



Analisis Model Pengembangan Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial Berbasis Hyper Spectral of Remote Sensing dan Analytical Hierarchy Process

Yerik Afrianto Singgalen

Fakultas Ilmu Administrasi Bisnis dan Ilmu Komunikasi, Program Studi Pariwisata, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta

Jln. Jend. Sudirman No.51, RW.4, Karet Semanggi, Kecamatan Setiabudi, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

Email: yerik.afrianto@atmajaya.ac.id

Email Penulis Korespondensi: yerik.afrianto@atmajaya.ac.id

Submitted: 21/04/2023; Accepted: 30/04/2023; Published: 30/04/2023

Abstrak—Studi tentang model pengembangan ekowisata mangrove potensial berbasis hyper spectral of remote sensing dan analytical hierarchy process dibutuhkan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kesesuaian lahan dengan karakteristik sosial-budaya dan ekonomi masyarakat lokal. Penelitian ini menghubungkan hasil pengolahan data citra satelit menggunakan pendekatan NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI dengan sistem pendukung keputusan dalam menetapkan program prioritas untuk model pengembangan Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 di kawasan mangrove potensial Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Dalam pendekatan AHP, terdapat empat kriteria yang akan dianalisis secara komprehensif, sebagai berikut: pertama, penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove (K1); kedua, pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat area pengembangan ekowisata mangrove (K2); ketiga, preservasi nilai sosial dan budaya lokal (K3); keempat, pembangunan fasilitas dan sarana-prasarana pendukung ekowisata mangrove (K4). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai rata-rata hasil kalkulasi data raster melalui pendekatan Hyper Spectral of Remote Sensing menggunakan algoritma NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI berdasarkan Zona 1, Zona 2, Zona 3 kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, mengindikasikan kondisi kerapatan kategori sedang atau cukup dan padat atau lebat, serta memiliki kelembaban atau air yang cukup pada area yang diukur. Dengan demikian, Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 dapat dioptimalkan menjadi destinasi wisata melalui konsep ekowisata mangrove berbasis komunitas. Selain itu, Berdasarkan hasil pembobotan kriteria dan sub-kriteria, normalisasi, dan kalkulasi nilai eigen, lambda maksimum, CI dan CR dalam metode AHP dapat diketahui bahwa K1 dan Zone 1 memperoleh ranking tertinggi, sekaligus menunjukkan skala prioritas dalam pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Kata Kunci: NDVI; SAVI; EVI; NDWI; AHP; Ekowisata; Mangrove

Abstract—Studies on potential mangrove ecotourism development models based on hyperspectral of remote sensing and analytical hierarchy process are needed to identify and analyze land suitability with socio-cultural and economic characteristics of local communities. This study connects the results of satellite image data processing using NDVI, SAVI, EVI, and NDWI approaches with decision support systems in setting priority programs for Zone 1, Zone 2, and Zone 3 development models in potential mangrove areas East Tobelo District, North Halmahera Regency, North Maluku Province, Indonesia. In the AHP approach, four criteria will be analyzed comprehensively, as follows: first, the arrangement and management of mangrove ecotourism areas (K1); second, training, mentoring, and community empowerment of mangrove ecotourism (K2) development areas; third, preservation of local social and cultural values (K3); fourth, the construction of facilities and infrastructure supporting mangrove ecotourism (K4). The results of this study show that the overall average value of raster data calculation results through the Hyper Spectral of Remote Sensing approach using NDVI, SAVI, EVI, and NDWI algorithms based on zone 1, zone 2, zone 3 mangrove areas of East Tobelo District, indicates medium or sufficient category density conditions and dense or dense, and has enough moisture or water in the measured area. Thus, Zone 1, Zone 2, and Zone 3 can be optimized into tourist destinations through community-based mangrove ecotourism. In addition, based on the results of the weighting of criteria and sub-criteria, normalization, and calculation of eigenvalue, lambda maximum, CI, and CR in the AHP method, it can be seen that K1 and Zone 1 obtained the highest rank, as well as showing the priority scale in the development of community-based mangrove ecotourism in East Tobelo District, North Halmahera Regency, North Maluku Province, Indonesia.

Keywords: NDVI; SAVI; EVI; NDWI; AHP; Ecotourism; Mangrove

1. PENDAHULUAN

Kajian tentang hubungan metode hyper spectral of remote sensing dengan analytical hierarchy process sangat penting dalam pengembangan ekowisata mangrove potensial di Tobelo Timur. Melalui metode hyper spectral of remote sensing, dapat dilakukan pemetaan dan identifikasi kualitas mangrove dengan akurasi yang tinggi, sehingga memudahkan dalam pengambilan keputusan terkait pengembangan ekowisata mangrove yang berkelanjutan. Selain itu, analisis hirarki proses dapat membantu dalam menentukan prioritas pengembangan ekowisata mangrove yang optimal berdasarkan kriteria dan sub-kriteria yang telah ditentukan. Dengan demikian, kajian ini dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ekowisata mangrove yang berkelanjutan di Tobelo Timur. Webliana et al. menunjukkan bahwa pengembangan ekowisata mangrove membutuhkan studi kesesuaian lahan dan analisis kondisi sosio-ekonomi masyarakat di sekitar area pengembangan, oleh sebab itu pendekatan



penginderaan jarak jauh menjadi relevan digunakan dalam memetakan kawasan pengembangan serta sistem pendukung keputusan dibutuhkan untuk menentukan program prioritas yang dibutuhkan dalam pembangunan pariwisata [1]. Disisi lain, Mawardi et al. menunjukkan bahwa strategi pengembangan ekowisata mangrove membutuhkan daya dukung yang mumpuni, partisipasi dan dukungan masyarakat lokal, serta sarana dan prasarana yang memadai [2]. Hal ini menunjukkan bahwa upaya untuk mengembangkan kawasan ekowisata mangrove secara optimal perlu didukung oleh ekosistem yang memadai, partisipasi dan dukungan sosial, serta sinergitas kepentingan para stakeholder. Dengan demikian metode hyper spectral of remote sensing dengan analytical hierarchy process dapat digunakan untuk mencapai hal tersebut.

Perkembangan kajian ekowisata menggunakan metode hyper spectral of remote sensing telah membuka peluang besar dalam pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Metode ini memungkinkan untuk mengumpulkan data spektral dengan resolusi tinggi dari suatu wilayah tertentu, yang kemudian dapat digunakan untuk analisis kualitas lingkungan seperti pemetaan lahan, vegetasi, dan air. Pemanfaatan teknologi hyper spectral of remote sensing dalam kajian ekowisata juga memungkinkan untuk identifikasi spesies dan kondisi kesehatan mangrove, dan membantu dalam pengambilan keputusan strategis dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Selain itu, kajian ini juga membuka peluang bagi penelitian tentang potensi keanekaragaman hayati yang terkait dengan ekosistem mangrove dan pemanfaatannya dalam bidang ekowisata, sehingga dapat meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat setempat. Singgalen et al. menunjukkan bahwa hyper spectral of remote sensing memberikan gambaran tentang kondisi eksisting ekosistem mangrove yang akan dijadikan lokasi pembangunan sarana dan prasarana pariwisata [3]. Adapun, Singgalen et al. menunjukkan bahwa analytical hierarchy process dapat digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dari program pengembangan ekowisata mangrove agar yang berkelanjutan [4]. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan hyper spectral of remote sensing dengan analytical hierarchy process tidak saling bertentangan melainkan saling melengkapi dalam merencanakan dan menetapkan prioritas pembangunan. Dengan demikian, hasil penginderaan jarak jauh dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan penetapan prioritas program pengembangan ekowisata mangrove.

