



Implementasi Hyper Spectral of Remote Sensing untuk Analisis Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial di Kecamatan Tobelo Timur Menggunakan NDVI, SAVI, dan EVI

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: ^{1,*}yerik.afrianto@atmajaya.ac.id

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

Submitted: 20/04/2023; Accepted: 30/04/2023; Published: 30/04/2023

Abstrak—Studi tentang ketahanan kawasan hutan mangrove menjadi populer di Indonesia, meskipun demikian implementasi metode Hyper Spectral of Remote Sensing dalam mengidentifikasi perubahan nilai indeks vegetasi berdasarkan model Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), dan Enhanced Vegetation Index (EVI) pada daerah yang belum terjangkau perlu dilakukan untuk menambah basis data sehingga menjadi rujukan penelitian selanjutnya. Mempertimbangkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan metode hyper spectral of remote sensing melalui tahapan-tahapan sebagai berikut: pengumpulan data; pemrosesan data; kalibrasi radiometrik; reduksi dimensi; analisis data; interpretasi hasil. Adapun, pada tahap reduksi dimensi, band yang digunakan telah disesuaikan dengan model NDVI, SAVI dan EVI. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai rata-rata hasil perhitungan NDVI, SAVI dan EVI berdasarkan zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4 kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, mengindikasikan kondisi kerapatan kategori sedang atau cukup dan padat atau lebat. Dengan demikian dapat diketahui bahwa lokasi tersebut layak dikembangkan sebagai daya tarik wisata melalui model pengembangan kawasan ekowisata mangrove berbasis komunitas.

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

Abstract—Studies on the resilience of mangrove forest areas are becoming popular in Indonesia, despite the implementation of the Hyper Spectral of Remote Sensing method in identifying changes in vegetation index values based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Enhanced Vegetation Index models (EVI) in unreached areas need to be done to add to the database so that it becomes a reference for further research. Considering this, this study uses the hyperspectral method of remote sensing through the following stages: data collection; data processing; radiometric calibration; dimension reduction; data analysis; interpretation of results. Meanwhile, the bands used have been adjusted to NDVI, SAVI, and EVI models at the dimension reduction stage. The results of this study show that the overall average value of the calculation results of NDVI, SAVI, and EVI based on Zone 1, Zone 2, Zone 3, and Zone 4 of the mangrove area of East Tobelo District indicates the condition of medium or sufficient category density and dense or dense. Thus, it can be known that the location is feasible to be developed as a tourist attraction through a community-based mangrove ecotourism area development model.

Keywords: NDVI; SAVI; EVI; Ecotourism; Mangrove

1. PENDAHULUAN

Kawasan ekowisata potensial di Indonesia perlu diidentifikasi secara menyeluruh sehingga dapat diklasifikasikan serta divisualisasikan dalam bentuk pemetaan sumberdaya pariwisata yang dapat dioptimalkan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Nurhikmah et al. menunjukkan bahwa kawasan ekowisata mangrove dapat dikembangkan menjadi daya tarik wisata yang mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat lokal [1]. Disisi lain, Pratiwi dan Muhsoni menunjukkan bahwa mangrove dapat dikembangkan menjadi daya tarik wisata melalui pendekatan eduwisata maupun ekowisata bahari dengan mempertimbangkan daya dukung kawasan wisata agar tetap lestari [2].

Adapun, Singgalen menunjukkan bahwa daya dukung kawasan ekowisata mangrove perlu dianalisis secara kontekstual agar pembangunan infrastruktur penunjang aktivitas pariwisata maupun aktivitas wisatawan di lingkungan mangrove tidak menyebabkan kerusakan lingkungan secara signifikan [3]. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan kawasan ekowisata mangrove sebagai daya tarik wisata perlu dikaji secara kontekstual dan komprehensif. Dengan demikian, luaran penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi kebijakan pemanfaatan lahan serta program pengembangan pariwisata di masing-masing daerah.

