



Analisis Terrain Model Digital untuk Pengembangan Pembangunan Potensi Wisata di Nagari Tikalak

Yudha Chairul Anami^{1*}, Dwi Arini², Fajrin³, Dwi Marsiska Driptufany⁴

¹⁻⁴Institut Teknologi Padang, Indonesia

yudhachairula@gmail.com¹, dwiarini@itp.ac.id²

*Penulis Korespondensi: yudhachairula@gmail.com

Abstract. *The development of tourism areas based on natural potential requires planning that considers the physical conditions of the area so that development can be carried out safely and sustainably. Nagari Tikalak, Solok Regency, has diverse topographic characteristics so that terrain analysis is needed to support the determination of tourism development zones. This study aims to produce a Digital Terrain Model (DTM) based on UAV aerial photography imagery, testing its level of accuracy using the slope method as the basis for compiling a tourism development zone map. Data processing was carried out using Agisoft Metashape to produce the DTM and ArcMap for spatial analysis. The results of the slope analysis classify areas into suitable, moderately suitable, and unsuitable zones for tourism development, where suitable zones are predominantly on flat to gentle slopes and unsuitable zones are on steep slopes that are potentially prone to landslides. This study shows that the use of UAV-based digital terrain models can support more accurate tourism development planning, based on spatial data, and oriented towards sustainable development in Nagari Tikalak.*

Keywords: *Digital Terrain Model; Slope Analysis; Sustainable Planning; Tourism Development; UAV Imagery*

Abstrak. Pengembangan kawasan wisata berbasis potensi alam memerlukan perencanaan yang mempertimbangkan kondisi fisik wilayah agar pembangunan dapat dilakukan secara aman dan berkelanjutan. Nagari Tikalak, Kabupaten Solok, memiliki karakteristik topografi yang beragam sehingga diperlukan analisis terrain untuk mendukung penentuan zona pengembangan wisata. Penelitian ini bertujuan menghasilkan Digital Terrain Model (DTM) berbasis citra foto udara UAV, menguji tingkat ketelitiannya menggunakan metode kelerengan sebagai dasar penyusunan peta zona pengembangan wisata. Pengolahan data dilakukan menggunakan Agisoft Metashape untuk menghasilkan DTM dan ArcMap untuk analisis spasial. Hasil analisis kelerengan mengklasifikasikan wilayah menjadi zona sesuai, cukup sesuai, dan tidak sesuai untuk pengembangan wisata, di mana zona sesuai dominan pada lereng datar hingga landai dan zona tidak sesuai berada pada lereng curam yang berpotensi rawan longsor. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan model terrain digital berbasis UAV dapat mendukung perencanaan pengembangan wisata yang lebih akurat, berbasis data spasial, dan berorientasi pada pembangunan berkelanjutan di Nagari Tikalak.

Kata kunci: Analisis Kelerengan; Citra UAV; Digital Terrain Model; Pengembangan Wisata; Perencanaan Berkelanjutan

1. LATAR BELAKANG

Pariwisata yang dikembangkan berdasarkan potensi alam menjadi strategi penting dalam pembangunan wilayah karena dapat meningkatkan perekonomian masyarakat lokal sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan hidup. Dalam proses pengembangan kawasan wisata, diperlukan perencanaan ruang yang komprehensif agar pemanfaatan lahan tidak menyebabkan kerusakan lingkungan atau meningkatkan risiko bencana. Perencanaan wisata yang efektif idealnya memperhatikan karakteristik fisik wilayah, termasuk kondisi fisik geografi dan daya dukung lingkungan, agar pembangunan fasilitas wisata sesuai dengan kemampuan lahan yang tersedia. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip perencanaan pariwisata berkelanjutan yang mengintegrasikan daya dukung ekologis dan potensi sumber daya alam ke dalam kerangka perencanaan destinasi wisata (Purwanto et al, 2023).

Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) seperti *DJI Mavic 3 Enterprise* memberikan peluang besar untuk melakukan pemetaan fotogrametri yang menghasilkan *Digital Terrain Model* (DTM), orthophoto, dan kontur elevasi dengan tingkat ketelitian tinggi. Dibandingkan dengan peta topografi konvensional, data UAV lebih detail, cepat diperoleh, dan mampu memberikan gambaran kondisi lahan secara aktual. Melalui analisis model terrain digital, pemerintah nagari dapat memperoleh informasi mengenai ketinggian, kemiringan lereng, dan bentuk lahan yang sangat berguna untuk berbagai aspek pembangunan dengan menggunakan pengukuran dengan tingkat akurasi yang tinggi (Rossi et al, 2023).

Kemiringan lereng (*slope*) merupakan parameter topografi yang menunjukkan tingkat kemiringan permukaan tanah terhadap bidang horizontal. Kemiringan lereng menggambarkan seberapa curam atau landainya suatu wilayah dan menjadi salah satu indikator penting dalam analisis kondisi fisik lahan. Nilai kemiringan lereng diperoleh dari perhitungan perubahan elevasi antar titik atau antar piksel pada data *Digital Elevation Model* (DEM) menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) (Haryani, 2020). Dalam konteks pengembangan pariwisata, kemiringan lereng merupakan salah satu parameter fisik yang sangat menentukan tingkat kesesuaian suatu wilayah. Wilayah dengan kemiringan lereng datar hingga landai umumnya memiliki tingkat kesesuaian yang lebih tinggi untuk pengembangan fasilitas wisata, seperti area parkir, pusat layanan pengunjung, akomodasi, dan sarana pendukung lainnya. Kondisi lereng yang relatif stabil dan mudah diakses pada kelas ini memungkinkan pembangunan dilakukan dengan risiko teknis dan lingkungan yang lebih rendah.

Klasifikasi kelerengan tersebut membantu dalam mengidentifikasi karakter topografi suatu wilayah secara sistematis. Setiap kelas kelerengan memiliki implikasi yang berbeda terhadap stabilitas lereng, potensi erosi, serta tingkat kesesuaian lahan untuk berbagai kegiatan. Oleh karena itu, analisis kemiringan lereng dan klasifikasinya menjadi komponen penting dalam kajian fisik wilayah dan sering digunakan sebagai parameter utama dalam perencanaan dan pengelolaan ruang (Arfaini, 2019).

Pengembangan kawasan wisata modern menempatkan kondisi fisik lahan sebagai salah satu komponen utama dalam proses perencanaan ruang. Karakteristik topografi seperti elevasi dan kelerengan berpengaruh langsung terhadap tingkat aksesibilitas, keamanan kawasan, serta keberlanjutan pembangunan. Beberapa penelitian terkini menegaskan bahwa pemanfaatan lahan yang tidak sesuai dengan kondisi topografi dapat meningkatkan risiko degradasi lingkungan, bencana geomorfologi, serta tingginya biaya pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur wisata. Perencanaan pembangunan kawasan wisata perlu mempertimbangkan

karakteristik fisik lahan sebagai faktor dasar dalam penentuan lokasi dan jenis pemanfaatan ruang. Unsur topografi seperti ketinggian dan kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap kemudahan akses, tingkat keamanan, serta biaya dan dampak pembangunan. Lahan dengan kondisi relatif datar hingga landai umumnya lebih cocok untuk penempatan fasilitas utama dan aktivitas dengan intensitas tinggi karena lebih stabil dan mudah dikembangkan. Sebaliknya, lahan dengan kemiringan terjal cenderung memiliki keterbatasan untuk pembangunan fisik dan lebih sesuai difungsikan sebagai area konservasi, lanskap alami, atau aktivitas wisata berbasis petualangan dengan intervensi minimum (Khosravi et al, 2020).