Penggunaan metode hyper spectral of remote sensing dalam pengembangan ekowisata mangrove di Kecamatan Tobelo Timur memerlukan beberapa indeks vegetasi seperti Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI), dan Enhanced Vegetation Index (EVI). Indeks tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kesehatan dan produktivitas mangrove. Selain itu, indeks Normalized Difference Water Index (NDWI) juga diperlukan untuk mengetahui ketersediaan air pada lahan mangrove. Dalam pengembangan ekowisata mangrove, pemetaan potensial lokasi dan karakteristiknya merupakan hal yang sangat penting untuk menentukan strategi pengembangan yang tepat. Oleh karena itu, penggunaan metode hyper spectral of remote sensing dengan indeks vegetasi dan indeks ketersediaan air dapat memberikan informasi yang akurat dan membantu dalam pengambilan keputusan dalam pengembangan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur. Rahmawati et al. menunjukkan bahwa penginderaan jarak jauh terhadap kawasan mangrove menggunakan algoritma NDVI, SAVI, EVI dan NDWI dapat memberikan gambaran tentang kerapatan mangrove, kondisi area perairan sekitar mangrove, dan kerapatan vegetasi [5]. Disisi lain, Azzahra et al. menunjukkan bahwa algoritma NDVI dan Mangrove Health Index (MHI) dalam pendekatan remote sensing diperlukan untuk mengidentifikasi kondisi vegetasi mangrove berdasarkan data citra satelit yang digunakan [6]. Hal ini menunjukkan berbagai algoritma yang dapat digunakan sebagai model untuk mengidentifikasi dan menganalisis kondisi mangrove. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini akan menggunakan model NDVI, SAVI, EVI dan NDWI untuk menganalisis kawasan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Hasil interpretasi nilai indeks vegetasi berdasarkan algoritma NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI dapat digunakan sebagai sumber data untuk dilanjutkan ke tahap pengambilan keputusan melalui pendekatan analisis hirarki proses, dalam pengembangan ekowisata mangrove potensial. Analisis hirarki proses dibutuhkan untuk merekonstruksi model pengembangan ekowisata mangrove yang holistik, yang mencakup program-program konservasi lingkungan, peningkatan partisipasi masyarakat lokal, pengembangan ekonomi pariwisata, dan preservasi nilai sosial-budaya. Adyla et al. menunjukkan bahwa metode AHP digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan kriteria lokasi pengembangan wisata [7]. Disisi lain, Ramdani et al. menunjukkan bahwa kriteria dalam metode AHP yang digunakan untuk menetapkan prioritas pengembangan destinasi wisata, dapat disesuaikan dengan potensi wisata, kondisi lingkungan, dan regulasi di masing-masing daerah [8]. Hal ini menunjukkan bahwa penetapan kriteria dapat disesuaikan dengan ketersediaan sumber daya alam, partisipasi masyarakat, potensi ekonomi pariwisata, dan nilai sosial-budaya. Mempertimbangkan hal tersebut, maka penelitian ini menggunakan empat kriteria sebagai berikut : pertama, penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove; kedua, pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat area pengembangan ekowisata mangrove; ketiga, preservasi nilai sosial dan budaya lokal; keempat, pembangunan fasilitas dan sarana-prasarana pendukung ekowisata mangrove. Dengan demikian, pemberian bobot nilai berdasarkan derajat kepentingan dalam metode AHP untuk kriteria penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove ditentukan dari nilai indeks NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI pada Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 di kawasan mangrove potensial Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Perkembangan kajian ekowisata menggunakan metode Analisis Hirarki Proses (AHP) telah memungkinkan para peneliti dan praktisi untuk secara sistematis mengevaluasi berbagai faktor dan variabel yang terkait dengan

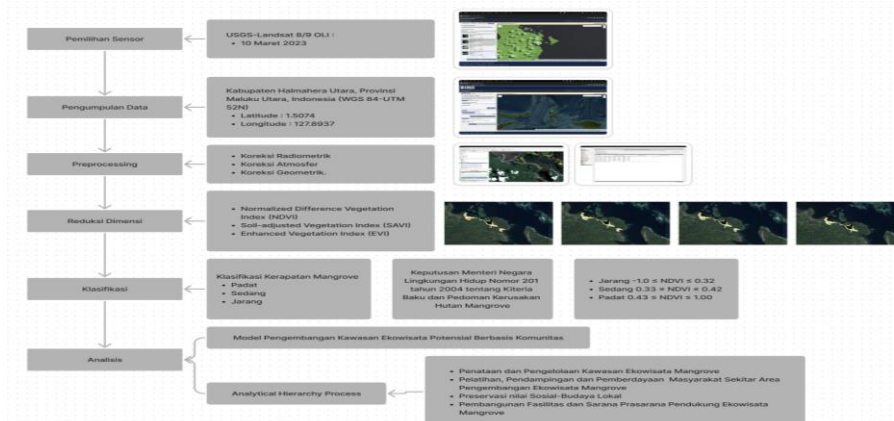
pengembangan dan pengelolaan pariwisata yang berkelanjutan. Dengan AHP, para peneliti dapat memprioritaskan faktor-faktor yang paling penting untuk keberhasilan proyek ekowisata, seperti konservasi lingkungan, partisipasi masyarakat lokal, dan keuntungan ekonomi. Selain itu, AHP juga memungkinkan untuk mengidentifikasi hubungan dan keterkaitan antara faktor-faktor tersebut, sehingga dapat membantu para praktisi dalam mengambil keputusan yang tepat dalam pengembangan ekowisata yang berkelanjutan. Widyastuti & Dwiarta mengemukakan bahwa pengembangan desa wisata perlu didukung oleh program prioritas agar dapat diketahui program-program yang relevan dengan tingkat kebutuhan yang paling tinggi tanpa mengabaikan kondisi sosial-budaya, ekonomi dan ekologi [9]. Disisi lain, Kurniawan et al. menunjukkan bahwa analisis AHP dapat digunakan dalam perancangan strategis pembangunan pariwisata dengan kriteria biaya, waktu dan sumber daya manusia. Masing-masing kriteria memiliki beberapa alternatif seperti strategi meningkatkan atraksi, aksesibilitas, amenitas, kualitas promosi dan kerjasama [10]. Hal ini menunjukkan bahwa masing-masing kawasan pengembangan pariwisata memiliki kriteria dan alternatif yang sifatnya kontekstual. Dengan demikian, masing-masing wilayah pengembangan pariwisata dapat menyesuaikan kriteria dan alternatif untuk diproses menggunakan metode AHP.