Pemetaan kawasan ekowisata potensial dapat dilakukan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) khususnya penginderaan jarak jauh (remote sensing) berdasarkan data citra satelit dalam bentuk band spektral yang spesifik sebagaimana metode Hyper Spectral of Remote Sensing. Singgalen et al. menunjukkan bahwa data spasial maupun band spektral dari citra satelit dapat digunakan untuk membandingkan nilai indeks dari berbagai model penginderaan jarak jauh berdasarkan rentang waktu tertentu [4].

Lebih jauh, Singgalen mengemukakan bahwa perubahan nilai indeks vegetasi di kawasan mangrove yang menunjukkan penurunan nilai secara signifikan dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti alih fungsi lahan, abrasi, bencana, maupun perilaku penduduk yang bermukim di sekitar kawasan mangrove tersebut [5]. Selain itu,



Singgalen menunjukkan bahwa hasil analisis perubahan nilai indeks vegetasi kawasan mangrove dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk pengambilan keputusan pengelola dalam merencanakan program pembangunan fasilitas pariwisata [6]. Hal ini menunjukkan bahwa pemetaan kawasan ekowisata potensial menggunakan pendekatan SIG khususnya penginderaan jarak jauh sangat penting dilakukan untuk perencanaan maupun evaluasi program pembangunan yang mempertimbangkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini mengadopsi metode Hyper Spectral of Remote Sensing dalam menganalisis perubahan nilai indeks vegetasi menggunakan band spektral citra satelit Landsat 8/9 Operational Land Imager (OLI).

Salah satu tahapan dalam metode Hyper Spectral of Remote Sensing yang membatasi masalah penelitian sekaligus mendeskripsikan kontribusi luaran penelitian ini adalah tahap reduksi dimensi, dimana model yang digunakan ialah NDVI, SAVI dan EVI berdasarkan data spasial kawasan mangrove di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Singgalen et al. menunjukkan bahwa NDVI dan EVI merupakan model yang digunakan untuk mengidentifikasi masalah dan menganalisis kondisi vegetasi di permukaan bumi, sedangkan SAVI untuk meningkatkan akurasi pengukuran dan mengurangi latarbelakang tanah sehingga memberikan pengukuran yang lebih baik tentang vegetasi di permukaan bumi [7].

Disisi lain, Singgalen dan Manongga menunjukkan bahwa hasil analisis NDVI di kawasan ekowisata mangrove dapat diproses menggunakan metode Sistem Pendukung Keputusan (SPK) melalui model Analisis Hirarki Proses (AHP) untuk menentukan program prioritas (rehabilitasi, restorasi, reklamasi, konservasi) [8]. Adapun, Singgalen et al. menunjukkan bahwa perubahan nilai indeks vegetasi mangrove yang menunjukkan indikasi degradasi lahan secara signifikan merupakan ancaman keberlanjutan ekosistem yang berdampak pada keberlanjutan pariwisata [7]. Hal ini menunjukkan bahwa model NDVI, SAVI dan EVI dalam metode Hyper Spectral of Remote Sensing menjadi relevan digunakan sebagai model yang sesuai dengan konteks penelitian ini. Dengan demikian, interpretasi data citra Hyper Spectral of Remote Sensing bersifat kontekstual sesuai kondisi eksisting kawasan mangrove di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kajian tentang kawasan ekowisata berperan penting dalam mengoptimalkan manajemen destinasi melalui kebijakan yang tepat guna. Aprianto et al. menunjukkan bahwa potensi biologi, fisik dan daya tarik sosial-budaya di suatu daerah perlu dioptimalkan menjadi sumber penghasilan atau mata pencaharian yang mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat serta meningkatkan kesejahteraan sosial [9]. Disisi lain, Hodijah et al. menunjukkan bahwa pengembangan ekowisata dapat dilakukan dengan melibatkan masyarakat lokal melalui model bisnis homestay [10].

Adapun, Japa et al. menunjukkan bahwa pengembangan ekowisata mangrove juga dapat dilakukan melalui pendekatan edukasi ekosistem mangrove terhadap wisatawan dengan menyediakan informasi jenis dan fungsi masing-masing species mangrove secara sistematis [11]. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian terdahulu lebih dominan pada integrasi konsep pemeliharaan lingkungan mangrove melalui pendekatan pariwisata berbasis komunitas, sehingga kajian tentang citra Hyper Spectral of Remote Sensing masih terbatas dan perlu ditingkatkan.

