sihotang	Harian	560,45	16 km	Deformasi endapan YTT, patahan aktif, lanskap kaldera
2	Pusuk Buhit	Sianjur Mula-mula	140,24	14 km	Kubah lava dasitan, singkapan batuan hidrotermal, mata air panas
3	Simanindo–Batu Hoda	Simanindo	198,20	48 km	Zona uplift, jejak tektonik teras berundak
4	Tuktuk–Ambarita–Tomok	Simanindo	198,20	48 km	Kubah lava rio-dasitan, sisa endapan danau purba
5	Huta Tinggi–Sidihoni	Ronggur Nihuta	94,87	18 km	Endapan lakustrin, sag-pond, patahan normal bertangga

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Tabel 1 menampilkan karakteristik lima geosite utama di Kabupaten Samosir yang menjadi dasar interpretasi ilmiah mengenai evolusi geologi Kaldera Toba beserta dinamika tektonik yang menyertainya. Ketika informasi spasial pada tabel dibandingkan dengan hasil visualisasi pada Gambar 2, tampak bahwa persebaran geosite tidak acak, tetapi mengikuti pola morfologi Pulau Samosir dan garis tepi kaldera. Pola linear–melengkung yang membentuk sumbu resurgent dome menegaskan bahwa distribusi geosite sepenuhnya dikontrol oleh struktur geologi yang terbentuk akibat erupsi supervolcano Toba dan proses pascaerupsinya. Titik-titik geosite mengelompok di kawasan yang merekam jejak aktivitas vulkanik dan tektonik paling intens, seperti zona uplift, bidang patahan aktif, kubah lava, sistem hidrotermal, dan cekungan tektonik kecil. Pola konsentrasi tersebut memperlihatkan peran struktur geologi sebagai penentu lokasi munculnya bentuklahan dan proses permukaan yang signifikan, sekaligus menjadi indikator bahwa kawasan Samosir merupakan laboratorium alami untuk mempelajari evolusi kompleks kaldera gunung api.

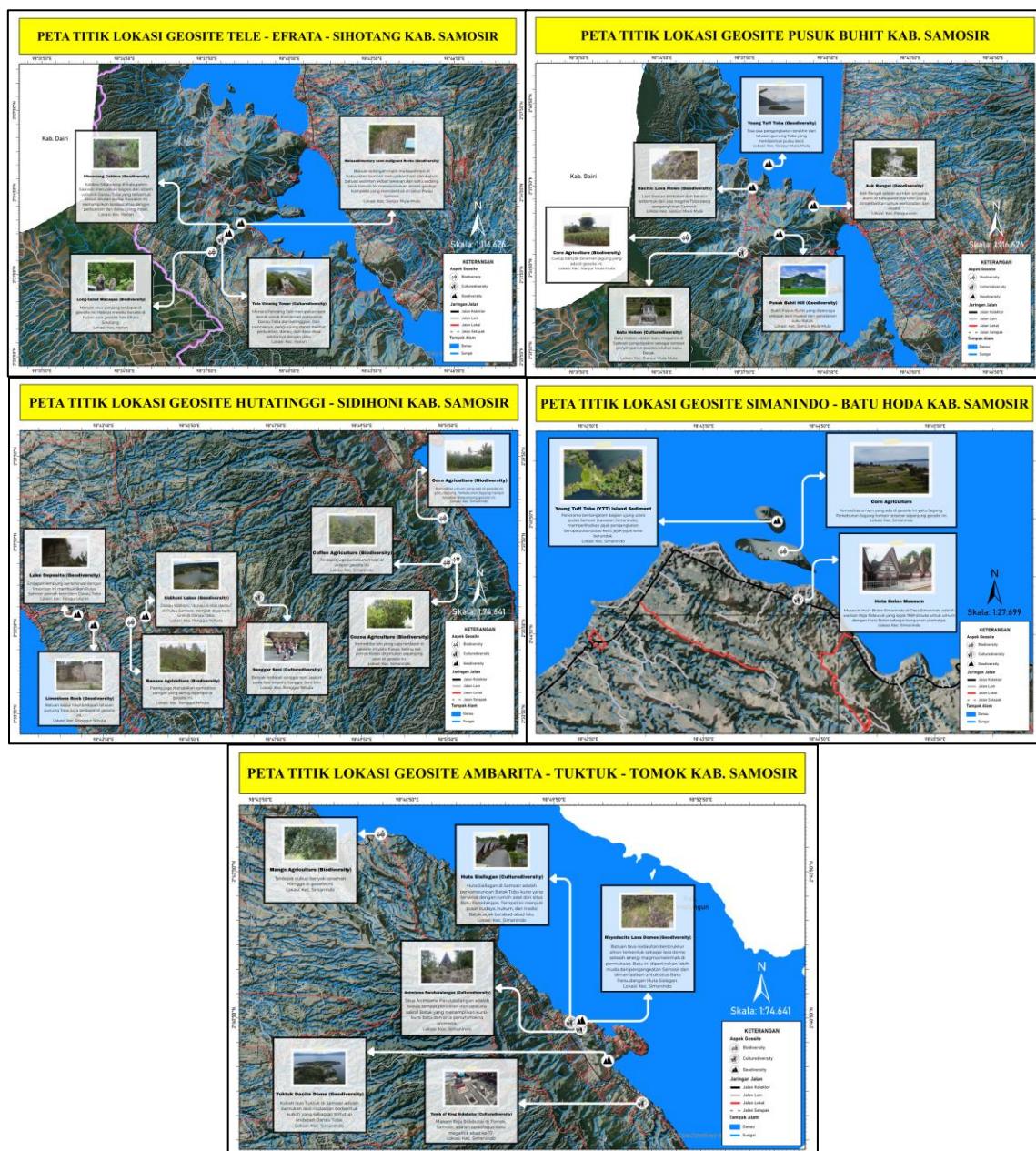
Jika dicermati lebih jauh, geosite Tele–Efrata–Sihotang yang memiliki luas terbesar (560,45 km<sup>2</sup>) berada tepat pada area dengan tingkat deformasi kaldera tertinggi. Struktur patahan aktif dan deformasi endapan Youngest Toba Tuff (YTT) yang masih dapat diamati menunjukkan bahwa energi tektonik pascaerupsi masih terus bekerja selama ribuan hingga puluhan ribu tahun setelah letusan. Kawasan ini berfungsi sebagai kunci untuk memahami dinamika respons kaldera terhadap tekanan internal setelah proses keruntuhan dan penurunan energi vulkanik. Luas yang besar juga menunjukkan kompleksitas geomorfologi yang dibangun oleh interaksi sedimentasi, uplift, dan pergerakan patahan yang berulang.