Kriteria dan alternatif dalam metode AHP sebagaimana konteks pengembangan ekowisata mangrove, tidak terlepas dari prinsip pembangunan berkelanjutan yang menekankan pada upaya perlindungan ekologi, preservasi nilai sosial dan budaya lokal, serta pemberdayaan masyarakat di bidang ekonomi. Secara spesifik AHP merupakan metode pengambilan keputusan multikriteria yang menggabungkan analisis hierarki dan penilaian berpasangan (pairwise comparison) [11], dengan tahapan sebagai berikut : mendefinisikan masalah dan menentukan tujuan pengambilan keputusan; menentukan kriteria yang relevan untuk memecahkan masalah; mengembangkan struktur hierarki yang memperlihatkan kriteria dan sub-kriteria dalam suatu hirarki; melakukan perbandingan berpasangan untuk menentukan nilai relatif (bobot) antara setiap kriteria dan sub-kriteria (bobot relatif ini didapat melalui konsistensi dan perbandingan nilai preferensi); menghitung bobot prioritas dari masing-masing kriteria dan sub-kriteria; melakukan konsistensi pemeriksaan untuk memastikan keakuratan penilaian berpasangan; membuat perhitungan dengan menggunakan bobot prioritas untuk menentukan alternatif terbaik; melakukan analisis sensitivitas untuk memperhitungkan dampak perubahan bobot pada hasil akhir. Metode AHP dapat menghasilkan hasil yang akurat dan dapat digunakan untuk membantu pengambilan keputusan. Dhamy et al. menunjukkan adanya hubungan antara metode AHP dengan Sistem Informasi Geografi (SIG) khususnya penginderaan jarak jauh yang menjadikan hasil interpretasi citra satelit sebagai kriteria dalam pengambilan keputusan. Selanjutnya, Arifia et al. menunjukkan bahwa umumnya salah satu kriteria dalam AHP berhubungan dengan kelayakan ekologi atau lingkungan yang hendak dijadikan area pengembangan pariwisata [12]. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode penginderaan jarak jauh dengan AHP merupakan pendekatan yang tepat dalam menghasilkan rekomendasi pengembangan ekowisata mangrove potensial yang kontekstual. Dengan demikian, penelitian ini akan menggunakan model NDVI, SAVI, EVI dan NDWI pada Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 menggunakan metode hyper spectral of remote sensing kemudian menggunakan metode AHP untuk menganalisis derajat kepentingan dari empat kriteria sebagai berikut : penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove; pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat area pengembangan ekowisata mangrove; preservasi nilai sosial dan budaya lokal; serta pembangunan fasilitas dan sarana-prasarana pendukung ekowisata mangrove.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Hyper Spectral of Remote Sensing Method

Penelitian ini menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografi (SIG) khususnya penginderaan jarak jauh (Remote Sensing) melalui metode Hyper Spectral of Remote Sensing yang dikombinasikan dengan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) melalui metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Adapun, tahapan dalam metode Hyper Spectral of Remote Sensing dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1. Tahapan dalam Metode Hyper Spectral of Remote Sensing

Gambar 1 merupakan setiap tahapan dalam metode Hyper Spectral of Remote Sensing yang terdiri dari tahap pemilihan sensor, pengumpulan data, preprocessing, reduksi dimensi, klasifikasi, dan analisis. Metode Hyper Spectral of Remote Sensing adalah teknik penginderaan jauh yang digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang objek atau permukaan bumi dengan mengukur spektrum elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan dari permukaan tersebut. Penelitian ini menggunakan data spektral yakni citra satelit Landsat 8/9 OLI yang diakses dari <https://earthexplorer.usgs.gov/> pada 10 Maret 2023; tahap pengumpulan data, penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 8/9 OLI berdasarkan area yang telah ditentukan yakni Kabupaten Halmahera Utara (WGS 84 UTM 52N latitude :1.5074, longitude : 127.8937); tahap praproses data, data hyperspectral yang dikumpulkan harus diproses untuk menghilangkan efek atmosfer dan distorsi radiometrik lainnya, hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan dapat diolah dan dianalisis dengan baik. Oleh sebab itu, dilakukan pre-processing data citra satelit menggunakan plugin Semi-Automatic Classification pada aplikasi QGIS 3.30.1. Selanjutnya, pada tahap pengolahan data, data hyperspectral diolah menggunakan algoritma NDVI, SAVI, EVI dan NDWI; tahap analisis data, data hyperspectral dapat dianalisis berdasarkan kriteria kerusakan hutan mangrove dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Kerusakan Hutan Mangrove; tahap interpretasi data, hasil pengolahan data melalui NDVI, SAVI, EVI dan NDWI digunakan untuk mengidentifikasi kondisi kawasan ekowisata mangrove potensial yang dapat dioptimalkan berdasarkan klasifikasi Zona 1, Zona 2, dan Zona 3; tahap pemodelan, dilakukan analisis secara komprehensif dengan menjadikan luaran penginderaan jarak jauh sebagai salah satu kriteria dalam penetapan program prioritas sebagai model pengelolaan kawasan ekowisata mangrove relevan dengan konteks sosial-budaya masyarakat lokal.

Pada tahap pemilihan sensor, data spektral yang digunakan ialah citra satelit Landsat 8/9 OLI yang diakses dari <https://earthexplorer.usgs.gov/> pada tanggal 10 Maret 2023. Selanjutnya, pada tahap pengumpulan data, band spektral yang diambil ialah Kabupaten Halmahera Utara (WGS 84 UTM 52N latitude :1.5074, longitude : 127.8937). Pada tahap pre-processing, dilakukan koreksi atmosferik, geometric, dan radiometrik pada masing-masing band yang akan digunakan dalam kalkulasi raster sesuai algoritma NDVI, SAVI, EVI dan NDWI. Selanjutnya, pada tahap klasifikasi, masing-masing band dikalkulasi sesuai dengan algoritma sebagaimana table 1 berikut.

Tabel 1. Algoritma dan Persamaan NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI

Algoritma	Persamaan
NDVI	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$
SAVI	$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L)$
EVI	$EVI = 2.5 \times ((NIR - Red) / ((NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue) + L))$
NDWI	$NDWI = (Band\ Green - Band\ NIR) / (Band\ Green + Band\ NIR)$

Tabel 1 merupakan algoritma dan persamaan NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI yang digunakan dalam reduksi dimensi sesuai dengan kawasan mangrove yang akan dianalisis. Algoritma NDVI mengukur kandungan klorofil dalam tanaman [13]. Rumus NDVI dinyatakan sebagai perbedaan antara nilai reflektansi inframerah jauh (NIR) dan nilai reflektansi cahaya merah (Red) yang dibagi dengan jumlah keduanya. NDVI dapat dihitung dengan rumus: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$. Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan keberadaan vegetasi yang sehat dan nilai negatif menunjukkan keberadaan permukaan yang non-vegetasi. Selanjutnya, algoritma SAVI mengkompensasi efek latar belakang tanah atau pengaruh cahaya latar belakang pada citra, sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dalam mengevaluasi keberadaan vegetasi [14]. Rumus SAVI dinyatakan sebagai perbedaan antara nilai reflektansi NIR dan Red yang dikalikan dengan suatu faktor $(1 + L)$, dibagi dengan jumlah keduanya dan faktor L adalah sebuah konstanta yang bervariasi tergantung pada jenis tanah dan vegetasi di area tersebut [15]. SAVI dapat dihitung dengan rumus: $SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] \times (1 + L)$. Nilai SAVI berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan keberadaan vegetasi yang sehat dan nilai negatif menunjukkan keberadaan permukaan yang non-vegetasi [16]. Adapun, algoritma EVI digunakan untuk mengevaluasi kesehatan dan pertumbuhan vegetasi dengan memperhitungkan pengaruh atmosfer dan adanya kemungkinan saturasi dalam nilai NDVI. Rumus EVI dinyatakan sebagai perbedaan antara nilai reflektansi NIR dan Red, yang dikalikan dengan suatu faktor $(1 + c1 \times NIR - Red - c2 \times Blue) / (NIR + Red + c3)$, di mana $c1$, $c2$, dan $c3$ adalah konstanta yang bervariasi tergantung pada jenis citra satelit yang digunakan (Penelitian ini menggunakan Landsat 8/9 OLI) dimana EVI dapat dihitung dengan rumus: $EVI = (NIR - Red) / (NIR + (c1 \times Red) - (c2 \times Blue) + c3)$. Nilai EVI berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan keberadaan vegetasi yang sehat dan nilai negatif menunjukkan keberadaan permukaan yang non-vegetasi [17]. Dengan demikian dapat diketahui bahwa NDVI, SAVI dan EVI memiliki beberapa persamaan dalam hal indentifikasi kondisi vegetasi yang disesuaikan dengan area (kondisi tanah).