Urgensi penelitian tentang kawasan ekowisata mangrove didorong oleh minimnya basis data spasial yang diproses menggunakan metode Hyper Spectral of Remote Sensing di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Dimon et al. menunjukkan bahwa kajian tentang kawasan mangrove yang dikembangkan menggunakan pendekatan ekowisata memiliki keterbatasan dalam hal basis data jenis dan sebaran mangrove yang perlu dimonitoring secara berkala untuk mengidentifikasi perubahan yang disebabkan oleh berbagai faktor [12].

Disisi lain, Subuh et al. menunjukkan bahwa keberlanjutan kawasan ekowisata mangrove didorong oleh kebudayaan masyarakat lokal dalam menjaga hubungan dengan alam melalui tradisi atau ritual adat [13]. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa riset lebih menekankan pada aspek ekologi atau sosio-kultural masyarakat lokal dibandingkan dengan menyiapkan basis data citra Hyper Spectral of Remote Sensing di kawasan ekowisata mangrove. Dengan demikian, penelitian ini penting dilakukan untuk melengkapi basis data tentang citra Hyper Spectral of Remote Sensing berdasarkan konteks kawasan potensial ekowisata mangrove di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Luaran penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan basis data spasial hasil analisis kawasan ekowisata potensial di wilayah Timur Indonesia, melalui studi kasus kawasan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Kawasan mangrove dapat dikembangkan melalui pendekatan ekowisata berbasis komunitas dengan memperhatikan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan [14].

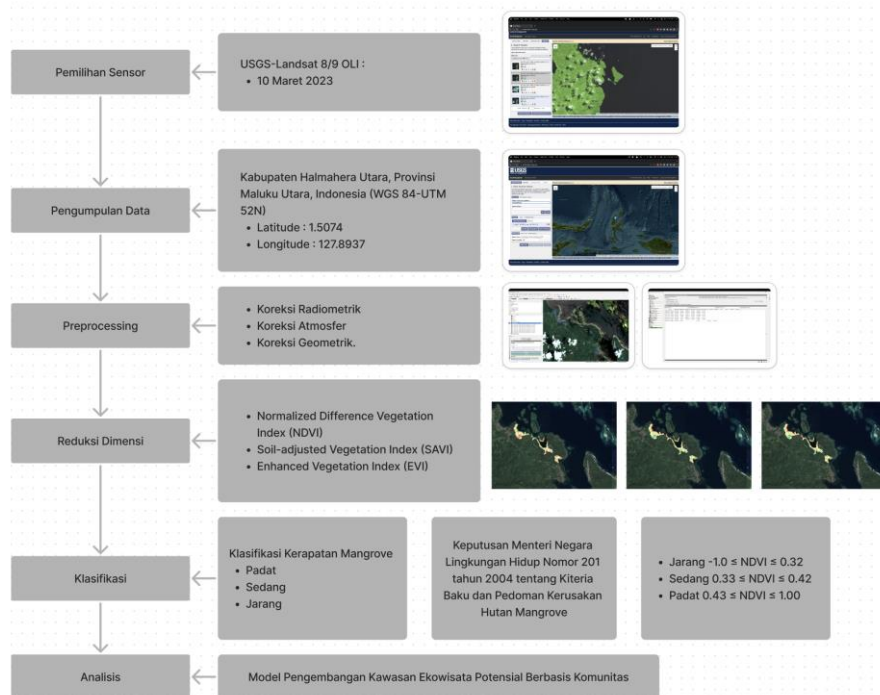
Selain itu, basis data berupa citra Hyper Spectral of Remote Sensing yang telah dikelola dapat dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menentukan program yang relevan dan tepat guna dalam mengembangkan kawasan hutan mangrove menjadi destinasi wisata minat khusus. Arfan et al. menunjukkan bahwa penggunaan drone dalam pengumpulan data spasial untuk monitoring ekowisata mangrove berperan penting dalam mengidentifikasi perubahan tingkat kerapatan mangrove secara berkala serta memudahkan proses identifikasi dan analisis faktor-faktor yang menyebabkan perubahan tersebut [15]. Dengan demikian, implementasi metode Hyper Spectral of Remote Sensing dalam analisis ekowisata mangrove potensial menggunakan model NDVI, SAVI dan EVI disesuaikan dengan kondisi eksisting kawasan mangrove di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Hyper Spectral of Remote Sensing Method

