

Implementasi Metode Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART) dalam Pemilihan Zona Prioritas dan Alternatif Berbasis Data Klasifikasi Indeks Vegetasi

Yerik Afrianto Singgalen*

Faculty of Business Administration and Communication, Atma Jaya Catholic University of Indonesia, Jakarta, Indonesia

Email: *yerik.afrianto@atmajaya.ac.id

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

Submitted: 15/08/2023; Accepted: 25/09/2023; Published: 27/09/2023

Abstrak—Analisis indeks vegetasi menggunakan model Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) perlu diproses menggunakan model pendukung keputusan untuk menindaklanjuti hasil interpretasi data citra satelit Landsat 8/9 Operational Land Imager (OLI). Meskipun demikian, kajian yang menggunakan metode Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART) untuk menentukan zona prioritas berbasis data klasifikasi indeks vegetasi, masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah data klasifikasi NDVI pada kawasan mangrove menggunakan model pendukung keputusan SMART. Tahapan dalam penelitian ini terdiri dari empat bagian yakni : tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data; tahap analisis data; dan tahap interpretasi data. Pada tahap pengumpulan data, data raster yang digunakan bersumber dari platform United States Geology Survey (USGS) yaitu Landsat 8/9 OLI dengan data raster koordinat (Lat 01°43'18" N, Lon : 128°04'15" E) tahun 2013, 2018, dan 2023. Selain itu, video dan foto udara di lokasi penelitian diambil menggunakan drone (Phantom 4 Versi 2). Pada tahap pengolahan data, model yang digunakan dalam kalkulasi data raster ialah NDVI menggunakan aplikasi QGIS 3.30.1. Adapun tahap analisis dan interpretasi data penelitian ini menggunakan model pendukung keputusan SMART. Model pendukung keputusan SMART digunakan untuk menghasilkan rekomendasi zona prioritas pengembangan ekowisata mangrove berdasarkan hasil klasifikasi NDVI (nilai minimum, nilai rata-rata, nilai maksimum) yang disesuaikan dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman kerusakan hutan mangrove (jarang, sedang, dan padat). Berdasarkan hasil kalkulasi nilai utility kriteria C1 sebagai cost dengan bobot 0,50 pada data klasifikasi NDVI tahun 2023, direkomendasikan stasiun pengamatan kedua sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,5. Adapun, hasil kalkulasi nilai utility kriteria C3 sebagai cost dengan bobot 0,50 pada data klasifikasi NDVI tahun 2023, direkomendasikan stasiun pengamatan ketiga sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,88. Hal ini berarti bahwa metode SMART dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis zona prioritas dan zona alternatif untuk kepentingan pengembangan kawasan ekowisata mangrove yang berkelanjutan.

Kata Kunci: SMART; NDVI; Zona Prioritas; Penginderaan Jarak Jauh; Pendukung Keputusan

Abstract—Vegetation index analysis using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) model needs to be processed using a decision support model to follow up on the Landsat 8/9 Operational Land Imager (OLI) satellite image data interpretation results. However, studies using the Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART) method to determine priority zones based on vegetation index classification data are still limited. This study uses the SMART decision support model to process NDVI classification data in mangrove areas. The stages in this study consist of four parts: the data collection stage, the data processing stage; the data analysis stage; and the data interpretation stage. At the data collection stage, the raster data used was sourced from the United States Geology Survey (USGS) platform, namely Landsat 8/9 OLI with coordinate raster data (Lat 01°43'18" N, Lon: 128°04'15" E) in 2013, 2018, and 2023. In addition, video and aerial photographs at the study site were taken using drones (Phantom 4 Version 2). At the data processing stage, the model used in calculating raster data is NDVI using the QGIS 3.30.1 application. This research data analysis and interpretation stage uses the SMART decision support model. The SMART decision support model is used to produce recommendations for priority zones for mangrove ecotourism development based on the results of the NDVI classification (minimum value, average value, maximum value) adjusted to the Decree of the State Minister of Environment Number 201 of 2004 concerning standard criteria and guidelines for mangrove forest destruction (rare, medium, and dense). Based on the calculation of the utility value of criterion C1 as a cost with a weight of 0.50 in the NDVI classification data for 2023, the second observation station is recommended as a priority zone with a total value of 0.50. Meanwhile, the calculation of the utility value of criterion C3 as a cost with a weight of 0.50 in the NDVI classification data in 2023 recommended the third observation station as a priority zone with a total value of 0.88. This means that the SMART method can be used to identify and analyze priority and alternative zones for the sustainable development of mangrove ecotourism areas.

Keywords: SMART; NDVI; Priority Zone; Remote Sensing; Decision Support

1. PENDAHULUAN

Penginderaan jarak jauh merupakan salah satu pendekatan analisis dan interpretasi kondisi permukaan bumi menggunakan data citra satelit, untuk pemetaan sumberdaya, serta menetapkan kebijakan pembangunan. Suleman dan Bur menunjukkan bahwa penginderaan jarak jauh dapat digunakan untuk analisis wilayah rawan bencana sehingga dapat dirumuskan program antisipasi hingga mitigasi bencana, terutama yang berhubungan dengan bencana abrasi dan sedimentasi pantai [1]. Selanjutnya, Al hakim et al. menunjukkan bahwa penginderaan jarak jauh dapat digunakan untuk menganalisis *turbidity front* yakni fenomena terbentuknya batas air tawar dan air laut [2]. Disisi lain, Yuniasih dan Adji menggunakan pendekatan jarak jauh untuk evaluasi kondisi kebun kelapa sawit menggunakan model *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dari citra satelit Sentinel 2 [3]. Hal ini berarti bahwa penginderaan jarak jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kondisi permukaan bumi menggunakan model