Pada tahap klasifikasi, masing-masing algoritma dapat memberikan makna yang berbeda namun berhubungan satu dengan yang lain. Berdasarkan klasifikasi NDVI, SAVI, EVI interpretasi status sangat rendah apabila nilai yang diperoleh berada di bawah 0,1 yang menunjukkan bahwa area tersebut tergolong non-vegetasi, seperti permukaan air, batuan, dan pasir. Selanjutnya, status rendah apabila nilai yang diperoleh berada di antara 0,1 hingga 0,2 yang menunjukkan bahwa area tersebut yang sangat minim vegetasi, seperti tanah kering atau gurun.



Status sedang apabila nilai yang diperoleh berada di antara 0,2 hingga 0,4 yang menunjukkan area yang memiliki vegetasi yang cukup, seperti perkebunan atau hutan yang tidak terlalu lebat. Status tinggi apabila nilai yang diperoleh berada di antara 0,4 hingga 0,6 yang menunjukkan area tersebut memiliki vegetasi yang lebat, seperti hutan atau lahan pertanian yang subur. Adapun, status sangat tinggi apabila nilai yang diperoleh berada di atas 0,6 dengan indikasi bahwa area tersebut memiliki vegetasi yang sangat lebat, seperti hutan hujan tropis atau lahan pertanian yang sangat subur. Klasifikasi nilai NDVI, SAVI, dan EVI dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan vegetasi dan untuk memonitor kondisi lingkungan, seperti perubahan pola tutupan lahan, keberadaan kebakaran hutan, atau perubahan iklim.

Berbeda dengan NDVI, SAVI dan EVI yang menekankan pada vegetasi, NDWI fokus pada indeks air dengan pertimbangan bahwa mangrove yang bertumbuh wilayah pesisir. Berdasarkan rumus $NDWI = (Band\ Green - Band\ NIR) / (Band\ Green + Band\ NIR)$ dalam citra Landsat 8/9 OLI dapat diinterpretasikan berdasarkan nilai numerik yang berkisar dari -1 hingga 1. Nilai negatif menunjukkan adanya kemungkinan permukaan yang tidak mencerminkan air, seperti tanah atau vegetasi yang kering, sedangkan nilai positif menunjukkan adanya kemungkinan air. Agar dapat membaca hasil NDWI secara tepat, perlu dipertimbangkan beberapa faktor, seperti kondisi lapangan dan objek yang diamati. Nilai NDWI yang tinggi kemungkinan menunjukkan adanya air, namun dalam beberapa kasus, nilai NDWI yang tinggi dapat menunjukkan adanya tanaman yang tumbuh subur dan sehat. Selain itu, terdapat kemungkinan nilai NDWI yang rendah menunjukkan kekeringan atau kekurangan air pada tanaman. Oleh karena itu, interpretasi hasil NDWI harus dilakukan dengan cermat dan dipertimbangkan dengan kondisi lapangan secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa masing-masing algoritma akan menggambarkan kondisi eksisting di setiap zona, berdasarkan studi di kawasan potensial ekowisata mangrove Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

2.2 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah sebuah teknik pemilihan keputusan yang digunakan untuk memilih satu alternatif dari beberapa alternatif yang tersedia berdasarkan beberapa kriteria [11]. Lebih jauh, Satty mendeskripsikan tahapan dalam metode AHP, sebagai berikut : tahap pertama adalah menentukan tujuan yang ingin dicapai dan kriteria-kriteria yang akan digunakan untuk memilih alternatif yang terbaik. Tujuan dan kriteria ini harus jelas dan terukur agar dapat diolah dengan baik; tahap kedua adalah membuat hierarki kriteria dengan menentukan hubungan antara tujuan utama, kriteria dan sub-kriteria. Hierarki ini akan memudahkan untuk melakukan perbandingan dan pemilihan alternatif; memberikan bobot pada kriteria: Tahap ketiga adalah memberikan bobot pada setiap kriteria dalam hierarki. Bobot ini akan menunjukkan pentingnya kriteria dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Bobot dapat diberikan secara subyektif oleh pengambil keputusan atau dengan menggunakan data terukur; membuat matriks perbandingan berpasangan: Tahap keempat adalah membuat matriks perbandingan berpasangan antara setiap pasangan kriteria dalam hierarki. Setiap kriteria akan dibandingkan dengan kriteria lainnya menggunakan skala 1-9, di mana 1 menunjukkan bahwa kriteria tersebut sama pentingnya dengan kriteria lainnya, dan 9 menunjukkan bahwa kriteria tersebut jauh lebih penting dari kriteria lainnya; menghitung prioritas relatif: Tahap kelima adalah menghitung prioritas relatif untuk setiap kriteria dalam hierarki. Prioritas relatif ini dihitung dengan mengalikan bobot kriteria dengan nilai rata-rata dari matriks perbandingan berpasangan; menyelesaikan konsistensi matriks perbandingan berpasangan: Tahap keenam adalah menyelesaikan konsistensi matriks perbandingan berpasangan dengan menggunakan metode konsistensi AHP, yaitu dengan menghitung nilai konsistensi matriks menggunakan indeks konsistensi (CI) dan rasio konsistensi (CR); memilih alternatif terbaik: Tahap terakhir adalah memilih alternatif terbaik dengan menggunakan prioritas relatif dari setiap kriteria dalam hierarki dan nilai alternatif yang telah dibandingkan dalam matriks perbandingan berpasangan. Alternatif dengan nilai prioritas terbesar adalah alternatif terbaik.

Tabel 2. Menghitung Prioritas Relatif, Concistency Index (CI) dan Consistency Ratio (CR)

Tahapan Perhitungan AHP	Persamaan
Prioritas Relatif	$PRI = \text{bobot} \times \text{nilai rata-rata}$
Consistency index (CI)	$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$
Consistency ratio (CR)	$CR = CI / RI$

Tabel 2 merupakan tahapan perhitungan Prioritas Relatif, Concistency Index (CI) dan Consistency Ratio (CR) dengan keterangan λ_{max} adalah eigenvalue maksimum dari matriks perbandingan berpasangan, n adalah jumlah kriteria, dan RI adalah nilai acuan yang tergantung pada ukuran matriks perbandingan berpasangan. Dalam konteks penelitian ini, untuk menemukan model pengembangan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur, AHP digunakan dengan membagi proses pengambilan keputusan menjadi beberapa tahap. Tahap pertama dalam AHP adalah menetapkan tujuan utama dari analisis, yaitu menemukan model pengembangan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur. Tujuan ini kemudian dibagi menjadi empat kriteria sebagai berikut : penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove; pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat sekitar area pengembangan ekowisata mangrove; preservasi nilai sosial-budaya lokal; dan pembangunan fasilitas dan sarana prasarana pendukung ekowisata mangrove. Tahap kedua dalam AHP adalah menentukan bobot relatif untuk setiap kriteria. Bobot ini menunjukkan seberapa penting setiap kriteria dalam