Penerapan model terrain digital di Nagari Tikalak dapat diarahkan untuk mendukung perencanaan infrastruktur berkelanjutan, misalnya dalam penentuan jalur jalan baru, lokasi fasilitas umum (sekolah, balai nagari, puskesmas), sistem drainase dan irigasi, hingga zonasi lahan pertanian. Selain itu, analisis terrain juga dapat digunakan untuk identifikasi kawasan rawan bencana seperti longsor dan banjir, sehingga pembangunan dapat diarahkan pada area yang aman dan minim risiko. Dengan adanya pemanfaatan data terrain digital, Nagari Tikalak akan memiliki dasar perencanaan pembangunan yang lebih akurat, berbasis data spasial, dan berorientasi pada pembangunan berkelanjutan (Wibowo & Fitria, 2023). Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya menjadi kajian akademis, tetapi juga memberi kontribusi praktis bagi pemerintah nagari dan Kabupaten Solok dalam mewujudkan pembangunan yang terarah, efisien, dan ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Nagari Tikalak, Kecamatan X Kota Singkarak, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat. Koordinat geografis : $\pm 0^{\circ}42' - 0^{\circ}46'$ LS dan $100^{\circ}37' - 100^{\circ}41'$ BT. Wilayah ini memiliki kondisi morfologi perbukitan dan dataran bergelombang dengan ketinggian $\pm 400-800$ Mdpl, sehingga cocok dijadikan lokasi studi untuk analisis terrain dan perencanaan infrastruktur berbasis data spasial.

Wilayah penelitian memiliki luas ± 525 hektar dengan karakteristik morfologi berupa perbukitan, lembah, serta area pertanian dan permukiman yang tersebar mengikuti kondisi topografi. Secara umum, wilayah ini berada pada zona relief bergelombang hingga berbukit dengan variasi elevasi yang cukup signifikan, sehingga memiliki potensi untuk pengembangan wisata berbasis alam namun juga memiliki kerentanan terhadap longsor dan degradasi lahan pada lereng curam. Kondisi tersebut menjadikan Nagari Tikalak sebagai lokasi yang relevan untuk kajian pemodelan terrain digital dan analisis kesesuaian lahan.

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra foto udara hasil pemotretan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang mencakup seluruh area penelitian. Citra tersebut diproses untuk menghasilkan *Digital Terrain Model* (DTM) yang merepresentasikan permukaan tanah (*bare earth*). Data pendukung lainnya meliputi orthophoto hasil pemrosesan UAV dan data batas administrasi wilayah penelitian.

Seluruh data spasial diolah menggunakan perangkat lunak fotogrametri untuk menghasilkan model elevasi, kemudian dianalisis lebih lanjut dalam sistem informasi geografis untuk perhitungan kelerengan dan penyusunan peta zona pengembangan wisata. Dengan kombinasi data primer dan kontrol lapangan tersebut, penelitian ini bertujuan menghasilkan informasi spasial yang akurat sebagai dasar perencanaan pengembangan wisata berbasis kondisi fisik wilayah.

Metode Analisis Data

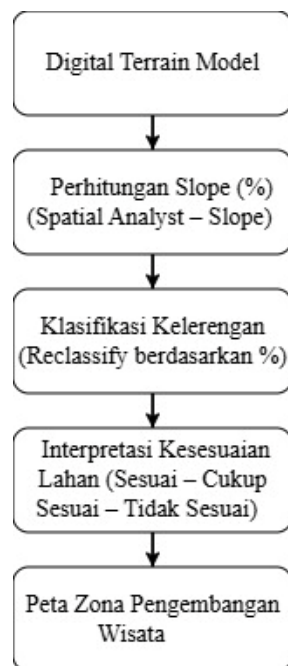
Analisis kelerengan (*slope*) dilakukan berdasarkan Digital Terrain Model (DTM) yang telah memenuhi uji ketelitian vertikal. Secara konseptual, *slope* merupakan turunan pertama dari perubahan elevasi terhadap jarak horizontal dan menjadi parameter penting dalam analisis geomorfologi dan perencanaan tata ruang (Burrough & McDonnell, 1998). Perhitungan *slope* dilakukan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan fungsi Spatial Analyst – *Slope* yang menghasilkan nilai kemiringan dalam satuan persen (%).