yang relevan dengan konteks pembahasan di areal perkebunan, pertanian, hingga area pesisir. Penelitian ini menawarkan gagasan untuk menganalisis indeks vegetasi mangrove menggunakan model NDVI.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan salah satu model kalkulasi data raster dalam teknik penginderaan jarak jauh untuk mengidentifikasi perubahan permukaan bumi yang berhubungan dengan pemanfaatan lahan untuk berbagai kepentingan. Amal et al. menunjukkan bahwa model NDVI dapat digunakan dalam menganalisis kerapatan hutan mangrove serta mengidentifikasi faktor-faktor potensial yang dapat menyebabkan perubahan nilai indeks vegetasi di kawasan mangrove akibat alih fungsi lahan untuk berbagai kepentingan [4]. Selanjutnya, Hariyanto et al. menggunakan model NDVI dan *Mangrove Vegetation Index* (MVI) untuk mengidentifikasi sebaran dan kesesuaian lahan [5]. Hal ini berarti bahwa model NDVI dapat digunakan untuk mengklasifikasi nilai indeks berdasarkan kerapatan hutan mangrove di masing-masing stasiun. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini fokus mengidentifikasi dan menganalisis kawasan mangrove melalui studi kasus di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa model NDVI digunakan untuk menganalisis kondisi eksisting vegetasi, selain itu model *Mangrove Health Index* (MHI) juga dapat digunakan untuk mengetahui nilai indeks kesehatan mangrove melalui identifikasi struktur tegakan mangrove [6]. Disisi lain, Febrianto et al. menunjukkan bahwa model NDVI dapat digunakan untuk menganalisis dinamika perubahan lahan dan kerapatan ekosistem mangrove [7]. Hal ini berarti bahwa model NDVI dapat digunakan dalam menganalisis dinamika perubahan lahan dan kerapatan ekosistem mangrove secara berkala. Meskipun demikian, ketersediaan data raster berdasarkan tahun sangat bergantung pada tipe satelit yang digunakan. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini menggunakan data citra satelit Landsat 8/9 Operational Land Imager (OLI) tahun 2013, 2018, dan 2023 yang diperoleh dari platform *United States Geology Survey* (USGS) dengan titik koordinat Lat 01°43'18" N, Lon : 128°04'15" E. Adapun, area pengamatan terbagi menjadi tiga wilayah yang diklasifikasi menjadi stasiun pengamatan satu, stasiun pengamatan dua, dan stasiun pengamatan tiga. Adapun, hasil pengolahan data raster pada masing-masing stasiun akan dianalisis lebih lanjut menggunakan model pendukung keputusan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART).

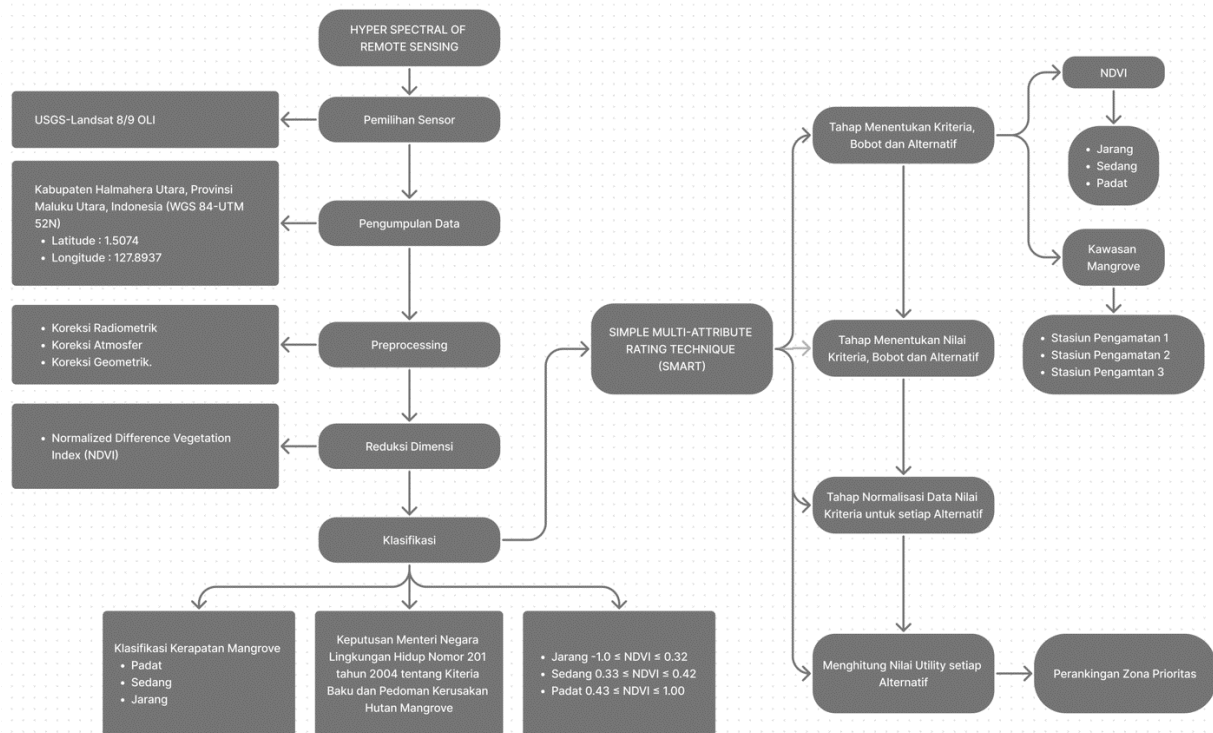
Hasil klasifikasi data indeks vegetasi dapat diproses lebih lanjut menggunakan model pendukung keputusan SMART untuk mengetahui zona yang perlu diprioritaskan dalam program rehabilitasi hingga preservasi. Rahma et al. melakukan kajian literatur terhadap sistem pendukung keputusan dengan membandingkan metode pendukung keputusan *Simple Additive Weighting* (SAW), metode *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT), metode *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), dan metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) serta menunjukkan keunggulan dari penggunaan model pendukung keputusan yaitu transparansi dan akuntabilitas, serta menghindari keputusan berdasarkan perasaan [8]. Selain itu, Nasution berpendapat bahwa metode SMART banyak digunakan karena fleksibilitas dalam merespon kebutuhan pembuat keputusan [9]. Domopolii et al. menunjukkan bahwa metode SMART dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam pengambilan keputusan sesuai dengan kebutuhan pengambil kebijakan, seperti halnya dalam menentukan penerima bantuan [10]. Hal ini menunjukkan bahwa model pendukung keputusan SMART dapat digunakan dalam menentukan zona prioritas untuk program rehabilitasi, preservasi, konservasi mangrove berdasarkan data klasifikasi NDVI.