Pada Pusuk Buhit, meskipun luas wilayahnya tidak sebesar Tele–Efrata–Sihotang, nilai akademis dan ilmiahnya sangat tinggi. Sebagai kubah lava dasitan yang terbentuk pada fase magmatik lebih muda, lokasi ini merepresentasikan manifestasi magmatisme pascaerupsi yang bersifat residu. Kehadiran singkapan batuan hidrotermal dan mata air panas tidak hanya menjadi indikasi aktivitas magmatik yang tersisa, tetapi juga membantu mengidentifikasi jalur rekahan dan sirkulasi fluida dalam batuan. Dengan demikian, geosite Pusuk Buhit dapat menjadi salah satu lokasi penelitian kunci untuk memahami sistem panas bumi dan hubungan antara struktur geologi dengan aktivitas hidrotermal di bagian tengah Kaldera Toba.

Geosite Simanindo–Batu Hoda dan Tuktuk–Ambarita–Tomok, yang sama-sama berlokasi di Kecamatan Simanindo dengan luas 198,20 km<sup>2</sup>, memiliki peran penting dalam menjelaskan respon tektonik yang membentuk Pulau Samosir sebagai resurgent dome. Zona uplift yang teridentifikasi pada kawasan ini mengindikasikan bahwa permukaan Samosir mengalami pengangkatan berulang secara bertahap. Jejak teras tektonik yang tersusun berundak menjadi bukti fisik yang memperlihatkan episode pengangkatan dalam beberapa fase waktu yang

berbeda. Endapan danau purba yang ditemukan pada kawasan Tuktuk, Ambarita, dan Tomok menguatkan interpretasi bahwa permukaan air Danau Toba mengalami fluktuasi akibat perubahan elevasi daratan, sehingga elemen geomorfologi yang ditemukan bukan hanya mencerminkan pergerakan tektonik vertikal, tetapi juga perubahan dinamika hidrologi kaldera jangka panjang.

Geosite Huta Tinggi–Sidihoni menunjukkan bentuk evolusi tektonik mikro yang tidak kalah penting secara ilmiah. Endapan lakustrin yang terjebak pada sag pond—cekungan kecil yang terbentuk karena gerakan differensial pada patahan normal bertangga—menegaskan bahwa aktivitas tektonik di kawasan Samosir masih berlangsung setelah pembentukan resurgent dome utama. Danau kecil Sidihoni yang berada di tengah pulau bukan sekadar fenomena geomorfologi unik, tetapi merupakan bukti langsung bahwa deformasi kaldera tidak berhenti pada urutan peristiwa besar, melainkan berlanjut dalam skala yang lebih kecil dan lebih muda. Fenomena ini memperkuat pemahaman bahwa Kaldera Toba bukan sistem vulkanik yang mati, tetapi sistem aktif secara tektonik yang masih berkembang.



(Sumber: Hasil Analisis Data, 2025)