Nilai kelerengan yang diperoleh kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas kemiringan berdasarkan standar klasifikasi lereng yang umum digunakan dalam evaluasi kesesuaian lahan dan perencanaan wilayah, yaitu 0–8% (datar), 8–15% (landai), 15–25% (agak curam), 25–45% (curam), dan >45% (sangat curam) (Arsyad, 2010; FAO, 1976). Klasifikasi ini digunakan untuk mengidentifikasi tingkat stabilitas lahan dan kemudahan pembangunan infrastruktur wisata.

Penentuan zona pengembangan wisata dilakukan dengan mengintegrasikan hasil klasifikasi kelerengan dengan prinsip kesesuaian lahan berbasis daya dukung fisik wilayah. Konsep kesesuaian lahan menyatakan bahwa setiap bentuk pemanfaatan ruang harus disesuaikan dengan karakteristik biofisik agar pembangunan dapat berlangsung secara berkelanjutan dan meminimalkan risiko lingkungan (FAO, 1976; Purwanto et al., 2023). Dalam penelitian ini, zona dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu zona sesuai (lereng datar–landai), zona cukup sesuai (lereng agak curam), dan zona tidak sesuai (lereng curam–sangat curam).

Pendekatan ini sejalan dengan prinsip perencanaan pariwisata berkelanjutan yang menekankan integrasi antara kondisi fisik lahan, risiko bencana, dan potensi pengembangan ekonomi lokal (Wibowo & Fitria, 2023). Dengan demikian, analisis kelerengan tidak hanya berfungsi sebagai parameter teknis topografi, tetapi juga sebagai dasar penentuan arah pengembangan wilayah wisata yang aman.

Tahap analisis dalam penelitian ini diawali dengan penggunaan Digital Terrain Model (DTM) sebagai data dasar. DTM yang telah melalui proses uji ketelitian vertikal menggunakan RMSE digunakan untuk memastikan bahwa model elevasi yang dianalisis memiliki tingkat akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan. Tahap ini penting karena kesalahan elevasi akan langsung mempengaruhi hasil perhitungan kelerengan.



Gambar 1. Proses Pengolahan Data

Tahap berikutnya adalah perhitungan nilai *slope* menggunakan fungsi analisis spasial pada perangkat lunak SIG. Proses ini menghitung perubahan elevasi antar piksel sehingga diperoleh nilai kemiringan dalam satuan persen (%). *Output* yang dihasilkan berupa raster kelerengan yang menggambarkan variasi kemiringan lahan di seluruh wilayah penelitian.

Setelah nilai *slope* diperoleh, dilakukan proses klasifikasi kelerengan. Klasifikasi ini bertujuan untuk menyederhanakan nilai kontinu *slope* menjadi beberapa kelas kemiringan yang lebih mudah diinterpretasikan. Pembagian kelas dilakukan berdasarkan standar klasifikasi lereng yang umum digunakan dalam perencanaan wilayah, sehingga setiap kelas memiliki makna teknis terhadap tingkat stabilitas dan kelayakan lahan.

Tahap selanjutnya adalah interpretasi kesesuaian lahan untuk pengembangan wisata. Pada tahap ini, setiap kelas kelerengan dianalisis berdasarkan tingkat kemudahan pembangunan, aksesibilitas, serta potensi risiko bencana seperti longsor. Lereng datar hingga landai dikategorikan sebagai zona sesuai, lereng agak curam sebagai zona cukup sesuai, dan lereng curam hingga sangat curam sebagai zona tidak sesuai.