Kajian ekowisata mangrove dapat ditinjau dari berbagai perspektif, fokus dan ruang lingkup pembahasan meliputi isu-isu kepariwisataan, manajemen ekologi lingkungan pesisir dan daerah kepulauan, serta faktor-faktor yang memengaruhi tumbuh kembang mangrove. Akram et al. menunjukkan bahwa strategi pengembangan ekowisata mangrove berperan penting dalam menjaga keberlangsungan ekosistem mangrove, meskipun dimanfaatkan untuk kepentingan sosial-budaya maupun ekonomi-pariwisata [11]. Disisi lain, Asyifa dan Suhirman berpendapat bahwa keberlanjutan ekowisata mangrove perlu mendapat dukungan seluruh pemangku kepentingan agar proses penetapan arah kebijakan menjadi gagasan kolektif lintas sektor, bukan kepentingan perorangan atau lembaga tertentu [12]. Hal ini berarti bahwa proses pengambilan keputusan atau penetapan kebijakan harus objektif, fleksibel dan terstruktur. Dengan demikian dapat diketahui pentingnya model pendukung keputusan, dalam hal ini SMART untuk penetapan area pengembangan ekowisata mangrove prioritas. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini menawarkan gagasan untuk mengelola data hasil klasifikasi NDVI menggunakan model pendukung keputusan SMART berdasarkan studi kasus kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Kontribusi hasil riset ini dapat ditinjau dari aspek teoretis maupun empiris. Secara teoretis, implementasi metode SMART sebagai model pendukung keputusan berbasis data klasifikasi NDVI berkontribusi pada kajian kepariwisataan dan sistem informasi. Secara spesifik, metode penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) dapat dikombinasikan dengan sistem pendukung keputusan (*Decision Support System*) melalui penentuan kriteria dan alternatif hingga penetapan bobot nilai. Secara empiris, rencana pengembangan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya harus bersifat kolektif (berdasarkan dukungan *stakeholders*), objektif (bukan berdasarkan perasaan dan kepentingan pribadi), dan fleksibel (adaptif terhadap perubahan). Luaran penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi pengembangan sistem informasi berbasis website yang aplikatif, serta dapat digunakan oleh pengelola kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya sebagai instrument pendukung keputusan. Dengan demikian, program pengembangan ekowisata mangrove yang ditetapkan bersifat objektif berbasis data spasial sebagaimana kondisi eksisting di masing-masing area pengamatan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari empat tahapan yaitu : tahap pengumpulan data; tahap pengolahan data; tahap analisis dan interpretasi data; dan tahap pelaporan hasil penelitian. Pada tahap pengumpulan data, platform *United States Geology Survey* (USGS) digunakan sebagai sumber data citra satelit. Adapun, data raster yang digunakan bersumber dari *Landsat 8/9 Operational Land Imager* (OLI) pada area amatan Pulau Tagalaya di Kabupaten Halmahera Utara, dengan titik koordinat Lat 01°43'18" N, Lon : 128°04'15" E. Pada tahap pengolahan data, perangkat lunak yang digunakan untuk mengkalkulasikan data raster ialah aplikasi QGIS 3.30.1. Sementara itu, perangkat yang digunakan untuk observasi dan dokumentasi kondisi eksisting kawasan mangrove Pulau Tagalaya ialah drone phantom 4 versi 2, dan kamera Sony a6400. Selanjutnya, pada tahap analisis dan interpretasi data, hasil dari proses pengolahan data raster berdasarkan model NDVI dianalisis dan diinterpretasikan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman kerusakan hutan mangrove. Adapun, hasil klasifikasi diproses menggunakan metode SMART untuk mendapatkan rekomendasi zona prioritas pengembangan ekowisata mangrove, maupun zona prioritas untuk program preservasi hingga rehabilitasi mangrove. Pada tahap pelaporan hasil penelitian, luaran dari penelitian ini dinarasikan dan dipublikasikan melalui jurnal ilmiah. Dengan demikian, penelitian ini dapat berkontribusi secara empiris bagi pengelola kawasan ekowisata mangrove, serta berkontribusi secara teoretis bagi perkembangan kajian kepariwisataan, ekologi mangrove, dan sistem informasi. Adapun alur penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Gambar 1 merupakan alur penelitian ini. Penelitian ini merupakan pengembangan dari beberapa penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan metode penginderaan jarak jauh yakni implementasi metode *hyper spectral of remote sensing* untuk analisis kawasan ekowisata mangrove potensial [13] serta analisis model pengembangan kawasan ekowisata mangrove berbasis *hyper spectral of remote sensing* yang dikombinasikan dengan metode pendukung keputusan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) [14]. Selain itu, Singgalen dan Manongga menegaskan bahwa model NDVI menggambarkan kondisi eksisting mangrove berdasarkan kategori jarang, sedang dan padat, namun metode AHP merupakan model pendukung keputusan dalam menentukan program prioritas untuk menjaga keberlangsungan mangrove [15]. Singgalen menegaskan bahwa adopsi metode pendukung keputusan ialah untuk menetapkan program dan area prioritas secara objektif [16]. Singgalen dan Manongga menunjukkan pelbagai model kalkulasi data raster untuk mengidentifikasi nilai indeks vegetasi yaitu NDVI, *Normalized Difference Water Index* (NDWI), dan *Combined-Mangrove Recognition Index* (CMRI) [17]. Adapun, Singgalen et al. menunjukkan bahwa kondisi mangrove rentan mengalami perubahan seiring dengan berbagai fenomena alam hingga ulah manusia, oleh sebab itu kajian tentang sebaran mangrove perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga keberlangsungan ekosistem [18]. Dalam konteks daerah tertentu, terdapat relasi antara alam dengan manusia khususnya pola penghidupan masyarakat yang tinggal di area pesisir serta dekat dengan kawasan hutan mangrove [19]. Adapun Singgalen menunjukkan bahwa metode penginderaan jarak jauh dapat digunakan untuk memudahkan proses identifikasi dan analisis sebaran mangrove di berbagai area yang sulit dijangkau [20]. Dengan demikian dapat diketahui bahwa kajian