**Gambar 3.** Sebaran titik geosite di tiap situs geosite Kabupaten Samosir

Pada gambar 3 terlihat bahwa pemanfaatan hasil pemetaan geosite di Kabupaten Samosir menunjukkan bahwa setiap lokasi geosite memiliki keunikan karakter ilmiah yang meliputi aspek geologi, biologi, dan budaya. Geosite Tele-Efrata-Sihotang memperlihatkan endapan YTT (Young Toba Tuff) di kawasan plato Tele dan sekitarnya yang menunjukkan deformasi akibat sesar aktif dan berhubungan dengan Patahan Besar Sumatra. Singkapan endapan tersebut tampak jelas pada tebing jalan antara Simpang Harian dan Simpang Limbong yang terlihat mengalami tektonik kuat hingga menghasilkan bentuk bongkah raksasa. Pada kawasan Simpang Limbong terlihat bentang alam satuan batuan Formasi Pangururan dan singkapan batuan pebbly mudstone yang dicirikan oleh fragmen-fragmen batuan kasar sebagai ciri dari batu lumpur dengan fragmen gletser. Selain kekayaan geodiversitas tersebut, aspek biologi kawasan Tele-Efrata-Sihotang ditandai oleh hamparan persawahan di lembah-lembah di antara perbukitan batuan di bagian kaldera rim yang dimanfaatkan masyarakat untuk bertani. Kesuburan tanah hasil pelapukan dan ketersediaan air menjadikan aktivitas bercocok tanam dominan di kawasan ini, serta keberadaan fauna seperti monyet yang menunjukkan keseimbangan ekosistem alami. Aspek budaya turut memperkaya kawasan ini, salah satunya pada Kampung Sihotang yang masih mempertahankan rumah-rumah tradisional Batak Toba berbahan kayu dengan bentuk rumah panggung, pintu kecil yang mengharuskan pengunjung menunduk, ornamen gorga berwarna hitam, merah, dan putih, serta adanya sarkofagus yang terletak di tengah-tengah kampung sebagai bukti warisan budaya leluhur.

Geosite Pusuk Buhit memiliki kekayaan geologi yang khas, ditandai oleh panorama Gunung Pusuk Buhit (+1751 m) yang memperlihatkan jejak perpindahan titik erupsi dengan ubahan hidrotermal berwarna putih. Singkapan lava dasitan pada lereng utara menunjukkan struktur kekar kolom dan flow-banding sebagai bukti proses pembekuan magma. Singkapan kubah lava di Simpang Batu Hobon dan singkapan satuan batuan sabak Formasi Pangururan berumur Permo-Karbon di kawasan Tanjung Bunga menambah kompleksitas stratigrafinya. Nilai budaya Pusuk Buhit sangat kuat karena menjadi pusat mitologi asal-usul Suku Batak yang berkaitan dengan Mitos Si Boru Deak Parujar, Si Raja Batak, serta kepercayaan Pusuk Buhit sebagai penghubung antara Banua Ginjang, Banua Tonga, dan Banua Toru. Keberadaan Batu Hobon, yaitu batu sakral berbentuk sarkofagus tempat penyimpanan barang, menjadi pusat pelaksanaan upacara tradisional mandudu pada masa lalu. Aspek biologi di geosite ini sangat kaya, termasuk keberadaan berbagai ikan endemik seperti ihan, pora-pora, dan ikan budidaya lain, serta keanekaragaman tumbuhan obat, hortikultura, dan tanaman perkebunan. Keunikan terbesar adalah Kambing Putih (*Capra aegagrus*), fauna endemik yang sejak dahulu dipelihara masyarakat secara turun temurun untuk kebutuhan upacara persesembahan dalam praktik kepercayaan Parmalim. Kemampuan adaptasinya yang tinggi pada ekosistem berbatu dan kering menambah nilai biologis kawasan Pusuk Buhit.

Geosite Huta Tinggi-Sidihoni menunjukkan karakter geologi berupa satuan endapan danau (lakustrin) yang terbentuk dari material piroklastika berselang-seling dari ukuran kerikil hingga lanau-pasiran. Struktur patahan normal bertangga yang ditemukan diperkirakan terkait dinamika tektonik lokal setelah pengendapan, dan membentuk cekungan sag pond yang kini menjadi Danau Sidihoni. Karakter geomorfologi berupa danau di atas pulau Samosir—yang merupakan pulau di atas Pulau Sumatra—menjadikan kawasan ini unik dari perspektif geosains. Aspek biologi kawasan ini ditandai oleh aktivitas pertanian masyarakat seperti penanaman padi sawah, jagung, kopi, ubi, serta peternakan kerbau yang sekaligus menjadi atraksi wisata yang diminati pengunjung. Dari sisi budaya, desa ini telah mengembangkan produk unggulan berupa paket wisata berbasis kearifan lokal yang ditawarkan kepada wisatawan domestik dan mancanegara. Program peningkatan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan bahasa asing dan penyediaan sarana edukatif sudah mulai digagas, termasuk peremajaan Lapo Tuak sebagai Lapo Wisata (Batak Wine) untuk memperkuat daya tarik budaya lokal.

Geosite Simanindo-Batu Hoda memperlihatkan karakter geologi berupa panorama pengangkatan (uplifting) pada bagian utara Pulau Samosir yang ditunjukkan oleh kemunculan pulau-pulau kecil, jejak teras berundak, dan zona uplift yang menunjukkan respons tektonik resurgent dome. Aspek biologi kawasan ini terlihat melalui aktivitas masyarakat yang menanam

jagung, padi, ubi, pohon perdu berduri, mangga, dan pisang, serta pemanfaatan perairan Danau Toba untuk memancing ikan mas dan ikan nila. Keanekaragaman flora lokal ditunjukkan melalui spesies tanaman berdaun majemuk menyirip dengan karakter morfologi unik yang bunganya sering dikunjungi semut untuk mengambil nektar. Dari sisi budaya, Museum Huta Bolon Simanindo menjadi pusat pelestarian budaya Batak, menampilkan peninggalan leluhur berupa parhalaan, pustaha lakkak, tunggal panaluan, dan solu bolon, serta pertunjukan seni gondang dan tor-tor. Pertunjukan boneka kayu Sigale-gale yang dahulu hanya dilakukan untuk upacara kematian para raja yang kehilangan keturunan kini telah menjadi pertunjukan budaya bagi wisatawan, dengan narasi kesedihan Raja Tuan Rahat terhadap kematian putranya Si Manggale sebagai inti cerita.