Tahap akhir workflow adalah penyusunan peta zona pengembangan wisata. Peta ini merupakan hasil integrasi analisis kelerengan dengan pertimbangan perencanaan wilayah. *Output* yang dihasilkan tidak hanya bersifat visual, tetapi juga menjadi dasar rekomendasi teknis dalam menentukan arah pembangunan wisata berbasis kondisi fisik wilayah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kelerengan dilakukan untuk mengidentifikasi variasi tingkat kemiringan lahan di wilayah Nagari Tikalak dengan memanfaatkan data *Digital Terrain Model* (DTM) yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya. Perhitungan kelerengan dilakukan berdasarkan perbedaan nilai elevasi antar piksel pada DTM. *Output* dari proses ini berupa peta kelerengan yang merepresentasikan pola distribusi kemiringan lahan secara spasial di seluruh wilayah penelitian.

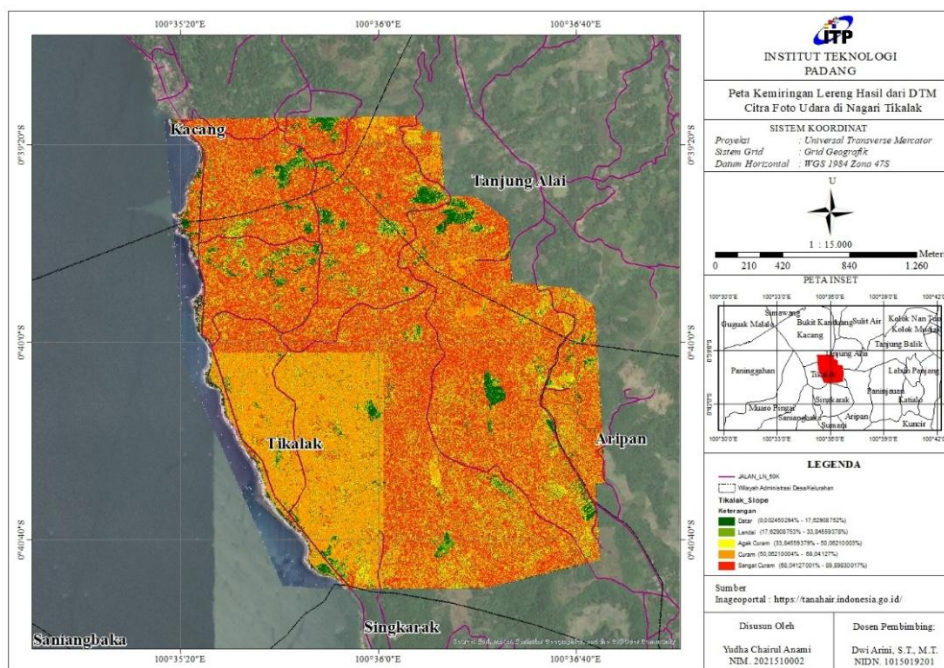
Nilai kelerengan yang dihasilkan selanjutnya diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas untuk mempermudah proses interpretasi dan analisis. Dalam penelitian ini, kelerengan dibagi ke dalam lima kelas, yaitu :

Tabel 1. Klasifikasi Kelerengan

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi	Nilai Kelerengan
I	0 – 8	Datar	0,002450294% – 17,62908752%
II	>8 – 15	Landai	17,62908752% – 33,84559378%
III	>15 – 25	Agak Curam	33,84559378% – 50,06210003%
IV	>25 – 45	Curam	50,06210003% – 68,04127%
V	>45	Sangat Curam	68,04127% – 89,89830017%

Secara spasial, area dengan kemiringan rendah cenderung berada pada bagian lembah dan dataran yang relatif stabil, sedangkan kemiringan tinggi teridentifikasi pada zona perbukitan. Pola ini sejalan dengan karakteristik morfologi wilayah yang didominasi oleh relief bergelombang hingga berbukit. Distribusi kelas kelerengan menunjukkan bahwa sebagian wilayah masih berada pada kategori yang memungkinkan untuk pengembangan aktivitas wisata, sementara sebagian lainnya memiliki keterbatasan fisik yang signifikan.