tentang ekowisata mangrove dapat menggunakan metode penginderaan jarak jauh hingga model pendukung keputusan. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini akan membahas lebih jauh pada hasil implementasi model pendukung keputusan SMART berbasis data klasifikasi indeks vegetasi NDVI.

Pendekatan penginderaan jarak jauh yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada tahapan metode *Hyper Spectral of Remote Sensing* yang terdiri dari tahap pengumpulan data, tahap *data pre-processing*, tahap *data processing*, tahap reduksi dimensi, tahap klasifikasi dan analisis. Pada tahap pengumpulan data, sensor data spektral yang digunakan dalam penelitian ini ialah citra satelit Landsat 8/9 OLI yang diakses dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Selanjutnya, *band* spektral yang diambil terbatas pada Kabupaten Halmahera Utara (WGS 84 UTM 52N latitude :1.5074, longitude : 127.8937) yang secara spesifik direduksi berdasarkan koordinat Pulau Tagalaya (Lat 01°43'18" N, Lon : 128°04'15" E). Pada tahap *data pre-processing*, seluruh *band* yang telah dikumpulkan, diproses menggunakan plugin *Semi-Automatic Classification* pada aplikasi QGIS 3.30.1 untuk koreksi atmosferik, geometrik, dan radiometrik. Selanjutnya, pada tahap *data processing*, *band 5* dan *band 4* dikalkulasi menggunakan model NDVI sebagaimana tabel berikut.

Tabel 1. Model NDVI dan Kategori Kerusakan Mangrove

Model	Algoritma	Kategori	Nilai
NDVI	NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)	Jarang	-1<=NDVI<=0,32
		Sedang	0,33<=NDVI<=0,42
		Padat	0,43<=NDVI<=1

Tabel 1 merupakan model NDVI dan kategori kerusakan yang akan dianalisis berdasarkan masing-masing stasiun pengamatan kawasan mangrove di Pulau Tagalaya. 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. Berdasarkan nilai NDVI di masing-masing stasiun pengamatan kawasan mangrove, dapat dilakukan kalkulasi untuk menghasilkan rekomendasi area prioritas berdasarkan model SMART.

Tahapan metode SMART terdiri dari empat bagian sebagai berikut : tahap menentukan kriteria dan alternatif; tahap menentukan nilai alternatif dan bobot kriteria; tahap normalisasi data; dan tahap menghitung nilai utility. Akumulasi dari nilai utility dapat diurutkan (rank) untuk mendapatkan petunjuk tentang rekomendasi zona prioritas. Pada tahap menentukan kriteria dan alternatif, kriteria pertama (C1) ialah nilai minimum, kriteria kedua (C2) ialah nilai rata-rata, dan kriteria ketiga (C3) ialah nilai maksimum. Sementara itu, alternatif pertama (A1) ialah stasiun pengamatan pertama, alternatif kedua (A2) ialah stasiun pengamatan kedua, dan alternatif ketiga (A3) ialah stasiun pengamatan ketiga. Kriteria pertama (C1) dikategorikan sebagai *cost*, dengan bobot nilai 0,50. Sementara itu, Kriteria kedua (C2) dan ketiga (C3) dikategorikan sebagai *benefit* dengan nilai masing-masing 0,25. Selanjutnya, tahap normalisasi menggunakan persamaan berikut :

$$Normalisasi = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^m w_m} \tag{1}$$

Dimana :

w_j = nilai bobot kriteria ke-j

m = jumlah kriteria

w_m = bobot kriteria ke-m

Berdasarkan klasifikasi Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman kerusakan hutan mangrove dapat diketahui bahwa nilai NDVI mencerminkan kondisi eksisting vegetasi di area amatan yang dapat dikategorikan sebagai jarang, sedang dan padat. Oleh sebab itu, normalisasi data nilai kriteria untuk setiap alternatif dilakukan untuk mengubah nilai data yang berbeda menjadi sebanding (*comparable*) menggunakan persamaan berikut :

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \text{ untuk } 1,2, 3, \dots m \text{ dan } j = 1, 2, 3, \dots n \tag{2}$$

Hasil normalisasi data nilai kriteria, dapat dilanjutkan dengan menentukan nilai utility melalui proses konversi nilai kriteria pada masing-masing kriteria, menjadi nilai kriteria data baku. Apabila kriteria tergolong *benefit* maka dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$u_i(ai) = \left(\frac{C_{out} - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \right) \times 100\% \tag{3}$$

Apabila kriteria tergolong *cost* maka dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$u_i(ai) = \left(\frac{C_{max} - C_{out}}{C_{max} - C_{min}} \right) \times 100\% \tag{4}$$

Dimana :

$u_i(ai)$ = nilai utiliti kriteria ke i

C_{max} = nilai kriteria maksimal

C_{min} = nilai kriteria minimal

C_{out} = nilai kriteria ke i

Selanjutnya menentukan nilai akhir dengan mengalikan angka yang diperoleh dari normalisasi nilai kriteria data baku dengan nilai normalisasi bobot kriteria menggunakan persamaan berikut :

$$u_i(ai) = \sum_{j=1}^m w_j u_i(a_i) \tag{5}$$

Dimana :