Geosite Tuktuk-Ambarita-Tomok memperlihatkan bentang alam kubah lava rio-dasitan yang sebagian tertutupi oleh endapan danau serta singkapan lava berstruktur flow-banding yang menjadi bahan utama pembangunan situs Batu Parsidangan Hutan Siallagan. Endapan danau tua di sekitar Tomok mengandung arang kayu (charcoal) berumur sekitar 25.000 tahun sehingga menjadi bukti penting sejarah geomorfologi dan paleo lingkungan kawasan. Aspek biologi di lokasi ini ditunjukkan oleh dominasi pohon mangga, khususnya mangga udang yang memiliki cita rasa manis-dominan dengan rasa masam ringan. Aspek budaya ditandai oleh kehadiran Kampung Tradisional Huta Siallagan seluas 2.400 m<sup>2</sup> yang dikelilingi tembok batu setinggi 1,5 hingga 2 meter sebagai benteng pertahanan. Rumah adat Batak sebanyak delapan unit berfungsi sesuai struktur sosial tradisional, dilengkapi dengan situs Batu Parsidangan dan Makam Raja Sidabutar yang berusia 460 tahun. Legitimasi sosial dan simbol kehormatan terhadap leluhur tampak melalui sistem kekerabatan marga dan sejarah pembangunan kampung secara gotong royong oleh garis keturunan Raja Laga Siallagan, kemudian diwariskan kepada Raja Hendrik Siallagan hingga Raja Ompu Batu Ginjang Siallagan.

### Analisis Pembangunan Berkelanjutan Geopark

Hasil penelitian mengenai implementasi 17 aspek Sustainable Development Goals (SDGs) di Kawasan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara dengan pemangku kepentingan, dan analisis dokumen. Data yang terkumpul memberikan gambaran kondisi riil kawasan dari sudut sosial, ekonomi, lingkungan, dan kelembagaan. Mengingat Geopark Kaldera Toba telah ditetapkan sebagai UNESCO Global Geopark, kawasan ini memiliki potensi besar dalam mendukung pencapaian SDGs melalui integrasi konservasi geologi, pengembangan pariwisata, dan pemberdayaan masyarakat. Namun, potensi tersebut juga diiringi berbagai tantangan internal dan eksternal, sehingga diperlukan kajian strategis untuk memastikan pembangunan berkelanjutan dapat terwujud secara optimal.

**Tabel 2.** Analisis SWOT

<b>Strengths (Kekuatan)</b>	<b>Weaknesses (Kelemahan)</b>
1. Potensi geosite, biodiversitas, dan budaya Batak Toba yang bernilai global (SDGs 11, 15). 2. Keterlibatan masyarakat dalam UMKM pariwisata (kuliner, kerajinan, homestay) (SDGs 1, 8, 12). 3. Fasilitas dasar (pendidikan, kesehatan, air bersih) relatif tersedia di sebagian desa (SDGs 3, 4, 6). 4. Status UNESCO Global Geopark membuka peluang branding internasional (SDGs 17). 5. Lembaga adat berfungsi menjaga harmoni sosial dan penyelesaian konflik (SDGs 16).	1. Pemahaman masyarakat terhadap SDGs masih rendah (SDGs 4, 13). 2. Infrastruktur wisata dan transportasi belum merata (SDGs 9, 11). 3. Keterbatasan pendanaan untuk program konservasi dan pengelolaan lingkungan (SDGs 15). 4. Pengelolaan sampah dan sanitasi masih kurang optimal di kawasan wisata (SDGs 6, 12). 5. Keterlibatan perempuan dan pemuda masih terbatas dalam kepemimpinan lokal (SDGs 5, 10).
<b>Opportunities (Peluang)</b>	<b>Threats (Ancaman)</b>
1. Dukungan regulasi nasional & internasional (Perpres SDGs 2030, regulasi geopark) (SDGs 17). 2. Tren pariwisata global ke arah ekowisata dan wisata edukatif (SDGs 12, 13).	1. Degradasi lingkungan & alih fungsi lahan akibat pembangunan tidak terkendali (SDGs 15). 2. Perubahan iklim yang memicu cuaca ekstrem dan bencana (SDGs 13).

3. Perkembangan teknologi SIG & digital marketing untuk promosi wisata (SDGs 9).	3. Ketimpangan sosial-ekonomi antar desa jika distribusi manfaat wisata tidak merata (SDGs 10).
4. Kemitraan dengan universitas, LSM, dan komunitas lokal (SDGs 17).	4. Risiko over-tourism yang mengancam kualitas lingkungan dan budaya (SDGs 11, 12).
5. Pasar wisatawan domestik & internasional meningkat pasca status UNESCO (SDGs 8).	5. Ketergantungan pada pariwisata yang rentan krisis global (misalnya pandemi) (SDGs 8).