Penentuan kelas tersebut disesuaikan dengan karakteristik wilayah penelitian serta mempertimbangkan resolusi dan tingkat ketelitian DTM, sehingga hasil klasifikasi tetap representatif untuk perencanaan pada skala kawasan.

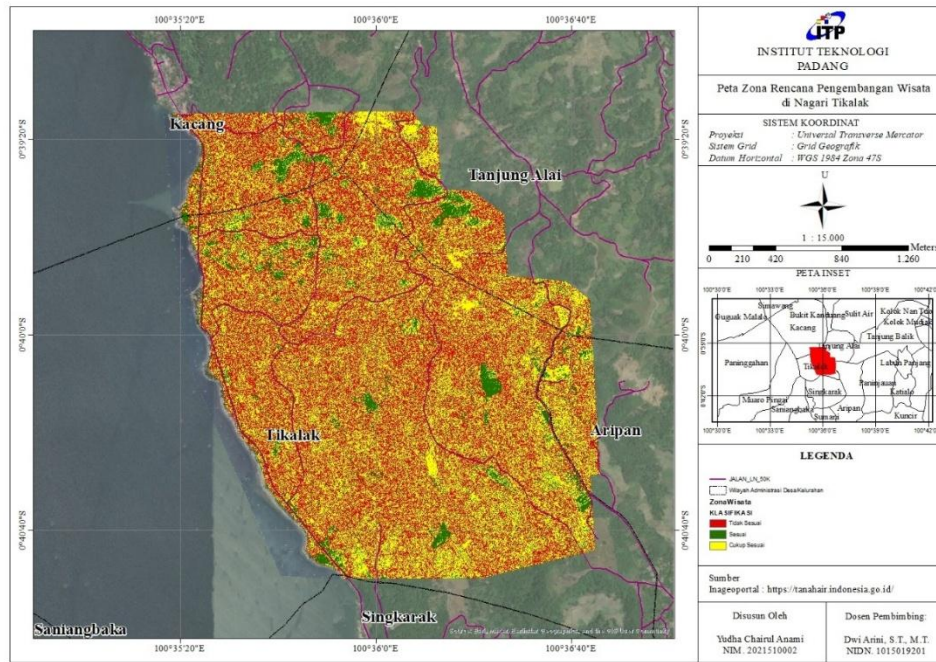


Gambar 2. Peta Kemiringan Lereng Hasil dari DTM Citra Foto Udara di Nagari Tikalak

Dalam konteks pengembangan pariwisata, area dengan kelereng datar dan landai memiliki tingkat kesesuaian yang lebih tinggi untuk pembangunan fasilitas pendukung wisata, seperti area parkir, pusat informasi, dan sarana pelayanan pengunjung. Area dengan kelereng agak curam masih dapat dimanfaatkan secara terbatas, terutama untuk aktivitas wisata berbasis alam seperti jalur *tracking* dan gardu pandang yang tidak memerlukan pembangunan fisik secara intensif. Sementara itu, area dengan kelereng curam memiliki keterbatasan tinggi terhadap pembangunan dan lebih tepat diarahkan sebagai zona lindung atau kawasan wisata yang menonjolkan keindahan alami.

Analisis kelereng ini berperan sebagai salah satu parameter utama dalam penentuan zona pengembangan wisata di Nagari Tikalak. Informasi mengenai distribusi kemiringan lahan memungkinkan perencanaan pengembangan wisata dilakukan secara lebih terarah dan selaras dengan kondisi fisik wilayah.

Berdasarkan hasil analisis pada subbab 2, wilayah Nagari Tikalak memiliki variasi kelereng yang cukup beragam, mulai dari lahan datar hingga lereng curam. Variasi ini menunjukkan bahwa tidak seluruh wilayah memiliki tingkat kesesuaian yang sama untuk pembangunan fasilitas wisata. Lahan dengan kemiringan rendah cenderung lebih aman dan mudah dikembangkan, sedangkan lahan dengan kemiringan tinggi memiliki keterbatasan teknis dan risiko lingkungan yang lebih besar.