$u(a_i)$ = nilai total alternatif

w_j = hasil dari normalisasi bobot kriteria

$u_i(ai)$ = hasil penentuan nilai utiliti

Berdasarkan total nilai utiliti dapat diakumulasi dan dilakukan perankingan berdasarkan bobot tertinggi. Alternatif dengan nilai terbesar merupakan alternatif terbaik. Dalam konteks penelitian ini, alternatif dengan nilai terbesar merupakan zona prioritas yang dapat dioptimalkan melalui berbagai program dan kebijakan untuk pengembangan ekowisata mangrove berkelanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penginderaan jarak jauh melalui metode *hyper spectral of remote sensing* dalam proses klasifikasi indeks vegetasi menggunakan model *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Selanjutnya, model pendukung keputusan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART) digunakan untuk merekomendasikan zona prioritas dan zona alternatif untuk kepentingan rehabilitasi dan preservasi hutan mangrove, maupun untuk pengembangan infrastruktur pendukung ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Salah satu tantangan tatakelola kawasan ekowisata mangrove ialah proses pengambilan keputusan yang objektif berbasis data spasial dan faktor-faktor pendukung lainnya. Mempertimbangkan hal tersebut, maka penelitian ini mengadopsi metode *hyper spectral of remote sensing* dan metode *Simple Multi Attribute Rating Technique* untuk menyelesaikan persoalan tersebut.

Penelitian ini menggunakan data hasil studi kasus di kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya, untuk menghasilkan model yang dapat dikembangkan menjadi sistem informasi penetapan zona prioritas dan alternatif dalam berbagai program pembangunan, maupun arah kebijakan dan strategi pengembangan ekowisata. Jumlah kriteria yang ditetapkan dalam kasus penelitian ini terbatas pada nilai minimum, nilai rata-rata, dan nilai maksimum dari model NDVI. Adapun, klasifikasi stasiun pengamatan hanya tiga area dan terbatas pada wilayah amatan mangrove di Pulau Tagalaya. Sementara itu, terdapat beberapa model seperti *Normalized Difference Water Index* (NDWI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Combined-Mangrove Recognition Index* (CMRI), *Mangrove Health Index* (MHI) yang dapat digunakan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan relevan dengan konteks manajemen ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya. Adapun, data raster yang digunakan terbatas pada citra satelit Landsat 8/9 OLI tahun 2013, 2018, dan 2023 yang diperoleh dari platform USGS (*earth explorer*). Selanjutnya, implementasi metode *hyper spectral of remote sensing* menggunakan aplikasi QGIS dan plugin *Semi-Automatic Classification* memudahkan proses koreksi atmosferik, geometric, dan radiometrik. Adapun algoritma NDVI yang digunakan (sebagaimana tabel 1) menghasilkan nilai minimum, nilai rata-rata, nilai maksimum dan kategori kerusakan hutan mangrove pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Klasifikasi Nilai Indeks Vegetasi Berbasis NDVI

Tahun	Stasiun Pengamatan	Nilai Minimum	Nilai Rata-Rata	Nilai Maksimum	Kategori
2013	1	-0,29	0,34	0,48	Jarang
	2	-0,43	0,29	0,45	Jarang
	3	0,27	0,37	0,43	Sedang
2018	1	0,27	0,32	0,43	Jarang
	2	0,33	0,26	0,41	Jarang
	3	-0,21	0,36	0,41	Sedang
2023	1	-0,25	0,32	0,54	Jarang
	2	-0,36	0,30	0,44	Jarang
	3	-0,28	0,39	0,45	Sedang

Tabel 2 merupakan hasil klasifikasi nilai indeks vegetasi berbasis NDVI pada data raster Landsat 8/9 OLI tahun 2013, 2018, dan 2023 di stasiun pengamatan pertama, stasiun pengamatan kedua, dan stasiun pengamatan ketiga. Kategori jarang dan sedang ditetapkan berdasarkan nilai rata-rata yang diperoleh dari hasil kalkulasi data raster menggunakan algoritma NDVI dengan mempertimbangkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman kerusakan hutan mangrove. Berdasarkan hasil kalkulasi data raster

berbasis NDVI dapat diketahui bahwa nilai rata-rata indeks vegetasi di stasiun pertama pada tahun 2013 ialah 0,34 yang menurun di tahun 2018 menjadi 0,32 dan menunjukkan nilai yang sama di tahun 2023 dengan kategori jarang. Selanjutnya, nilai rata-rata indeks vegetasi di stasiun kedua pada tahun 2013 ialah 0,29 yang mengalami penurunan di tahun 2018 menjadi 0,26 dan meningkat di tahun 2023 menjadi 0,30 dengan kategori jarang. Adapun, nilai rata-rata indeks vegetasi di stasiun pengamatan ketiga ialah 0,37 yang mengalami penurunan di tahun 2018 menjadi 0,36 namun meningkat di tahun 2013 menjadi 0,39 dengan kategori sedang. Adapun, dokumentasi potret udara pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Potret Udara Stasiun Pengamatan di Pulau Tagalaya

Gambar 2 merupakan potret udara di masing-masing stasiun pengamatan kawasan Ekowisata Mangrove Pulau Tagalaya. Nilai indeks vegetasi tahun 2013, 2018, dan 2023 dapat dikalkulasi menggunakan model pendukung keputusan SMART untuk menghasilkan rekomendasi zona prioritas dan alternatif dengan tujuan rehabilitasi dan preservasi hutan mangrove, maupun untuk pembangunan infrastruktur pendukung ekowisata mangrove di masing-masing stasiun pengamatan. Dalam penerapan metode SMART, nilai indeks vegetasi NDVI dinormalisasi menggunakan persamaan (2) agar menjadi sebanding (*comparable*). Selanjutnya, nilai utility dihitung berdasarkan kategori kriteria *benefit* maupun *cost* sebagaimana tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai Utility C1 Sebagai *Cost*

Tahun	Alternatif dan Kriteria	C1	C2	C3
2013	A1	0,8	0,625	1
	A2	1	0	0,4
	A3	0	1	0
2018	A1	0,111111111	0,6	1
	A2	0	0	0
	A3	1	1	0
2023	A1	0	0,222222222	1
	A2	1	0	0
	A3	0,272727273	1	0,1