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Untuk merumuskan strategi pembangunan berkelanjutan, penelitian ini memanfaatkan pendekatan SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) yang sebelumnya dijabarkan dalam metode penelitian. Analisis SWOT dilakukan berdasarkan instrumen observasi 17 aspek SDGs yang disesuaikan dengan karakteristik lokal Geopark Kaldera Toba yang dapat dilihat pada tabel 2 diatas. Pendekatan ini bertujuan mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan internal kawasan sekaligus mengkaji peluang serta ancaman eksternal yang berpengaruh terhadap keberlanjutan pengelolaan geopark. Hasil analisis ini diharapkan mampu menghasilkan strategi pembangunan berkelanjutan yang dapat memaksimalkan potensi geosite, biodiversitas, dan budaya Batak Toba; meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui ekonomi wisata yang adil dan inklusif; menjamin keberlanjutan ekosistem melalui konservasi lingkungan dan mitigasi risiko bencana; serta memperkuat kolaborasi multipihak dalam pencapaian SDGs.

**Tabel 3.** Matriks Strategi SWOT

Strategi SO (Strength–Opportunities)	Strategi WO (Weakness–Opportunities)
<ol style="list-style-type: none"> <li>Mengoptimalkan potensi geosite, biodiversitas, dan budaya lokal dengan promosi berbasis SIG dan digital marketing (SDGs 9, 11, 17).</li> <li>Manfaatkan status UNESCO Global Geopark untuk memperluas jejaring kerja sama internasional (SDGs 17).</li> <li>Mengembangkan ekowisata edukatif berbasis budaya Batak Toba dan konservasi alam (SDGs 12, 13, 15).</li> <li>Menguatkan kelembagaan adat dalam pengelolaan wisata dan mitigasi bencana (SDGs 16, 13).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Meningkatkan kapasitas masyarakat melalui pelatihan SDGs, ekowisata, dan literasi digital (SDGs 4, 8, 12).</li> <li>Mendorong pembangunan infrastruktur wisata ramah lingkungan dengan dukungan pendanaan inovatif (SDGs 9, 11).</li> <li>Mengintegrasikan perempuan dan pemuda dalam kepemimpinan desa melalui program afirmatif (SDGs 5, 10).</li> <li>Mengembangkan sistem pengelolaan sampah terpadu dan sanitasi berbasis komunitas (SDGs 6, 12).</li> </ol>
Strategi ST (Strength–Threats)	Strategi WT (Weakness–Threats)
<ol style="list-style-type: none"> <li>Memperkuat kearifan lokal dan kelembagaan adat untuk menghadapi degradasi lingkungan dan ancaman budaya (SDGs 15, 16).</li> <li>Diversifikasi ekonomi lokal (pertanian organik, kerajinan, kuliner) agar tidak hanya bergantung pada pariwisata (SDGs 1, 2, 8).</li> <li>Mengembangkan standar kunjungan wisata berkelanjutan (eco-guideline) untuk mengantisipasi over-tourism (SDGs 11, 12).</li> <li>Manfaatkan teknologi digital &amp; SIG untuk monitoring dampak lingkungan dan sosial (SDGs 9, 13).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Menyusun rencana tata ruang berbasis SIG untuk mencegah degradasi lingkungan dan konflik lahan (SDGs 11, 15).</li> <li>Menerapkan program adaptasi perubahan iklim di tingkat desa, termasuk penghijauan, mitigasi longsor, dan pengelolaan air (SDGs 13, 15).</li> <li>Membangun sistem perlindungan sosial agar kelompok rentan tidak semakin terpinggirkan akibat krisis pariwisata (SDGs 1, 10).</li> <li>Menjalin kemitraan multi pihak (pemerintah, LSM, universitas, komunitas) dalam pendanaan dan implementasi SDGs (SDGs 17).</li> </ol>

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Berdasarkan hasil observasi dari matriks strategi SWOT dari tabel 3 diatas, analisis SWOT menunjukkan posisi dan dinamika pembangunan kawasan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir. Faktor *Strengths* menunjukkan bahwa kawasan ini memiliki nilai geologi, biodiversitas, dan budaya Batak Toba yang diakui UNESCO sebagai warisan dunia. Keterlibatan masyarakat dalam UMKM pariwisata seperti homestay, kuliner, dan kerajinan menandakan berkembangnya ekonomi berbasis wisata dengan manfaat langsung bagi masyarakat. Fasilitas dasar pendidikan, kesehatan, dan air bersih juga relatif tersedia di sebagian desa sehingga mendukung pemenuhan SDGs. Pengakuan internasional UNESCO membuka peluang branding global, sementara