mencapai tujuan utama. Proses ini melibatkan pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang relevan dan menggabungkan preferensi individu atau kelompok. Tahap ketiga dalam AHP ialah mengevaluasi setiap alternatif dengan menghitung skor untuk setiap kriteria berdasarkan bobot relatif yang telah ditetapkan. Beberapa alternatif yang mungkin termasuk dalam pengembangan ekowisata mangrove di Kecamatan Tobelo Timur dapat dievaluasi dan dibandingkan berdasarkan skor kriteria yang telah ditetapkan. Tahap keempat dalam AHP adalah memilih alternatif yang paling sesuai berdasarkan hasil evaluasi pada tahap sebelumnya. Setelah mengevaluasi beberapa alternatif, dapat dipilih model pengembangan ekowisata mangrove potensial yang paling cocok dengan kebutuhan dan prioritas di Kecamatan Tobelo Timur. Dengan menggunakan AHP, pengambilan keputusan menjadi lebih sistematis dan obyektif berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model pengembangan ekowisata mangrove potensial direkonstruksi berdasarkan konteks ekologi, ekonomi, dan sosial-budaya masyarakat lokal. Langkoke & Nur mengemukakan bahwa model pengembangan kawasan ekowisata perlu didukung sistem pengambilan keputusan yang mempertimbangkan berbagai risiko ekologi, selain manfaat sosial dan keuntungan ekonomi [18]. Disisi lain, Dhiniati & Dinata menunjukkan bahwa hasil pemetaan dalam bentuk data spasial atau interpretasi citra satelit di suatu wilayah perlu diproses ke tahap selanjutnya penetapan kriteria atau indikator dalam pengambilan keputusan untuk menentukan program pengembangan yang sesuai dengan kondisi ekologi [19]. Hal ini menunjukkan bahwa hasil interpretasi dan analisis data spectral dari citra satelit Landsat 8/9 OLI dalam pendekatan Sistem Informasi Geografis dapat dijadikan sebagai rujukan untuk penetapan kriteria atau indikator dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian dapat diketahui bahwa hasil kalkulasi data raster menggunakan algoritma NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI dapat digunakan sebagai salah satu kriteria atau indikator dalam proses penetapan program prioritas menggunakan metode AHP.

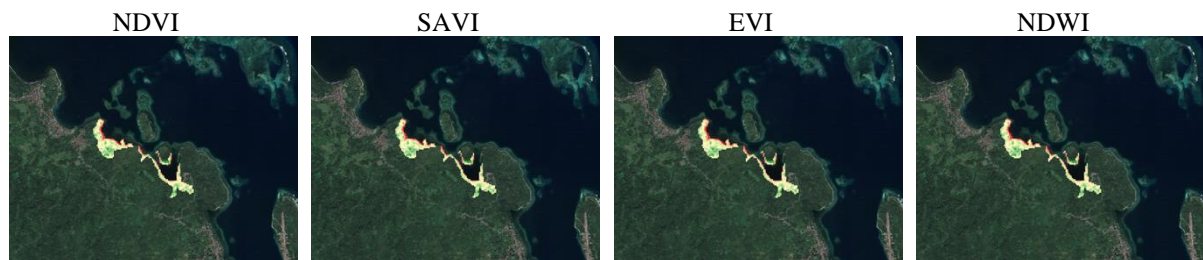
Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa nilai NDVI, SAVI dan EVI di masing-masing zona pada kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur dengan nilai yang diperoleh antara 0,2 hingga 0,4 yang menunjukkan area yang memiliki vegetasi cukup. Adapun, beberapa zona mangrove dengan nilai yang diperoleh berada di antara 0,4 hingga 0,6 yang menunjukkan area tersebut memiliki vegetasi yang lebat. Sementara itu, nilai rata-rata NDWI ialah 0,2 dan 0,3 yang menunjukkan bahwa ada kelembaban atau air yang cukup dalam area yang diukur. Berdasarkan hasil pengolahan data, dapat diketahui bahwa kalkulasi nilai NDVI pada zona 1 menunjukkan nilai rata-rata 0.38, sedangkan hasil kalkulasi nilai rata-rata SAVI ialah 0.56, hasil kalkulasi nilai rata-rata EVI ialah 0.50, dan hasil kalkulasi nilai rata-rata NDWI ialah 0.31. Sementara itu, pada zona 2 nilai rata-rata NDVI ialah 0.35, nilai rata-rata SAVI ialah 0.58, nilai rata-rata EVI ialah 0.48, dan nilai rata-rata NDWI ialah 0.29. Pada zona 3, nilai rata-rata NDVI yang diperoleh ialah 0.35, nilai rata-rata SAVI yang diperoleh ialah 0.53, nilai rata-rata EVI yang diperoleh ialah 0.46, dan nilai rata-rata NDWI ialah 0.29 Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan, kondisi eksisting kawasan mangrove di Tobelo Timur berada dalam kondisi kerapatan kategori cukup atau sedang dan lebat serta memiliki kelembaban atau air yang cukup di masing-masing zona. Pada table 2, dapat dilihat algoritma, persamaan, zona dan nilai rata-rata hasil perhitungan NDVI, SAVI dan EVI di kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Tabel 3. Algoritma, Persamaan, Zona dan Nilai Rata-Rata Hasil Perhitungan

Algoritma	Persamaan	Zona	Rata-Rata
NDVI	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	1	0.38
		2	0.35
		3	0.35
SAVI	$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L)$	1	0.56
		2	0.58
		3	0.53
EVI	$EVI = 2.5 \times ((NIR - Red) / ((NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue) + L))$	1	0.50
		2	0.48
		3	0.46
NDWI	$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$	1	0.31
		2	0.29
		3	0.29

Tabel 3 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai rata-rata hasil perhitungan NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI berdasarkan zona 1, zona 2, zona 3 kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, mengindikasikan kondisi kerapatan kategori sedang atau cukup dan padat atau lebat, serta memiliki kelembaban atau air yang cukup pada area yang diukur. Berdasarkan hasil kalkulasi data raster menggunakan algoritma NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI dapat diketahui bahwa kawasan mangrove yang telah diklasifikasikan menjadi Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 dapat dioptimalkan menjadi destinasi wisata melalui konsep ekowisata mangrove berbasis komunitas. Fitrihidajati et al. menunjukkan bahwa model pengembangan ekowisata mangrove lebih menekankan pada unsur ekologi dan

edukasi dibandingkan dengan manfaat sosial dan ekonomi [20]. Disisi lain, Rizky mengemukakan bahwa model ekowisata mangrove dapat berkelanjutan apabila masyarakat lokal terlibat sebagai pelaku wisata sekaligus penjaga kelestarian lingkungan mangrove [21]. Adapun, Harto et al., menunjukkan bahwa model pengembangan ekowisata mangrove juga membutuhkan dukungan dan partisipasi masyarakat dalam merencanakan, melaksanakan, dan mengevaluasi program pengembangan destinasi wisata secara berkala dan berkelanjutan [22]. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi eksisting kawasan mangrove di Zona 1, Zona 2 dan Zona 3 perlu dikelola secara optimal oleh pemerintah dan masyarakat lokal sehingga berkelanjutan. Berikut ini ialah visualisasi hasil kalkulasi algoritma NDVI, SAVI, EVI dan NDWI pada Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.



Gambar 2. Visualisasi Hasil Kalkulasi NDVI, SAVI, dan EVI di Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial

Gambar 2 merupakan gambaran tentang kondisi vegetasi mangrove di kawasan ekowisata mangrove potensial Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Lokasi yang strategis, terletak di pesisir serta memiliki akses menuju pulau-pulau kecil sekaligus area terumbu karang yang beragam dan menarik. Marabessy et al. menunjukkan bahwa hasil penentuan indeks kesesuaian dapat dikembangkan menjadi model pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas [23]. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan partisipatif dalam pengembangan kawasan ekowisata mangrove menjadi strategi pembangunan yang efektif dan efisien. Dalam konteks penelitian ini, upaya meningkatkan partisipasi masyarakat pesisir dalam program pengembangan ekowisata mangrove di Kecamatan Tobelo Timur dilakukan melalui beberapa langkah. Pertama, dilakukan sosialisasi kepada masyarakat pesisir mengenai manfaat ekowisata mangrove bagi kesejahteraan mereka dan lingkungan sekitar. Kedua, diberikan pelatihan dan pembinaan kepada masyarakat mengenai teknik pengelolaan ekowisata mangrove yang berkelanjutan. Ketiga, melibatkan masyarakat secara langsung dalam pengelolaan dan pemasaran produk ekowisata mangrove. Dengan demikian, partisipasi masyarakat pesisir dalam program pengembangan ekowisata mangrove di Kecamatan Tobelo Timur dapat terus meningkat dan berdampak positif bagi kesejahteraan masyarakat dan lingkungan sekitar.