Tabel 3 merupakan hasil kalkulasi nilai utility dari nilai alternatif dan kriteria berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4), dimana kategori C1 ialah *cost* dengan bobot kriteria 0,50, kategori C2 ialah *benefit* dengan bobot kriteria 0,25, dan kategori C3 ialah *benefit* dengan bobot kriteria 0,25. Pertimbangan memberikan nilai 0,50 pada kriteria C1 berhubungan dengan tujuan pengolahan data untuk menghasilkan rekomendasi program rehabilitasi dan preservasi mangrove berdasarkan hasil perhitungan metode SMART. Hasil rekomendasi zona prioritas dan alternatif akan didiskusikan dengan kategori nilai indeks NDVI sehingga dapat dianalisis relevansi hasil pengolahan data citra satelit dengan model pendukung keputusan. Selanjutnya, hasil perhitungan nilai akhir, perankingan dan rekomendasi zona prioritas maupun alternatif dapat dilihat pada tabel berikut.



Tabel 4. Hasil Perankingan dan Rekomendasi Zona Prioritas dan Alternatif

Tahun	Alternatif	Nilai Akhir			Hasil	Urutan	Rekomendasi
2013	A1	0,4	0,15625	0,25	0,80625	1	Zona Prioritas
	A2	0,5	0	0,1	0,60	2	Zona Alternatif
	A3	0	0,25	0	0,25	3	Zona Alternatif
2018	A1	0,055555556	0,15	0,25	0,455555556	2	Zona Alternatif
	A2	0	0	0	0	3	Zona Alternatif
	A3	0,5	0,25	0	0,75	1	Zona Prioritas
2023	A1	0	0,055555556	0,25	0,305555556	3	Zona Alternatif
	A2	0,5	0	0	0,5	1	Zona Prioritas
	A3	0,136363636	0,25	0,025	0,41136364	2	Zona Alternatif

Tabel 4 merupakan hasil perankingan dan rekomendasi zona prioritas dan alternatif yang diklasifikasikan berdasarkan tahun pengambilan data raster (Kriteria C1 sebagai *cost* dengan bobot nilai 0,50). data klasifikasi NDVI tahun 2013, stasiun pengamatan pertama direkomendasikan sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,80, sedangkan stasiun pengamatan kedua dan ketiga menjadi zona alternatif. Sementara itu pada tahun 2018, stasiun pengamatan ketiga direkomendasikan sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,75, sedangkan stasiun pengamatan pertama dan kedua menjadi zona alternatif. Selanjutnya pada tahun 2023, stasiun pengamatan kedua direkomendasikan sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,50 sedangkan stasiun pengamatan pertama dan ketiga menjadi zona alternatif. Rekomendasi zona prioritas pada tabel 4 diperoleh ketika nilai minimum NDVI (C1) dikategorikan sebagai *cost* dengan bobot nilai 0,50 dalam upaya menghasilkan rekomendasi zona prioritas untuk realisasi program rehabilitasi dan preservasi hutan mangrove di masing-masing stasiun pengamatan. Hal ini berarti bahwa urutan dan rekomendasi zona prioritas dan alternatif akan berubah ketika terjadi perubahan kategori benefit dan *cost* serta nilai bobot kriteria sebagaimana tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Utility C3 Sebagai *Cost*

Tahun	Alternatif dan Kriteria	C1	C2	C3
2013	A1	0,2	0,625	0
	A2	0	0	0,6
	A3	1	1	1
2018	A1	0,888888889	0,6	0
	A2	1	0	1
	A3	0	1	1
2023	A1	1	0,222222222	0
	A2	0	0	1
	A3	0,727272727	1	0,9

Tabel 5 merupakan hasil kalkulasi nilai utility dari nilai alternatif dan kriteria berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4), dimana kategori C1 ialah *benefit* dengan bobot kriteria 0,25, kategori C2 ialah *benefit* dengan bobot kriteria 0,25, dan kategori C3 ialah *cost* dengan bobot kriteria 0,50. Pertimbangan memberikan bobot nilai kriteria C3 sejumlah 0,50 ialah intensi untuk mendapatkan rekomendasi zona prioritas dan zona alternatif program pembangunan infrastruktur pendukung aktivitas ekowisata mangrove. Adapun hasil perhitungan nilai akhir, perankingan dan rekomendasi zona prioritas maupun alternatif dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Hasil Perankingan dan Rekomendasi Zona Prioritas dan Alternatif

Tahun	Alternatif	Nilai Akhir			Hasil	Urutan	Rekomendasi
2013	A1	0,05	0,15625	0	0,20625	3	Zona Alternatif
	A2	0	0	0,3	0,3	2	Zona Alternatif
	A3	0,25	0,25	0,5	1	1	Zona Prioritas
2018	A1	0,222222222	0,15	0	0,372222222	3	Zona Alternatif
	A2	0,25	0	0,5	0,750	2	Zona Alternatif
	A3	0	0,25	0,5	0,750	1	Zona Prioritas
2023	A1	0,25	0,055555556	0	0,305555556	3	Zona Alternatif
	A2	0	0	0,5	0,5	2	Zona Alternatif
	A3	0,181818182	0,25	0,45	0,881818182	1	Zona Prioritas