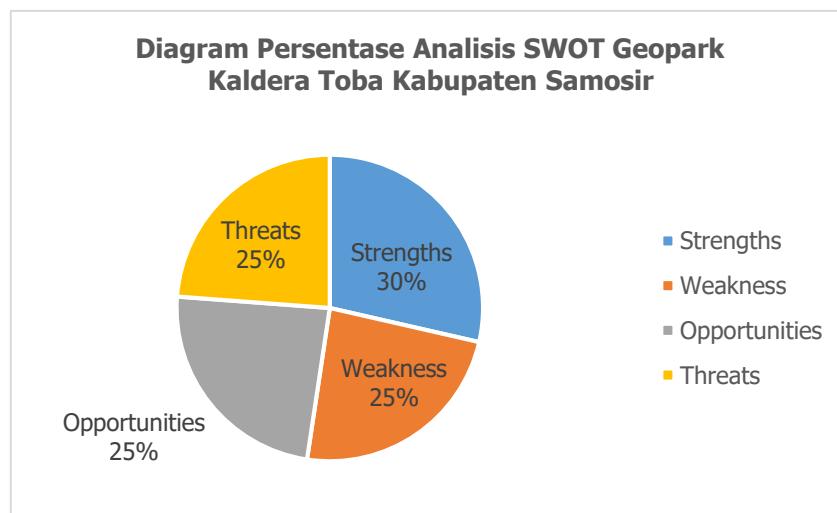
kelembagaan adat yang masih berfungsi menjaga harmoni sosial serta penyelesaian konflik menjadi modal sosial penting bagi keberlanjutan kawasan.

Pada sisi *Weaknesses*, ditemukan bahwa pemahaman masyarakat terhadap SDGs dan pembangunan berkelanjutan masih rendah, sehingga partisipasi dalam program konservasi dan pengelolaan lingkungan belum optimal. Melalui hasil wawancara dengan pengelola dan masyarakat setempat, ditemukan bahwa pemahaman terkait SDGs dan konsep pariwisata berkelanjutan belum merata, sehingga belum sepenuhnya menjadi dasar dalam aktivitas pengelolaan geosite. Infrastruktur wisata dan transportasi juga belum merata di seluruh geosite, sementara pendanaan untuk program konservasi lingkungan masih terbatas. Permasalahan pengelolaan sampah dan sanitasi di kawasan wisata turut teridentifikasi sebagai isu penting yang perlu perhatian lebih lanjut. Selain itu, wawancara lapangan juga mengungkap bahwa keterlibatan perempuan dan pemuda dalam kepemimpinan lokal masih rendah, sehingga pemanfaatan potensi sumber daya manusia belum maksimal dan memengaruhi efektivitas kolaborasi antar pemangku kepentingan.

Faktor *Opportunities* memperlihatkan kondisi eksternal yang sangat mendukung pembangunan geopark, termasuk regulasi nasional dan internasional terkait SDGs dan geopark, tren global ekowisata dan wisata edukatif, serta perkembangan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan digital marketing yang membuka peluang promosi wisata dan monitoring lingkungan. Kemitraan dengan universitas, LSM, dan komunitas lokal semakin memperluas ruang kolaborasi, sementara meningkatnya minat wisatawan domestik dan internasional membuka peluang pertumbuhan ekonomi wisata.

Meskipun demikian, kawasan ini juga menghadapi berbagai *Threats* seperti degradasi lingkungan dan alih fungsi lahan yang tidak terkendali, perubahan iklim yang memicu cuaca ekstrem dan bencana, risiko ketimpangan sosial akibat distribusi manfaat wisata yang tidak merata, serta kemungkinan over-tourism yang berpotensi menurunkan kualitas lingkungan dan mengikis nilai budaya lokal. Ketergantungan masyarakat pada sektor pariwisata juga menjadikan ekonomi lokal rentan terhadap krisis global seperti pandemi.

Berdasarkan analisis SWOT, strategi pembangunan berkelanjutan diarahkan pada empat fokus. Strategi SO mengoptimalkan potensi geosite, biodiversitas, dan budaya lokal melalui promosi SIG, digital marketing, branding UNESCO, dan pengembangan ekowisata edukatif. Strategi WO mencakup peningkatan kapasitas masyarakat melalui pelatihan SDGs dan literasi digital, pembangunan infrastruktur wisata ramah lingkungan, keterlibatan perempuan dan pemuda, serta pengelolaan sampah berbasis komunitas. Strategi ST memanfaatkan kekuatan kawasan melalui penguatan kelembagaan adat, diversifikasi ekonomi lokal, dan penerapan standar wisata berkelanjutan. Strategi WT berfokus pada tata ruang berbasis SIG, adaptasi perubahan iklim, perlindungan kelompok rentan, dan kemitraan multipihak untuk pendanaan serta implementasi SDGs.



(Sumber: Hasil Analisis Data, 2025)  
**Gambar 4.** Diagram Persentase Analisis SWOT

Berdasarkan gambar 4 rekapitulasi persentase SWOT menunjukkan bahwa aspek *Strengths* memiliki persentase tertinggi sebesar 30%, menandakan bahwa potensi internal kawasan Geopark Kaldera Toba sangat kuat sebagai modal dasar pembangunan berkelanjutan berbasis pariwisata alam dan budaya. Aspek *Weaknesses* dan *Opportunities* masing-masing berada pada 25%, menunjukkan bahwa peluang yang tersedia dapat diarahkan untuk menutupi kelemahan internal kawasan. Sementara itu, *Threats* berada pada persentase terendah yaitu 20%, namun tetap perlu diperhatikan agar tidak menghambat keberlanjutan jangka panjang. Dengan demikian, pembangunan berkelanjutan kawasan Geopark Kaldera Toba perlu diarahkan pada pemanfaatan peluang eksternal untuk mengatasi kelemahan, sekaligus menggunakan kekuatan internal untuk menghadapi ancaman. Implementasi strategi yang tepat diyakini mampu mendukung pencapaian 17 aspek SDGs secara lebih efektif, terukur, dan berkelanjutan di Kabupaten Samosir.