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. Tahapan-tahapan dalam metode hyperspectral remote sensing adalah sebagai berikut: tahap pemilihan sensor, pemilihan sensor hyper spectral remote sensing yang tepat harus dilakukan tergantung pada kebutuhan penginderaan jauh, serta mampu mengumpulkan data spektral pada berbagai rentang gelombang elektromagnetik. 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, data hyperspectral dapat dikumpulkan menggunakan satelit, pesawat udara, atau UAV, kemudian data harus diambil pada waktu yang tepat dan dalam kondisi atmosfer yang ideal. 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 pra-proses 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.

Pada tahap pengolahan data, data hyperspectral yang telah diproses kemudian dapat diolah menggunakan algoritma pengolahan citra untuk menghasilkan informasi yang berguna tentang objek atau permukaan bumi yang diamati. Dalam penelitian ini algoritma yang digunakan ialah NDVI, SAVI dan EVI; tahap analisis data, data hyperspectral dapat dianalisis untuk mempelajari karakteristik permukaan bumi. Penelitian ini menggunakan acuan dari Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Kerusakan Hutan Mangrove; tahap interpretasi data, interpretasi data hyperspectral dapat dilakukan dengan membandingkan data dengan referensi geologis atau informasi lainnya untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang objek atau permukaan bumi yang diamati. Penelitian ini menggunakan data NDVI, SAVI, dan EVI untuk mengidentifikasi kondisi kawasan ekowisata mangrove potensial yang dapat dioptimalkan; tahap pemodelan, pemodelan dapat dilakukan untuk memprediksi atau memvisualisasikan sifat permukaan bumi yang belum terlihat dalam data hyperspectral. Dalam penelitian ini, pemodelan perlu dilakukan untuk mendapatkan petunjuk tentang model pengelolaan kawasan ekowisata mangrove yang sesuai dengan konteks sosial-budaya masyarakat lokal. 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. 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 dan EVI. Selanjutnya, pada tahap klasifikasi, masing-masing band dikalkulasi sesuai dengan algoritma sebagaimana table 1 berikut.

Tabel 1. Algoritma dan Persamaan NDVI, SAVI dan EVI

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

Tabel 1 merupakan algoritma dan persamaan NDVI, SAVI, dan EVI yang digunakan dalam reduksi dimensi sesuai dengan kawasan mangrove yang akan dianalisis. Algoritma NDVI mengukur kandungan klorofil dalam tanaman [16]. 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 [17]. 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 [18]. 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 [19]. 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 [20]. Hal ini menunjukkan bahwa masing-masing algoritma akan menggambarkan kondisi eksisting dari setiap zona di kawasan potensial ekowisata mangrove Kecamatan Tobelo Timur.

Pada tahap klasifikasi, masing-masing algoritma dapat memberikan makna yang berbeda namun berhubungan satu dengan yang lain. Berdasarkan klasifikasi NDVI, SAVI dan 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. Data NDVI, SAVI dan EVI dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan program restorasi mangrove, pemantauan kesehatan hutan mangrove dan keberhasilan pengembangan ekowisa mangrove.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan mangrove dapat dikembangkan melalui konsep ekowisata berbasis komunitas agar dapat memberikan manfaat ekonomi, sosial-budaya, dan lingkungan. Webilana et al. menunjukkan bahwa pengembangan kawasan mangrove sebagai daya tarik wisata perlu dilakukan kajian tentang daya dukung dan kondisi eksisting mangrove terlebih dahulu, sehingga dapat diantisipasi faktor-faktor yang berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan, masalah sosial, hingga kerugian sektor ekonomi [21]. Disisi lain, Rachmadirazaq et al. menunjukkan bahwa persoalan sampah menjadi tantangan dalam pengembangan ekowisata mangrove sehingga diperlukan strategi penanggulangan yang tepat agar tidak menyebabkan kerusakan lingkungan [22]. Adapun, Pratiwi et al. menunjukkan bahwa pengembangan ekowisata mangrove perlu didukung aksesibilitas yang memadai, sarana dan prasarana penunjang dan akomodasi [23]. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan kawasan ekowisata mangrove perlu didukung oleh seluruh pemangku kepentingan. Dengan demikian, model partisipatif melalui