Tabel 6 merupakan hasil perankingan dan rekomendasi zona prioritas dan alternatif yang diklasifikasikan berdasarkan tahun pengambilan data raster (Kriteria C3 sebagai *cost* dengan bobot nilai 0,50). Berdasarkan data klasifikasi NDVI tahun 2013, dapat diketahui stasiun pengamatan ketiga direkomendasikan sebagai zona prioritas dengan total nilai 1, sedangkan stasiun pengamatan pertama dan kedua menjadi zona alternatif. Selanjutnya, berdasarkan data klasifikasi NDVI tahun 2018, stasiun pengamatan ketiga direkomendasikan zona prioritas dengan total nilai 0,75, meskipun memiliki total nilai yang sama dengan stasiun pengamatan kedua (0,75). Pertimbangannya

ialah kategori indeks vegetasi pada stasiun pengamatan ketiga ialah “sedang”, sedangkan kategori indeks vegetasi stasiun pengamatan kedua ialah “jarang”. Hasil kalkulasi tabel 6 bertujuan untuk merekomendasikan zona prioritas yang dapat dijadikan area pengembangan infrastruktur pendukung ekowisata mangrove. Adapun, berdasarkan data klasifikasi NDVI tahun 2023, merekomendasikan stasiun pengamatan ketiga sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,88, sedangkan stasiun pengamatan pertama dan kedua sebagai zona alternatif. Hal ini menunjukkan bahwa rekomendasi zona prioritas pada tabel 6 merujuk pada dari nilai maksimum NDVI (C3) yang dikategorikan sebagai *cost* dengan bobot nilai 0,50. Apabila disesuaikan dengan tabel 2 maka rekomendasi zona prioritas menjadi relevan dengan kondisi kategori “sedang” sebagaimana Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman kerusakan hutan mangrove.

Berdasarkan data hasil interpretasi citra satelit terhadap kondisi eksisting mangrove di Pulau Tagalaya, dapat diketahui adanya perubahan nilai rata-rata indeks vegetasi di masing-masing stasiun pengamatan berdasarkan model NDVI dari tahun 2013 sampai 2023. Pangestu et al. menunjukkan adanya korelasi nilai NDVI dengan tingkat kerapatan vegetasi, meskipun terdapat beberapa model yang dibandingkan dengan hasil klasifikasi NDVI seperti halnya model *Advanced Vegetation Index (AVI)*, *Bare Soil Index (BI)*, *Vegetation Density (VD)* [21]. Hal ini berarti bahwa analisis perubahan nilai indeks vegetasi dapat menggunakan model NDVI untuk menginterpretasikan kondisi vegetasi di suatu wilayah. Disisi lain, Mahfudz menunjukkan bahwa analisis perubahan lahan dapat menggunakan citra satelit Landsat yang dapat diunduh secara gratis dengan resolusi tingkat menengah (spasial, temporal, radiometrik) [22]. Dengan demikian dapat diketahui bahwa penggunaan citra satelit Landsat menjadi pilihan terbaik dalam mengoptimalkan proses identifikasi dan analisis kondisi vegetasi mangrove di lokasi penelitian.

Luaran penelitian ini terbatas pada rekomendasi zona prioritas dan alternatif yang disesuaikan dengan kepentingan rehabilitasi dan preservasi hutan mangrove, serta kepentingan pembangunan infrastruktur pendukung ekowisata. Sebaran mangrove di pesisir pantai Pulau Tagalaya dengan terumbu karang dan kondisi perairan yang tergolong unik, menjadikan Pulau Tagalaya sebagai destinasi wisata favorit bagi wisatawan domestik. Kondisi eksisting mangrove di Pulau Tagalaya perlu dilindungi melalui kebijakan dan program yang tepat guna. Dalam upaya menghasilkan kebijakan yang objektif dan program yang relevan dengan kondisi eksisting, maka metode SMART menjadi salah satu model pendukung keputusan yang relevan digunakan dalam penelitian ini. Raynor et al. menunjukkan bahwa model pendukung keputusan SMART dapat dikembangkan menjadi sistem informasi berbasis website yang dapat digunakan oleh seluruh pemangku kepentingan [23]. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan metode SMART menjadi sistem informasi diperlukan dalam berbagai proses pengambilan keputusan untuk menentukan zona prioritas dan zona alternatif. Adapun, pengembangan sistem berbasis metode SMART memungkinkan pengolahan data tidak terbatas pada konteks Pulau Tagalaya, melainkan juga pulau-pulau sekitar seperti Pulau Kakara dan Pulau Kumo.

Berdasarkan hasil implementasi metode *hyper spectral of remote sensing* di masing-masing stasiun pengamatan Pulau Tagalaya memiliki daya tarik yang beragam, terutama kondisi perairan dan terumbu karang yang menarik wisatawan untuk melakukan aktivitas *snorkeling* hingga *diving*. Potensi wisata bahari, pantai dan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya perlu dioptimalkan dari sisi manajemen atau tatakelola destinasi sehingga mendatangkan keuntungan ekonomi, meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal, serta melindungi ekosistem lingkungan. Disisi lain, pemangku kepentingan di sektor pariwisata berperan penting dalam menggerakkan aktivitas ekonomi-pariwisata, membangun infrastruktur, serta mendorong perkembangan aksesibilitas. Oleh sebab itu, proses pengambilan keputusan dalam penetapan kebijakan dan program prioritas seyogianya bersifat objektif, serta berbasis data spasial yang mencerminkan kondisi eksisting vegetasi mangrove Pulau Tagalaya. Dengan demikian, program pengembangan infrastruktur pariwisata menjadi terkendali serta bermanfaat bagi masyarakat lokal. Adapun, kondisi mangrove di stasiun pengamatan ketiga Pulau Tagalaya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Kondisi Eksisting Stasiun Pengamatan Ketiga