Meningkatnya partisipasi dan dukungan masyarakat terhadap program pengembangan ekowisata mangrove juga menjadi strategi preservasi nilai sosial-budaya masyarakat setempat. Harjanto et al. mengemukakan bahwa pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas tidak hanya memberikan kemudahan perlindungan ekosistem mangrove menggunakan pendekatan partisipatif, melainkan juga menjaga keberlanjutan nilai-nilai sosial-budaya masyarakat lokal [24]. Disisi lain, Valentina & Qulubi mengemukakan bahwa keterlibatan masyarakat lokal dalam pengembangan ekowisata mangrove juga meningkatkan pengetahuan dan keterampilan di bidang pengelolaan kawasan mangrove yang mendorong kemandirian dan keberlanjutan destinasi wisata [25]. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan partisipatif dalam model pengembangan ekowisata mangrove berimplikasi pada strategi preservasi nilai sosial-budaya masyarakat yang tinggal di sekitar area pengembangan. Berdasarkan konteks penelitian ini, strategi preservasi nilai sosial-budaya masyarakat di Kecamatan Tobelo Timur dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut : pertama, dilakukan dokumentasi dan inventarisasi budaya lokal untuk memahami nilai-nilai yang dimiliki oleh masyarakat; kedua, melakukan pelatihan dan pembinaan kepada masyarakat mengenai pentingnya menjaga dan melestarikan nilai sosial-budaya lokal; ketiga, membangun kerja sama antara pemerintah dan masyarakat dalam pengelolaan dan pelestarian budaya lokal. Dengan demikian, nilai sosial-budaya yang dimiliki oleh masyarakat Tobelo Timur dapat dipertahankan dan menjadi bagian dari identitas lokal yang dapat memberikan keuntungan ekonomi dan sosial secara berkelanjutan.

Pembangunan fasilitas dan sarana prasarana pendukung ekowisata mangrove berbasis komunitas dapat diselenggarakan ketika unsur ekologi dan edukasi terejawantahkan dalam program penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove, adanya dukungan dan partisipasi masyarakat dalam program pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat sekitar area pengembangan ekowisata mangrove, serta adanya komitmen bersama untuk aksi preservasi nilai sosial-budaya lokal. Humairah et al. menekankan bahwa pembangunan fasilitas pendukung ekowisata mangrove seyogianya tepat guna sesuai dengan kebutuhan pengelola dan pengunjung [26]. Kasman et al. menunjukkan bahwa kemudahan akses antarzona pengembangan ekowisata mangrove perlu didukung oleh fasilitas yang memadai agar memudahkan proses rehabilitasi, restorasi dan konservasi kawasan mangrove yang mengalami kerusakan [27]. Hal ini menunjukkan bahwa fasilitas pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas menekankan pada kemudahan aksesibilitas dan ketersediaan akomodasi dan amenities. Mempertimbangkan hal tersebut, maka fasilitas-fasilitas yang direkomendasikan dalam pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Tobelo Timur



ialah sebagai berikut : pertama, fasilitas transportasi yang memadai untuk memudahkan akses ke lokasi wisata mangrove maupun akses antar zona; kedua, fasilitas akomodasi seperti homestay, penginapan, dan tenda camping bagi wisatawan yang ingin menginap di sekitar lokasi wisata mangrove; ketiga, sarana dan prasarana yang memadai untuk mendukung aktivitas wisata seperti jalur trekking, spot observasi, dan sarana pendukung lainnya; keempat, fasilitas pendukung seperti tempat makan, toilet, dan tempat sampah yang bersih dan nyaman bagi pengunjung. Dengan tersedianya fasilitas-fasilitas yang memadai, diharapkan pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Tobelo Timur dapat memberikan manfaat ekologi, ekonomi dan sosial bagi masyarakat.

Berdasarkan hasil kalkulasi data raster dan analisis model pengembangan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur, dapat direkomendasikan sejumlah kriteria yang penting untuk diakomodir dalam proses penetapan program prioritas menggunakan metode AHP, sebagai berikut : pertama, penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove (K1); kedua, pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat sekitar area pengembangan ekowisata mangrove (K2); ketiga, preservasi nilai sosial-budaya lokal (K3); keempat, pembangunan fasilitas dan sarana prasarana pendukung ekowisata mangrove (K4). Masing-masing kriteria akan diberikan skala berdasarkan penilaian sebagai berikut : nilai 1, kedua elemen memiliki tingkat kepentingan yang sama; nilai 2-3, elemen yang satu sedikit lebih penting daripada yang lainnya; nilai 4-5, elemen yang satu moderat lebih penting daripada yang lainnya; nilai 6-7, elemen yang satu sangat lebih penting daripada yang lainnya; nilai 8-9, elemen yang satu sangat-sangat lebih penting daripada yang lainnya. Nilai ini kemudian digunakan untuk menentukan bobot relatif dari setiap kriteria dan sub-kriteria, sehingga dapat digunakan dalam proses perankingan alternatif dan pengambilan keputusan. Tabel 4 merupakan hasil pemberian bobot berdasarkan derajat kepentingan masing-masing kriteria.

Tabel 4. Bobot Nilai Masing-Masing Kriteria

Kriteria	K1	K2	K3	K4	Eigen Value	λ maks	CI	CR
K1	1,00	0,49	2,00	0,52	3,00	0,38	5,00	0,53
K2	0,50	0,25	1,00	0,26	2,00	0,25	3,00	0,32
K3	0,33	0,16	0,50	0,13	1,00	0,13	0,50	0,05
K4	0,20	0,10	0,33	0,09	2,00	0,25	1,00	0,11
Jumlah	2,03	1,00	3,83	1,00	8,00	1,00	9,50	1,00

Tabel 4 merupakan pemberian bobot nilai masing-masing kriteria serta hasil normalisasi dari proses pemberian bobot nilai, eigen value, λ maks, CI dan CR. Secara spesifik, dapat diketahui bahwa K1 sedikit lebih penting dari K2 dan K3, serta K1 moderat lebih penting dari K4. Selanjutnya, K2 sedikit lebih penting dari K3 dan K4. Hal ini menunjukkan bahwa unsur edukasi tentang ekosistem mangrove serta dukungan dan partisipasi masyarakat berperan sangat penting dalam model pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas. Sementara itu, preservasi nilai sosial-budaya dan pembangunan infrastruktur akan menunjukkan dampak yang signifikan apabila unsur edukasi tentang ekosistem mangrove, serta dukungan dan partisipasi masyarakat telah terpenuhi. Tujuan dari nilai eigen AHP adalah untuk menentukan bobot relatif dari setiap kriteria dan sub-kriteria yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan. Nilai eigen diperoleh dengan melakukan perhitungan pada matriks perbandingan berpasangan kriteria menggunakan metode eigenvalue decomposition atau metode eigenvector. Nilai eigen ini menunjukkan tingkat konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan kriteria, dimana semakin besar nilai eigen, maka semakin konsisten pula matriks perbandingan berpasangan kriteria tersebut. Dengan mengetahui nilai eigen AHP, maka dapat dihitung bobot relatif dari setiap kriteria dan sub-kriteria, sehingga dapat digunakan dalam proses perankingan alternatif dan pengambilan keputusan yang lebih objektif dan konsisten. Pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8 dapat diketahui hasil kalkulasi bobot relatif setiap kriteria dan sub-kriteria, nilai eigen, λ maks, CI dan CR, sementara itu pada Tabel 9 merupakan hasil perankingan kriteria dan sub-kriteria berdasarkan derajat kepentingan.