konsep pengembangan kawasan ekowisata berbasis komunitas menjadi sangat relevan dengan konteks wilayah di Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Implementasi model pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Tobelo Timur memiliki peluang dan manfaat sebagai berikut: pertama, konservasi lingkungan. Ekowisata mangrove berbasis komunitas dapat membantu melestarikan dan memperbaiki ekosistem mangrove yang telah rusak. Kegiatan ekowisata dapat membantu meminimalkan kerusakan lingkungan seperti illegal logging dan penebangan mangrove yang merusak lingkungan; kedua, pengembangan ekonomi lokal. Masyarakat sekitar dapat memanfaatkan potensi wisata yang ada di kawasan mangrove untuk meningkatkan pendapatan mereka. Hal ini dapat membantu mengurangi kemiskinan di daerah tersebut dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat; ketiga, pendidikan tentang lingkungan. Masyarakat dapat belajar tentang pentingnya menjaga lingkungan mangrove melalui edukasi, sehingga membantu meningkatkan kesadaran masyarakat dan pengunjung tentang pentingnya menjaga keberlangsungan lingkungan mangrove; keempat, peningkatan pariwisata. Melalui konsep pengembangan ekowisata, Tobelo Timur dapat menjadi destinasi wisata yang menarik selain wisata pantai dan bahari di Pulau Meti dan Pulau Magaliho. Hal ini dapat membantu meningkatkan jumlah wisatawan yang berkunjung dan memberikan dampak positif terhadap perkembangan pariwisata di daerah tersebut; kelima, potensi penelitian. Ekosistem mangrove memiliki potensi untuk diteliti lebih lanjut sehingga kegiatan ekowisata dapat membantu para peneliti untuk mengakses dan mempelajari lebih lanjut tentang ekosistem mangrove yang ada di Tobelo Timur serta hubungannya dengan aspek ekonomi dan sosial-budaya masyarakat lokal.

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. 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 dan hasil kalkulasi nilai rata-rata EVI ialah 0.50. Sementara itu, pada zona 2 nilai rata-rata NDVI ialah 0.35, nilai rata-rata SAVI ialah 0.58 dan nilai rata-rata EVI ialah 0.48. Pada zona 3, nilai rata-rata NDVI yang diperoleh ialah 0.35, nilai rata-rata SAVI yang diperoleh ialah 0.53, dan nilai rata-rata EVI yang diperoleh ialah 0.46. Adapun, pada zona 4, nilai rata-rata NDVI ialah 0.38, nilai rata-rata SAVI ialah 0.57 dan nilai rata-rata EVI ialah 0.53. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan, kondisi eksisting kawasan mangrove di Tobelo Timur berada dalam kondisi kerapatan kategori cukup atau sedang dan lebat. 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 1. 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
		4	0.38
SAVI	$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L)$	1	0.56
		2	0.58
		3	0.53
		4	0.57
EVI	$EVI = 2.5 \times ((NIR - Red) / ((NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue) + L))$	1	0.50
		2	0.48
		3	0.46
		4	0.53