Gambar 3 menggambarkan kondisi eksisting mangrove di stasiun pengamatan ketiga. Lokasi ini dimanfaatkan sebagai tempat berlabuh wisatawan lokal yang menggunakan moda transportasi laut tradisional (*ketinting*) untuk aktivitas *snorkeling* dan *fishing*. Meskipun demikian, di beberapa lokasi pantai masih ditemukan sampah plastik yang terbawa arus laut, maupun yang sengaja dibuang penunjang. Oleh sebab itu, area ini perlu dibangun infrastruktur



pendukung berupa fasilitas observasi mangrove dan pengawasan aktivitas wisata, agar dapat dimonitoring secara optimal. Hal ini menunjukkan bahwa hasil implementasi metode *hyper spectral of remote sensing* dan *Simple Multi-Attribute Rating Technique* dapat digunakan sebagai rekomendasi zona prioritas dan alternatif untuk mengoptimalkan program rehabilitasi dan preservasi mangrove maupun pembangunan infrastruktur pendukung ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data citra satelit Landsat 8/9 OLI melalui model *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dapat diklasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman kerusakan hutan mangrove. Selanjutnya, hasil klasifikasi NDVI dapat diproses menggunakan model pendukung keputusan *Simple Multi Attribute Ranking Technique* (SMART) untuk memperoleh rekomendasi zona prioritas dan zona alternatif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode SMART dapat disesuaikan dengan tujuan penetapan zona prioritas dan alternatif untuk kepentingan rehabilitasi dan preservasi, maupun kepentingan pembangunan infrastruktur pendukung ekowisata mangrove. Berdasarkan hasil kalkulasi nilai utility kriteria C1 sebagai *cost* dengan bobot 0,50 pada data klasifikasi NDVI tahun 2023, direkomendasikan stasiun pengamatan kedua sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,5. Adapun, hasil kalkulasi nilai utility kriteria C3 sebagai *cost* dengan bobot 0,50 pada data klasifikasi NDVI tahun 2023, direkomendasikan stasiun pengamatan ketiga sebagai zona prioritas dengan total nilai 0,88. Hal ini berarti bahwa metode SMART dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis zona prioritas dan zona alternatif untuk kepentingan pengembangan kawasan ekowisata mangrove yang berkelanjutan.

REFERENCES

- [1] S. A. Suleman and S. Bur, "Mitigasi Bencana Abrasi dan Sedimentasi Pantai PADA di Pesisir Pantai Kabupaten Pangkep," in *Seminar Sains dan Teknologi Kelautan*, 2022, no. November, pp. 1–6.
- [2] M. A. G. Al Hakim, S. B. Susilo, and J. L. Gaol, "Deteksi Turbidity Front Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 Hubungannya dengan Oseanografi di Estuari Bengawan Solo," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 14, no. 3, pp. 337–352, 2022, [Online]. Available: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- [3] B. Yuniasih and A. R. P. Adji, "Evaluasi Kondisi Kebun Kelapa Sawit Menggunakan Indeks NDVI dari Citra Satelit Sentinel 2," *J. TEKNOTAN*, vol. 16, no. 2, pp. 127–132, 2022, doi: 10.24198/jt.vol16n2.10.
- [4] Amal, W. Sanusi, and M. Rakib, "Analisis Kerapatan Mangrove Menggunakan Metode NDVI di Kawasan Mangrove Untia Kota Makassar," *J. Environ. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 127–133, 2023.
- [5] 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)," vol. 18, no. 2, pp. 285–292, 2023.
- [6] 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.
- [7] S. Febrianto, H. A. Syafina, N. Latifah, and M. R. Muskananfolo, "Dinamika Perubahan Luasan dan Kerapatan Ekosistem Mangrove Di Kawasan Taman Nasional Sembilang Menggunakan Citra Satelit Landsat 8," *J. Kelaut. Trop.*, vol. 25, no. 3, pp. 369–377, 2022, doi: 10.14710/jkt.v25i3.14909.
- [8] N. Rahma, Y. Amrozi, N. D. F. Salsabila, and M. H. Miqdad, "Telaah Kajian Pustaka Pemodelan Sistem Pendukung Keputusan Pada Usaha Mikro Kecil dan Menengah," *J. Simantec*, vol. 11, no. 2, pp. 185–190, 2023.
- [9] A. J. Nasution, "Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan Metode Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART) untuk Penilaian Kinerja Karyawan pada PT. Trans Engineering Sentosa," *J. Pelita Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 143–148, 2019.
- [10] H. Domopolli, R. Takdir, A. Zakaria, M. Latief, R. H. Dai, and I. R. Padiku, "Sistem Pendukung Keputusan Bantuan Stimulan Rumah Swadaya Menggunakan Metode Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART)," *J. Syst. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 101–112, 2023.
- [11] A. Akram, M. Ridha, A. Fauzan, R. Ramadhan, and Rendi, "Strategi Pengembangan Ekowisata Mangrove di Desa Nisombalia Kabupaten Maros Sulawesi Selatan," *J. Techno-Fish*, vol. 7, no. 1, pp. 97–117, 2023.
- [12] N. Asyifa and Suhirman, "Peran Stakeholder Terhadap Pengembangan Destinasi Ekowisata Mangrove Siak," *War. Pariwisata*, vol. 21, no. 1, pp. 18–25, 2023.
- [13] Y. A. Singgalen, "Implementasi Hyper Spectral of Remote Sensing untuk Analisis Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial di Kecamatan Tobelo Timur," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 928–935, 2023, doi: 10.47065/josh.v4i3.3378.
- [14] Y. A. Singgalen, "Analisis Model Pengembangan Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial Berbasis Hyper Spectral of Remote Sensing dan Analytical Hierarchy Process," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 969–979, 2023, doi: 10.47065/josh.v4i3.3385.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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, doi: 10.29244/jitkt.v14i1.37605.
- [18] 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.

- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] K. H. Pangestu, A. Jauhari, and Udiansyah, “Analisis Korelasi Nilai NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dengan Vegetation Density di KHDTK Universitas Lambung Mangkurat,” *J. Sylva Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 384–392, 2023.
- [22] M. Mahfudz, “ANALISIS PERUBAHAN LAHAN PERMUKIMAN MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 (Studi Kasus: Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat),” *J. Tek.*, vol. 24, no. 1, pp. 23–29, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unpak.ac.id/index.php/jurnalteknik/article/view/7997>
- [23] Raynor, Humdiana, E. S. Dasawaty, S. Birowo, B. Wasito, and A. Budi, “Implementasi Metode SMART Berbasis Web dalam Membuat Sistem Penunjang Keputusan Smartphone sesuai Kebutuhan Masyarakat pada Marketplace Tokopedia,” *J. Ilm. Hosp.*, vol. 11, no. 1, pp. 710–718, 2022, [Online]. Available: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>