Tabel 5. Nilai Eigen, λ maks, CI dan CR Kriteria K1

K1	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Eigen Value	λ maks	CI	CR
Zone 1	1,00	0,74	5,00	0,79	7,00	0,64	0,7235
Zone 2	0,20	0,15	1,00	0,16	3,00	0,27	0,1932
Zone 3	0,14	0,11	0,33	0,05	1,00	0,09	0,0833
Jumlah	1,34	1,00	6,33	1,00	11,00	1,00	1,0000

Tabel 6. Nilai Eigen, λ maks, CI dan CR Kriteria K2

K2	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Eigen Value	λ maks	CI	CR
Zone 1	1,00	0,60	3,00	0,67	3,00	0,50	0,5889
Zone 2	0,33	0,20	1,00	0,22	2,00	0,33	0,2519
Zone 3	0,33	0,20	0,50	0,11	1,00	0,17	0,1593
Jumlah	1,67	1,00	4,50	1,00	6,00	1,00	1,0000

Tabel 7. Nilai Eigen, λ maks, CI dan CR Kriteria K3

K3	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Eigen Value	λ maks	CI	CR
Zone 1	1,00	0,50	2,00	0,57	2,00	0,40	0,4905	3,061	0,030	0,0523
Zone 2	0,50	0,25	1,00	0,29	2,00	0,40	0,3119			
Zone 3	0,50	0,25	0,50	0,14	1,00	0,20	0,1976			
Jumlah	2,00	1,00	3,50	1,00	5,00	1,00	1,0000			

Tabel 8. Nilai Eigen, λ maks, CI dan CR Kriteria K3

K4	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Eigen Value	λ maks	CI	CR
Zone 1	1,00	0,55	2,00	0,60	3,00	0,43	0,5247	3,065	0,033	0,0564
Zone 2	0,50	0,27	1,00	0,30	3,00	0,43	0,3338			
Zone 3	0,33	0,18	0,33	0,10	1,00	0,14	0,1416			
Jumlah	1,83	1,00	3,33	1,00	7,00	1,00	1,0000			

Tabel 9. Hasil Perankingan Kriteria dan Sub-Kriteria

Kriteria dan Sub-Kriteria	K1	K2	K3	K4	Rata-Rata	Bobot	Ranking
Zone 1	0,7235	0,5889	0,4905	0,5247	0,5819	0,63304	1
Zone 2	0,1932	0,2519	0,3119	0,3338	0,2727	0,24192	2
Zone 3	0,0833	0,1593	0,1976	0,1416	0,1454	0,12503	3
Jumlah	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	

Tabel 9 merupakan hasil perankingan kriteria dan sub-kriteria berdasarkan derajat kepentingan. Berdasarkan hasil pembobotan kriteria dan sub-kriteria, normalisasi, dan kalkulasi nilai eigen, λ maks, CI dan CR dapat diketahui bahwa K1 dan Zone 1 memperoleh ranking tertinggi, sekaligus menunjukkan skala prioritas dalam pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa model pengembangan ekowisata mangrove potensial dapat dimulai dari Zona 1 yang dekat dengan permukiman penduduk Desa Yaro, Kecamatan Tobelo Timur. Rekomendasi program pengembangan ekowisata mangrove di Desa Yaro dapat dimulai dengan melibatkan masyarakat lokal. Masyarakat Desa Yaro harus diberikan pelatihan dan pengetahuan tentang cara menjaga keberlangsungan mangrove dan mengelola wisata yang ramah lingkungan. Selain itu, masyarakat Desa Yaro juga dapat dilibatkan dalam pengambilan keputusan tentang pengelolaan mangrove dan pengembangan ekowisata. Selanjutnya, promosi wisata yang ramah lingkungan dan bertanggung jawab harus menjadi fokus dalam pengembangan ekowisata mangrove. Wisatawan harus diinformasikan tentang pentingnya menjaga keberlangsungan lingkungan dan bagaimana tindakan wisatawan dapat membantu dalam pemeliharaan mangrove. Pihak pengelola wisata juga dapat mempertimbangkan penggunaan energi terbarukan, seperti panel surya dan pengelolaan limbah yang efektif. Berikutnya, program pengembangan ekowisata mangrove harus menerapkan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan mangrove. Teknologi seperti penggunaan energi terbarukan dan pengelolaan limbah yang efektif dapat membantu menjaga keberlangsungan lingkungan dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, program pengembangan ekowisata mangrove harus memperhatikan kesejahteraan ekonomi masyarakat Desa Yaro. Pihak pengelola wisata dapat memberikan pelatihan keterampilan dan insentif bagi masyarakat setempat untuk mengelola mangrove yang berkelanjutan. Hal ini akan membantu meningkatkan penghasilan dan kesejahteraan masyarakat setempat, sehingga mereka dapat lebih peduli terhadap keberlangsungan lingkungan dan ekowisata mangrove.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghubungkan hasil pengolahan data citra satelit menggunakan pendekatan NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI dengan sistem pendukung keputusan dalam menetapkan program prioritas untuk model pengembangan Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 di kawasan mangrove potensial Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai rata-rata hasil kalkulasi data raster melalui pendekatan Hyper Spectral of Remote Sensing menggunakan algoritma NDVI, SAVI, EVI, dan NDWI berdasarkan zona 1, zona 2, zona 3 kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, mengindikasikan kondisi kerapatan kategori sedang atau cukup dan padat atau lebat, serta memiliki kelembaban atau air yang cukup pada area yang diukur. Dengan demikian, Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 dapat dioptimalkan menjadi destinasi wisata melalui konsep ekowisata mangrove berbasis komunitas. Selanjutnya, hasil penginderaan jarak jauh ditetapkan sebagai kriteria dalam pengambilan keputusan menggunakan metode AHP. Terdapat empat kriteria dalam perhitungan sesuai metode AHP, sebagai berikut : pertama, penataan dan pengelolaan kawasan ekowisata mangrove (K1); kedua, pelatihan, pendampingan dan pemberdayaan masyarakat area pengembangan ekowisata mangrove (K2); ketiga, preservasi nilai sosial dan budaya lokal (K3); keempat, pembangunan fasilitas dan sarana-prasarana pendukung ekowisata mangrove (K4). Berdasarkan hasil pembobotan kriteria dan sub-



kriteria, normalisasi, dan kalkulasi nilai eigen, lambda maksimum, CI dan CR dalam metode AHP dapat diketahui bahwa K1 dan Zone 1 memperoleh ranking tertinggi, sekaligus menunjukkan skala prioritas dalam pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Fakultas Ilmu Administrasi Bisnis dan Ilmu Komunikasi (FIABIKOM), Fakultas Teknik (FT), Program Studi Pariwisata, Program Studi Sistem Informasi. Terima kasih kepada seluruh pihak yang mendukung penelitian ini, hingga proses publikasi ilmiah.