Tabel 1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai rata-rata hasil perhitungan NDVI, SAVI dan EVI berdasarkan zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4 kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, mengindikasikan kondisi kerapatan kategori sedang atau cukup dan padat atau lebat. Hal ini menunjukkan bahwa kawasan mangrove dapat dikembangkan sebagai daya tarik wisata melalui pendekatan partisipatif sebagaimana model ekowisata mangrove berbasis komunitas. Setyoko et al. menunjukkan bahwa keunggulan model partisipatif dalam pengembangan ekowisata mangrove ialah kesempatan bagi masyarakat lokal untuk merencanakan, mengimplementasikan, dan mengevaluasi program pengembangan pariwisata yang otentik dan sesuai dengan konteks ekonomi, sosial-budaya serta lingkungan setempat [24]. Disisi lain, sinergitas komunitas atau masyarakat lokal dengan pemangku kepentingan lainnya juga menjadi faktor kunci kesuksesan atau keberhasilan pencapaian tujuan pengembangan ekowisata mangrove agar dapat berkelanjutan [25]. Hal ini menunjukkan bahwa setelah proses identifikasi kelayakan pengembangan ekowisata mangrove, perlu dilanjutkan ke tahap inisiasi dan realisasi program pembentukan organisasi atau Kelompok Sadar Wisata (Pokdarwis) yang bersinergi dengan pemerintah desa, kecamatan, kabupaten, maupun provinsi serta berbagai pemangku kepentingan lainnya seperti universitas, media, dan pengusaha lokal untuk merencanakan program pengembangan yang sesuai dengan kebutuhan atau

permintaan pasar pariwisata lokal. Dengan demikian, partisipasi masyarakat dan sinergitas pemangku kepentingan menjadi bagian esensial dalam pengembangan kawasan ekowisata mangrove Kecamatan Tobelo Timur, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Ekowisata mangrove berbasis komunitas dapat memberikan banyak manfaat bagi keberlangsungan ekonomi lokal, kesejahteraan sosial masyarakat pesisir, dan keberlanjutan ekosistem mangrove di Kecamatan Tobelo Timur. Dengan mengembangkan potensi wisata mangrove, masyarakat setempat dapat menghasilkan pendapatan tambahan dari aktivitas pariwisata, sementara wisatawan dapat memperoleh pengalaman yang berharga dan memahami nilai konservasi ekosistem mangrove. Selain itu, kegiatan ekowisata ini dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya konservasi lingkungan dan membantu menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove. Dengan demikian, ekowisata mangrove berbasis komunitas dapat membawa dampak positif bagi pertumbuhan ekonomi lokal, kesejahteraan sosial masyarakat pesisir, dan keberlanjutan ekosistem mangrove di Kecamatan Tobelo Timur. Berdasarkan hasil pemetaan zona pengembangan ekowisata mangrove, dapat ditetapkan jalur untuk aktivitas wisata serta pos pemantauan kondisi kerapatan mangrove secara berkala sebagaimana hasil pemetaan pada gambar berikut.



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. Mawardi et al. menunjukkan bahwa pemasaran digital diperlukan untuk publikasi kondisi mangrove dengan tingkat kerapatan yang tinggi, sehingga menjadi daya tarik wisatawan dan memberikan manfaat ekonomi, sosial dan ekologi [26]. Disisi lain, Sabir menunjukkan bahwa pemasaran kawasan ekowisata mangrove perlu dioptimalkan menggunakan sistem informasi berbasis website, dimana calon wisatawan dapat mengakses informasi yang berhubungan dengan atraksi, aksesibilitas, akomodasi dan amenitas [27]. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pemetaan kawasan ekowisata mangrove potensial perlu dipublikasikan menggunakan sistem informasi pariwisata maupun sistem informasi geografi dengan berbagai informasi yang berhubungan dengan kebutuhan wisatawan yakni informasi mengenai atraksi, aksesibilitas, akomodasi dan amenitas. Dengan demikian dapat diketahui bahwa sistem informasi pariwisata dan sistem informasi geografi dapat diintegrasikan agar dapat menampilkan informasi yang kredibel, valid dan relevan dengan kebutuhan wisatawan.