## Pembahasan

Hasil pemetaan SIG mengidentifikasi lima geosite utama di Kabupaten Samosir dengan pola distribusi yang mengikuti struktur geologi Kaldera Toba, seperti deformasi YTT di Tele-Efrata-Sihotang dan uplift di Simanindo-Batu Hoda, yang selaras dengan terminologi DEM Guth et al. (2021) tentang evolusi kaldera. Pemetaan ini melengkapi Abbas & Jaber (2020) yang menekankan akurasi klasifikasi supervised untuk ekstraksi peta penggunaan lahan, di mana SIG penelitian ini mencapai presisi spasial lebih tinggi melalui GPS Garmin dan ArcGIS untuk geosite spesifik. Berbeda dengan Gulo (2024) yang fokus pemetaan bencana, integrasi geodiversitas, biodiversitas, dan budaya di sini memperkaya analisis holistik seperti yang direkomendasikan ESRI (2007).

Analisis SWOT menunjukkan kekuatan potensi geosite dan budaya Batak (30%) yang mendukung strategi SO seperti ekowisata edukatif, sejalan dengan konsep geopark nasional Kusumahbrata & ESDM (2015) yang mengintegrasikan konservasi dan pariwisata. Strategi ini menguatkan Peraturan Menteri ESDM No. 31/2021 tentang penetapan geopark nasional serta Peraturan Menteri Pariwisata No. 2/2020 yang menekankan pedoman teknis destinasinya. Dibandingkan Mareta (2024) di Geopark Kebumen yang menilai visi-misi berkelanjutan secara kualitatif, pendekatan SIG-SWOT ini lebih operasional, mirip Haq et al. (2024) di Geopark Olele untuk wisata geologi berkelanjutan.

Temuan mendukung Perpres No. 59/2017 dan No. 111/2022 dalam pencapaian SDGs, di mana strategi WT seperti tata ruang SIG mencegah degradasi lahan, melampaui Ompusunggu & Mega Williandani (2022) yang hanya membahas pariwisata Toba secara umum. Implikasi praktis mencakup peningkatan UMKM dan inklusi perempuan (SDGs 5,8), selaras dengan United Nations Development Programme (2017) tentang tourism-SDGs, serta Hutabarat (2023) soal diplomasi geotourism. Dibanding Azmi et al. (2025) yang kritis terhadap dampak lingkungan Toba, penelitian ini menawarkan mitigasi spasial konkret, sementara Pangestu (2024) memperkuat peran SIG di daerah rawan bencana.

Integrasi SIG dengan SDGs mengisi celah Wal hidayat & Nasution (2019) tentang persepsi publik Toba, dengan data spasial yang objektif untuk monitoring over-tourism seperti dijelaskan Syah & Said (2020) dalam ekowisata. Secara teoritis, ini memperluas Pardede (2023) tentang geopark sebagai instrumen ekonomi berkelanjutan melalui matriks strategi SWOT yang terukur. Implikasi jangka panjang termasuk replikasi model di geopark lain, mendukung UNESCO via bukti empiris yang mengurangi kelemahan literatur sebelumnya.

## Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu menganalisis strategi pembangunan berkelanjutan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir melalui pemetaan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dan integrasi dengan indikator Sustainable Development Goals (SDGs). Tujuan pertama, memetakan karakteristik geosite, keanekaragaman hayati, dan warisan budaya, tercapai dengan identifikasi lima geosite utama (Tele-Efrata-Sihotang, Pusuk Buhit, Simanindo-Batu Hoda, Tuktuk-Ambarita-Tomok, Huta Tinggi-Sidihoni) menggunakan GPS Garmin GPSMAP 78s dan ArcGIS, menghasilkan peta sebaran yang presisi mengikuti struktur geologi kaldera.

Tujuan kedua, menyusun arahan pengelolaan kawasan, terwujud melalui analisis SWOT yang mengungkap kekuatan dominan (30%) seperti potensi geosite dan budaya Batak, diikuti kelemahan (25%), peluang (25%), serta ancaman (20%), lalu dirumuskan menjadi matriks strategi SO, WO, ST, dan WT. Strategi ini menghubungkan data spasial dengan 17 SDGs, seperti optimalisasi promosi SIG untuk SDGs 9 dan 11 serta mitigasi degradasi lahan untuk SDGs 15.

Pendekatan deskriptif dengan survei lapangan Mei-Juni 2025 memberikan gambaran objektif kondisi kawasan, sehingga strategi yang dihasilkan mendukung konservasi, pemberdayaan masyarakat, dan pariwisata berkelanjutan secara terintegrasi.