REFERENCES

- [1] K. B. Webliana, H. Anwar, I. M. L. Aji, D. P. Sari, and N. K. M. Sari, "Analisis Kesesuaian Lahan Ekowisata Mangrove Tanjung Batu , Desa Sekotong Tengah," *J. For. Sci. Avicennia*, vol. 6, no. 1, pp. 65–77, 2023, doi: 10.22219/avicennia.v6i1.
- [2] I. Mawardi, A. N. Imran, and M. Djafar, "Strategi Pengembangan Ekowisata Mangrove di Desa Borimasunggu Kecamatan Maros Baru Kabupaten Maros," *J. Eboni*, vol. 4, no. 2, pp. 51–56, 2020.
- [3] Y. A. Singgalen and D. Manongga, "Monitoring of Mangrove Ecotourism Area using NDVI, NDWI, and CMRI in Dodola Island, Morotai Island Regency, Indonesia," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 14, no. 1, pp. 95–108, 2022.
- [4] Y. A. Singgalen, "Priority Analysis of Mangrove Guraping Ecotourism Development Based on Spatial Data Using Process Hierarchy Analysis," *J. Inf. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2022.
- [5] A. D. Rahmawati, N. Sa, A. H. Gustawan, Y. Setiawan, P. Zamani, and R. Pramulya, "Mapping mangrove forest distribution on Banten , Jakarta , and West Java Ecotone Zone from Sentinel-2-derived indices using cloud computing based Random Forest," *J. Nat. Resour. Environ. Manag.*, vol. 12, no. 1, pp. 97–111, 2021.
- [6] P. R. Azzahra, E. Sumarga, and A. Sholihah, "Analisis Kesehatan Mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk , Jakarta Utara," *J. Ilmu Teknol. Kayu Trop.*, vol. 20, no. 1, pp. 40–51, 2022.
- [7] N. S. Adyla, Agusfartham, and A. Mulawarman, "Penggunaan AHP dalam Menentukan Tingkat Kepentingan Kriteria Lokasi Potensial Pengembangan Wisata Pantai di Kabupaten Majene," *BANDAR J. Civ. Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 21–28, 2022.
- [8] M. Ramadani and R. Masniadi, "Strategi Pengembangan Wisata Pra-Sejarah (Studi Pada Situs Sarcophagus di Desa Batu Tering)," *Nusant. J. Econ.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [9] A. A. S. A. Widyastuty and I. M. B. Dwiarta, "Perencanaan dan Pengembangan Desa Wisata Kaba-Kaba Berbasis Kearifan Lokal," *J. Kawistara*, vol. 11, no. 1, pp. 87–101, 2021.
- [10] I. Kurniawan, F. Prima, and Y. E. Prawatya, "Usulan Strategi Pengembangan Wisata Danau Hoce dengan Metode Analisis SWOT dan Analytical Hierarchy Process (AHP)," *Integr. Ind. Eng. Manag. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–43, 2023.
- [11] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *J. Serv. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008, doi: 10.1016/0305-0483(87)90016-8.
- [12] D. Arifia, F. Rahmafritria, and G. R. Nurazizah, "Kesesuaian Lahan untuk Wisata Alam di Kecamatan Rancabali, Kabupaten Bandung," *Media Komun. Geogr.*, vol. 23, no. 1, pp. 93–110, 2022.
- [13] T. Hariyanto, C. B. Pribadi, and I. S. Atsilah, "Analisis Hasil Identifikasi Persebaran Mangrove Berdasarkan Algoritma Normalized Difference Vegetation Index dan Mangrove Vegetation Index Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 (Studi Kasus : Taman Nasional Alas Purwo) Pendahuluan Mangrove merupakan vege," *J. Geod. Geomatics*, vol. 18, no. 2, pp. 285–292, 2023.
- [14] P. R. Azzahra, E. Sumarga, and A. Sholihah, "Analisis Kesehatan Mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, Jakarta Utara," *J. Ilmu dan Teknol. Kayu Trop.*, vol. 20, no. 1, pp. 40–51, 2022, doi: 10.51850/jitkt.v20i1.571.
- [15] N. Simartama et al., "Analisis Transformasi Indeks NDVI, NDWI dan SAVI untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Mangrove Menggunakan Sentinel di Pesisir Timur Provinsi Lampung," *J. Geogr.*, vol. 19, no. 2, pp. 69–79, 2021, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/345774591_JURNAL_GEOGRAFI
- [16] N. Simarmata et al., "Analisis Transformasi Indeks NDVI, NDWI dan SAVI untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel di Pesisir Timur Provinsi Lampung," *J. Geogr.*, vol. 19, no. 2, pp. 69–79, 2021.
- [17] S. Pamungkas, "Analysis Of Vegetation Index For Ndvi, Evi-2, And Savi For Mangrove Forest Density Using Google Earth Engine In Lembar Bay, Lombok Island," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, pp. 1–9. doi: 10.1088/1755-1315/1127/1/012034.
- [18] R. Langkoke and A. Z. Nur, "Analisis Bahaya Banjir Sungai Bone-Bone dengan Metode Geographical Information System (GIS) pada Daerah Bantimurung Kecamatan Bone-Bone Kabupaten Luwu Utara Provinsi Sulawesi Selatan," *J. Ecosolum*, vol. 11, no. 2, pp. 110–125, 2022, doi: 10.20956/ecosolum.v11i2.23971.
- [19] F. Dhiniati and A. Dinata, "Identifikasi Kerentanan Banjir Bandang Menggunakan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) Berbasis SIG di Sub DAS Air Mulak, Kabupaten Lahat," *J. Penelit. Pengelolaan Drh. Aliran Sungai*, vol. 6, no. 1, pp. 39–56, 2022.
- [20] H. Fitrihidajati, F. Rachmadiarti, T. Purnomo, and R. Ambarwati, "Pendampingan Pengembangan Ekowisata Mangrove di Pantai Bancaran Bangkalan," *ABDI*, vol. 8, no. 1, pp. 36–46, 2022.
- [21] P. Risky, "Strategi Pengembangan Ekowisata Mangrove Berbasis Masyarakat dalam Menarik Kunjungan Wisatawan di Kampung Baru Kabupaten Penajam Paser Utama," *J. Inov. Penelit.*, vol. 3, no. 2, pp. 4941–4950, 2022.
- [22] S. Harto, A. Mulyadi, and Ismandianto, "Pengembangan Berkelanjutan Bandar Bakau Dumai Sebagai Ekowisata di Riau Pesisir," *J. Enggano*, vol. 6, no. 2, pp. 358–368, 2021.
- [23] I. Marasabessy, N. J. Maepauw, and M. I. Barudin, "Penentuan Indeks Kesesuaian dan Model Aktivitas Ekowisata



- Mangrove di Pulau Jeflio Distrik Mayamuk Kabupaten Sorong,” *J. Enggano*, vol. 6, no. 1, pp. 80–98, 2021.
- [24] E. Harjanto, Y. Rayadin, M. I. Aipassa, and Y. Ruslim, “Pengembangan Bontang Mangrove Park Sebagai Model Perlindungan Ekosistem Mangrove di Taman Nasional Kutai dan Dampaknya Terhadap Perubahan Tutupan Lahan,” *J. Penelit. Ekosist. Dipterokarpa*, vol. 5, no. 1, pp. 21–29, 2019.
- [25] A. Valentina and H. M. Qulubi, “Model Pengembangan Ekowisata Mangrove di Pesisir Timur Lampung (Studi di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur),” *Soc. Work J.*, vol. 9, no. 2, pp. 149–156, 2019, doi: 10.24198/share.v9i2.24881.
- [26] J. F. Humairah, S. Arieta, and D. Syahdila, “Potensi Pengembangan Ekowisata Mangrove Di Tanjung Siambang,” *J. Empirika*, vol. 7, no. 2, pp. 118–129, 2022.
- [27] Kasman, F. H. Tudikromo, and T. Arifin, “Pengembangan Ekowisata Mangrove di Pantai Sesar Lama, Kecamatan Bula,” *J. Kelaut. Nas.*, vol. 17, no. 3, pp. 221–230, 2022.