Penginderaan jarak jauh ekosistem mangrove di Kecamatan Tobelo Timur dapat memberikan manfaat penting bagi pengembangan sistem informasi pariwisata Kabupaten Halmahera Utara. Dengan menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh, informasi yang terkait dengan potensi wisata di kawasan mangrove dapat dikumpulkan dan diolah menjadi data yang akurat dan berguna untuk mengembangkan sistem informasi pariwisata. Data tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi wisata yang menarik, memberikan informasi tentang keadaan lingkungan, dan membantu dalam pengambilan keputusan strategis dalam pengembangan pariwisata. Selain itu, teknologi penginderaan jarak jauh juga dapat membantu dalam memantau kondisi ekosistem mangrove dan memastikan keberlanjutan lingkungan alam sekitar. Selain itu, penginderaan jarak jauh ekosistem mangrove dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi pengembangan sistem informasi pariwisata Kabupaten Halmahera Utara. Dengan demikian dapat diketahui bahwa kontribusi penelitian ini lebih dominan pada bidang ilmu pariwisata, sistem informasi geografi dan penginderaan jarak jauh untuk menunjukkan pentingnya implementasi metode Hyper Spectral of Remote Sensing pada kawasan ekowisata mangrove potensial di berbagai daerah, sebagai tahap identifikasi potensi sehingga seluruh Sumber Daya Alam (SDA) dapat dikelola menjadi asset yang mendukung pertumbuhan ekonomi, mendorong kesejahteraan sosial melindungi keberlangsungan budaya, dan menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai rata-rata hasil perhitungan NDVI, SAVI dan EVI berdasarkan zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4 kawasan mangrove Kecamatan Tobelo Timur, mengindikasikan kondisi kerapatan kategori sedang atau cukup dan padat atau lebat. Disisi lain, Implementasi model pengembangan ekowisata mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Tobelo Timur memiliki peluang dan manfaat sebagai berikut : pertama, konservasi lingkungan. Ekowisata mangrove berbasis komunitas dapat membantu melestarikan



dan memperbaiki ekosistem mangrove yang telah rusak. Kegiatan ekowisata dapat membantu meminimalkan kerusakan lingkungan seperti illegal logging dan penebangan mangrove yang merusak lingkungan; kedua, pengembangan ekonomi lokal. Masyarakat sekitar dapat memanfaatkan potensi wisata yang ada di kawasan mangrove untuk meningkatkan pendapatan mereka. Hal ini dapat membantu mengurangi kemiskinan di daerah tersebut dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat; ketiga, pendidikan tentang lingkungan. Masyarakat dapat belajar tentang pentingnya menjaga lingkungan mangrove melalui edukasi, sehingga membantu meningkatkan kesadaran masyarakat dan pengunjung tentang pentingnya menjaga keberlangsungan lingkungan mangrove; keempat, peningkatan pariwisata. Melalui konsep pengembangan ekowisata, Tobelo Timur dapat menjadi destinasi wisata yang menarik selain wisata pantai dan bahari di Pulau Meti dan Pulau Magaliho. Hal ini dapat membantu meningkatkan jumlah wisatawan yang berkunjung dan memberikan dampak positif terhadap perkembangan pariwisata di daerah tersebut; kelima, potensi penelitian.