Disarankan agar strategi pembangunan berkelanjutan Geopark Kaldera Toba diimplementasikan melalui pengembangan *smart-geopark* berbasis SIG untuk memonitor dampak lingkungan secara real-time serta penerapan model pendanaan inovatif, seperti *green investment* dan kolaborasi CSR, guna mengatasi keterbatasan anggaran konservasi. Penelitian lanjutan perlu menguji efektivitas strategi di setiap geosite serta memperkuat peran masyarakat, perempuan, dan pemuda dalam tata kelola geopark berbasis indikator SDGs. Pendekatan SIG-SWOT berbasis SDGs direkomendasikan untuk direplikasi pada Geopark lain di Indonesia karena mampu mengintegrasikan data spasial, dinamika sosial-ekonomi, dan arah konservasi ke dalam strategi pengelolaan berkelanjutan yang aplikatif.

## Referensi

Abbas, Z., & Jaber, H. S. (2020). *Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012166>

Azmi, Q., Tasali, F., Jeniarti, I., & Joharis, M. (2025). Analisis Kebijakan Pengembangan Toba Caldera Geopark: Perspektif Kritis Terhadap Dampak Lingkungan dan Keadilan Sosial Bagi Masyarakat Adat. *Semantik Jurnal Riset Ilmu Pendidikan Bahasa Dan Budaya*, 3(2), 1–9. <https://doi.org/10.61132/semantik.v3i2.1588>

ESRI. (2007). *Understanding Coordinate Management in the Geodatabase*. June, 39.

Gulo, F. W. R. (2024). PERAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK PEMETAAN BENCANA. *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 4(12), 1–23. <https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365>

Guth, P. L., Van Niekerk, A., Grohmann, C. H., Muller, J. P., Hawker, L., Florinsky, I. V., Gesch, D., Reuter, H. I., Herrera-Cruz, V., Riazanoff, S., López-Vázquez, C., Carabajal, C. C., Albinet, C., & Strobl, P. (2021). Digital elevation models: Terminology and definitions. *Remote Sensing*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/rs13183581>

Haq, D. N., Ninasafitri, N., Uno, D. A. N., & Aris, A. P. (2024). Strategi Pengembangan Potensi Geopark Olele , Gorontalo : Destinasi Wisata Geologi Berkelanjutan. *Jurnal Normalita*, 12(2), 101–111.

Hutabarat, L. F. (2023). Pengembangan Geopark Nasional Indonesia menuju UNESCO Global Geopark sebagai Diplomasi Geotourism Indonesia. *Jurnal Ilmiah Hubungan Internasional*, 19(1), 94–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.26593/jihi.v19i1.6000.94-106>

Kusumahbrata, Y., & ESDM, K. (2015). KONSEP PENGEMBANGAN GEOPARK INDONESIA. *Joint Convention Balikpapan 2015*, October, 8–11.

Mareta, N. (2024). Geopark Kebumen dan Pembangunan Berkelanjutan , Suatu Studi terhadap Keberadaan Geopark Kebumen Geopark and Sustainable Development , A Study on the Existence of the Kebumen Geopark. *Jurnal Semarak Kabumian*, 2(2), 1–10.

Ompusunggu, D., & Mega Williandani. (2022). Geopark Kaldera Toba: Membangun Pariwisata Dan Melindungi Lingkungan. *Akademi Pariwisata & Perhotelan Darma Agung*, 1–23.

Pangestu, B. D. A. (2024). EVALUASI DAMPAK PENGGUNAAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) DALAM PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM DAN PENGALIHAN KEBIJAKAN PUBLIK DI DAERAH RAWAN BENCANA ALAM. *Journal Education and Technology*, 5(2), 499–509.

Pardede, T. S. (2023). *Geopark Sebagai Instrumen Pengembangan Pariwisata & Ekonomi Berkelanjutan* (Issue September). Direktorat Pembangunan Daerah Kementerian PPN/Bappenas.

Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2021 Penetapan Taman Bumi (Geopark) Nasional, 1 (2021).

Peraturan Menteri Pariwisata Dan Ekonomi Kreatif/Kepala Badan Pariwisata Dan Ekonomi Kreatif Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 Tentang Pedoman Teknis Pengembangan Geopark Sebagai Destinasi Pariwisata, Peraturan Menteri Pariwisata dan Ekonomi Kreatif 45 (2020).

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2017 Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, Kemenkumham RI 1 (2017).

Peraturan Presiden RI. No. 111, Kementerian Sekretariat Negara RI 1 (2022).

Sintong, M., Permana, S., Marbun, S. F., Degodona, L. P., Kautsar, M. A., Sembiring, J. A., & Nasywa, P. (2025). Analisis Strategi Pembangunan Berkelanjutan Dan Pemetaan Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kawasan Geopark Kaldera Toba Kabupaten Samosir. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, 13(2), 160–173. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.37064/jpm.v13i2.27038>

Syah, A., & Said, F. (2020). *Pengantar Ekowisata*. Penerbit Paramedia Komunikatama.

United Nations Development Programme. (2017). Tourism and the Sustainable Development Goals – Journey to 2030. In *Tourism and the Sustainable Development Goals – Journey to 2030*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18111/9789284419401>

Wal hidayat, T., & Nasution, I. (2019). Persepsi Publik Tentang Destinasi Pariwisata Danau Toba Sebagai Global Geopark Kaldera UNESCO. *Publikauma: Jurnal Administrasi Publik Universitas Medan Area*, 7(2), 88. <https://doi.org/10.31289/publika.v7i2.2943>