Gambar 3. Peta Zona Rencana Pengembangan Wisata di Nagari Tikalak

Zona sesuai dengan *symbolologi* berwarna hijau berada pada area dengan kelerengn sedang yang masih memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai kawasan wisata, namun dengan keterbatasan tertentu. Pada peta, zona ini umumnya terletak di area peralihan antara lahan datar dan perbukitan.

Zona cukup sesuai dengan *symbolologi* berwarna kuning lebih diarahkan untuk pengembangan wisata berbasis alam dengan intensitas pembangunan yang rendah, seperti jalur trekking, area pandang, dan wisata edukasi lingkungan. Pengembangan pada zona ini memerlukan perencanaan yang lebih hati-hati untuk menjaga kestabilan lahan dan kelestarian lingkungan.

Zona tidak sesuai dengan *symbolologi* berwarna merah ditandai oleh area dengan kelerengn curam hingga sangat curam. Pada peta, zona tidak sesuai juga terdapat di daerah sekitaran danau karena ada beberapa tempat di dekat danau terdapat area yang cukup terjal sehingga nilai zona tidak sesuai ini didapatkan sedikit di sekitaran danau. Zona ini lebih banyak berada pada wilayah perbukitan atau lereng terjal yang memiliki potensi risiko tinggi terhadap erosi dan longsor. Oleh karena itu, zona tidak sesuai tidak direkomendasikan untuk pembangunan fasilitas wisata secara permanen. Zona ini lebih tepat dipertahankan sebagai kawasan lindung atau dimanfaatkan secara terbatas untuk wisata pasif, seperti wisata panorama tanpa pembangunan fisik yang intensif.

Dengan demikian, peta zona pengembangan wisata yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai informasi visual, tetapi juga sebagai alat perencanaan yang mendukung pengembangan wisata Nagari Tikalak secara berkelanjutan dan berbasis kondisi fisik lahan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kondisi topografi Nagari Tikalak memiliki variasi kelerengan yang cukup beragam, mulai dari wilayah datar hingga curam. Area dengan kelerengan datar hingga landai umumnya terdapat pada bagian dataran dan lembah, sementara kelerengan agak curam hingga curam mendominasi wilayah perbukitan. Pola topografi ini mencerminkan karakter fisik wilayah yang beragam dan mempengaruhi potensi pemanfaatan ruang serta tingkat kesesuaian lahan untuk berbagai aktivitas pembangunan.

Selanjutnya, hasil analisis untuk zona pengembangan wisata menunjukkan bahwa zona dengan kelerengan sedang cukup sesuai untuk kegiatan wisata, meskipun dengan beberapa keterbatasan. Zona cukup sesuai dapat diarahkan untuk pengembangan wisata alam dengan intensitas pembangunan rendah, seperti jalur trekking, area pandang, dan wisata edukasi lingkungan, dengan perhatian lebih pada kestabilan lahan. Di sisi lain, zona yang tidak sesuai terletak pada wilayah perbukitan dengan lereng terjal, yang memiliki potensi risiko longsor. Oleh karena itu, zona ini hanya direkomendasikan untuk pembangunan fasilitas wisata pasif, seperti panorama, tanpa pembangunan yang intensif.