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] Nurhikmah, L. Irmayanti, R. Ashari, and A. Fatrawana, "Potensi Ekosistem Mangrove sebagai Ekowisata di Pulau Satanger Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan." *J. Ilmu Kelaut. Kepul.*, vol. 5, no. 1, pp. 495–508, 2022.
- [2] M. W. Pratiwi and F. F. Muhsoni, "Analisis Kesesuaian Ekowisata Mangrove Di Desa Taddan Kecamatan Camplong Kabupaten Sampang," *Samakia J. Ilmu Perikan.*, vol. 12, no. 2, pp. 105–115, 2021, doi: 10.35316/jsapi.v12i2.1136.
- [3] Y. A. Singgalen, "Tourism Infrastructure Development and Transformation of Vegetation Index in Dodola Island of Morotai Island Regency," *J. Inf. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 1, pp. 130–144, 2022, doi: 10.51519/journalisi.v4i1.230.
- [4] 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.
- [5] Y. A. Singgalen, "Vegetation Index and Mangrove Forest Utilization through Ecotourism Development in Dodola and Guraping of North Maluku Province," *J. Manaj. Hutan Trop.*, vol. 28, no. 2, pp. 150–161, 2022, doi: 10.7226/jtfm.28.2.150.
- [6] 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.
- [7] Y. A. Singgalen, C. Gudiato, S. Y. J. Prasetyo, and C. Fibriani, "Mangrove Monitoring Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Case Study In North Halmahera, Indonesia," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 13, no. 2, pp. 219–239, 2021, doi: 10.29244/jitkt.v13i2.34771.
- [8] Y. A. Singgalen and D. Manongga, "Mangrove-based Ecotourism Sustainability Analysis using NDVI and AHP Approach," *Indones. J. Comput. Cybern. Syst.*, vol. 16, no. 2, pp. 125–136, 2022, doi: 10.22146/ijccs.68986.
- [9] P. Aprianto, V. Amelia, and F. Firlianty, "Potensi Daya Tarik Obyek Ekowisata Kawasan Punggualas di Taman Nasional Sebangau," *J. Environ. Manag.*, vol. 3, no. 3, pp. 186–194, 2022, doi: 10.37304/jem.v3i3.5524.
- [10] S. Hodijah, Haryadi, A. Delis, D. Artis, and I. Syafi'i, "Pemberdayaan Masyarakat untuk Menopang Ekowisata Lokal dalam Pemanfaatan dan Tata Kelola Homestay di Desa Renah Alai Kabupaten Merangin," *J. Inovasi, Teknol. dan Dharma Bagi Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–27, 2022, doi: 10.22437/jitdm.v2i1.16425.
- [11] L. Japa, A. Syukur, Syachruddin, and D. M. Ibrahim, "Sosialisasi Buku Ekowisata Ekosistem Mangrove Sebagai Laboratorium Alam Untuk Pembelajaran IPA Di MTs. NW Nurul Hsan Tanjung Luar Lombok Timur," *J. Pengabd. Magister Pendidik. IPA*, vol. 5, no. 4, pp. 205–216, 2022, doi: 10.29303/jpmipi.v5i4.2523.
- [12] Y. Dimon, R. Hadun, and A. Sofyan, "Analisis Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Ekowisata Mangrove di Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Tanjung Boleu Desa Kao Kabupaten Halmahera Utara," *J. Pertan. Khairun*, vol. 1, no. 2, pp. 80–91, 2022.
- [13] R. Do Subuh, M. Fadel, and F. Soamole, "Ekowisata Berbasis Kearifan Lokal di Kabupaten Halmahera Barat," *J. Ilmiah Kebud. dan Kesenjaraan*, vol. 9, no. 1, pp. 49–57, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/etnohis/article/view/5206>
- [14] Y. A. Singgalen, "Mangrove forest utilization for sustainable livelihood through community-based ecotourism in kao village of north halmahera district," *J. Manaj. Hutan Trop.*, vol. 26, no. 2, pp. 155–168, 2020, doi: 10.7226/JTFM.26.2.155.
- [15] A. Arfan, U. Sideng, W. Sanusi, and M. F. Juanda, "Jurnal Environmental Science," *J. Environ. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 181–193, 2022.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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

- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Rachmadiarazag, S. A. R. Khadijah, and A. Furqan, “Rekomendasi Pengelolaan Sampah pada Ekowisata Mangrove Wonorejo Surabaya,” *Kepariwisata*, vol. 22, no. 1, pp. 51–59, 2023, doi: 10.52352/jpar.v22i1.955.
- [23] N. Pratiwi, R. Hadun, and M. Tamrin, “Potensi Pengembangan Ekowisata Hutan Mangrove Desa Gamtala Kecamatan Jailolo Kabupaten Halmahera Barat,” *J. For. Isl.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [24] N. Setiyoko et al., “Pendampingan Media Promosi Digital Dalam Rangka Peningkatan Perekonomian Masyarakat di Ekowisata Mangrove Medokan Ayu Surabaya,” *J. Abadimas Adi Buana*, vol. 6, no. 2, pp. 240–247, 2023.
- [25] Rachmadiarazag, “Analisis Struktur Organisasi Antarlembaga pada Destinasi Ekowisata Mangrove Wonorejo Kota Surabaya,” *War. Pariwisata*, vol. 20, no. 2, pp. 1–5, 2023.
- [26] 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.
- [27] M. Sabir, “Strategi Pengembangan Ekowisata Mangrove Tongke-Tongke di Kabupaten Sinjai,” *J. Ind. Pariwisata*, vol. 3, no. 1, pp. 53–60, 2020, doi: 10.36441/pariwisata.v3i1.45.