Setelah melakukan penelitian ini terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan dalam melakukan penelitian ini kedepannya agar lebih baik. Pengembangan kawasan wisata di wilayah penelitian sebaiknya difokuskan pada zona sesuai dengan mempertimbangkan prinsip pembangunan berkelanjutan dan daya dukung lingkungan. Pada zona cukup sesuai, diperlukan perencanaan teknis tambahan seperti sistem drainase yang baik, penguatan lereng, serta pembatasan jenis bangunan yang bersifat permanen. Sementara itu, zona tidak sesuai sebaiknya dipertahankan sebagai kawasan lindung atau dimanfaatkan untuk fungsi konservasi guna mengurangi risiko bencana dan degradasi lingkungan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar analisis tidak hanya mempertimbangkan faktor kelerengan, tetapi juga mengintegrasikan parameter lain seperti jenis tanah, penggunaan lahan, aksesibilitas, serta aspek sosial-ekonomi masyarakat. Integrasi multi-parameter tersebut akan menghasilkan zonasi pengembangan wisata yang lebih komprehensif dan mendukung perencanaan wilayah secara menyeluruh.

DAFTAR REFERENSI

- Agisoft, S., Muara, D. I., & Samas, P. (2020). Proceedings: Vocational seminar - Marine & inland fisheries 2nd Volume 2: No.1 E-ISSN: 2(1), 99–103.
- Agustina, F. D., Tjahjadi, M. E., Rahmadany, V., & Directory, G. D. (2022). Pembuatan peta kemiringan lereng menggunakan DEM presisi foto udara untuk mitigasi bencana longsor: Studi kasus di Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang. 17–23. <https://doi.org/10.36040/semsina.v3i1.4989>
- ASPRS. (2015). ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Badan Informasi Geospasial. (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020 tentang standar teknis ketelitian peta dasar. Cibinong: BIG.
- Devara, M. R., & Ibrahim, M. (2023). Analisis spasial sebaran permukiman terhadap kemiringan lereng di Kota Depok. 8(01), 47–56. <https://doi.org/10.29244/jsil.8.1.47-56>
- Fuad, N. A., Ismail, Z., Majid, Z., Darwin, N., Ariff, M. F. M., Idris, K. M., & Yusoff, A. R. (2018). Accuracy evaluation of digital terrain model based on different flying altitudes and conditions of terrain using UAV LiDAR technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012100>
- Gunungpati, K., Analisis, M., Sig, S., Ilfyaningrum, A., Balqis, A., & Kusumawardani, R. (2022). Analisis kerawanan longsor berdasarkan tingkat kelerengan di. 14(2), 124–129. <https://doi.org/10.30606/aptek.v14i2.1338>
- Hamur, P. K., Tjahjadi, M. E., & M, A. Y. (2014). Kajian pengolahan data foto udara menggunakan perangkat lunak Agisoft Photoscan dan Pix4D Mapper: Studi kasus: Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang.
- James, M. R., Robson, S., & Smith, M. W. (2019). Accuracy assessment of structure-from-motion photogrammetry for topographic mapping. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(10), 2085–2097.
- Latifa, D. P., Nurtyawan, R., Nuha, M. U., & Eng, M. (2021). Analisis perbandingan ketelitian vertikal DTM (Digital Terrain Model) dari foto udara dan LiDAR (Light Detection and Ranging) (Wilayah studi: Sungai Gelam Timur Jambi). *Original Article*, 1. <https://doi.org/10.35472/x0xx0000>
- Pinatik, N. Y., & Papilaya, F. S. (2024). Pengolahan foto udara UAV (Unmanned Aerial Vehicle) menggunakan software Agisoft Metashape. *Jurnal Perangkat Lunak*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.32520/jupel.v6i1.2838>
- Technica, G. (2025). GIS-based analysis of slope, landslide and flood hazards, and land use integrated with indigenous knowledge in Nagari Sijunjung, Indonesia. 20(2), 336–353. <https://doi.org/10.21163/GT>
- Timang, C., Koddeng, B., Kumala, Y., & Sutopo, D. (2013). Zonasi kawasan pesisir Makassar berbasis mitigasi bencana. 1(1).
- Tin, M. (2016). Analisa data foto udara untuk DEM dengan. 5(2), 2–7.
- Tjahjadi, M. E., & Djauhari, T. (2017). Modeling 3 dimensi sungai dari foto udara. *Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang*, 1–9.