



# Analisis Indeks Vegetasi dan Perancangan Sistem Monitoring Kawasan Ekowisata Mangrove Berbasis Hyper Spectral of Remote Sensing dan Design Thinking Framework

Yerik Afrianto Singgalen

Fakultas Ilmu Administrasi Bisnis dan Ilmu Komunikasi, Prodi Pariwisata, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta  
Jl. Jend. Sudirman No.51, RT.004/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: 02/08/2023; Accepted: 18/10/2023; Published: 23/10/2023

**Abstrak**—Salah satu tantangan dalam pengambilan keputusan untuk penetapan arah kebijakan dan program pengembangan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya ialah ketersediaan basis data mangrove di masing-masing stasiun pengamatan, serta model penginderaan jarak jauh yang digunakan untuk mengidentifikasi kerapatan hutan mangrove. Penelitian ini menawarkan gagasan untuk menggabungkan metode hyper spectral of remote sensing yakni teknik penginderaan jarak jauh (remote sensing) dengan metode perancangan sistem informasi design thinking framework. Adapun, lokasi penelitian ini ialah kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penginderaan jarak jauh sangat relevan digunakan dalam mengidentifikasi dan menganalisis data spasial khususnya nilai indeks berdasarkan model NDVI di masing-masing stasiun pengamatan Pulau Tagalaya. Hasil kalkulasi data raster 2023 di kawasan mangrove pulau Tagalaya menunjukkan bahwa stasiun pengamatan pertama dan kedua termasuk kategori jarang. Selain itu, stasiun pengamatan ketiga termasuk kategori sedang. Selanjutnya, solusi atas permasalahan basis data mangrove dalam penetapan arah kebijakan dan program ekowisata mangrove Tagalaya ialah sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Tagalaya (SIMOKE Tagalaya). Dengan demikian, kombinasi metode hyper spectral of remote sensing dan perancangan sistem informasi menggunakan design thinking framework menjadi relevan dan kontekstual sebagaimana masalah dan solusi atas masalah yang dihadapi dalam optimalisasi program monitoring kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya.

**Kata Kunci:** Indeks Vegetasi; Ekowisata; Mangrove; Penginderaan Jarak Jauh; Tagalaya

**Abstract**—One of the challenges in decision-making for determining the direction of mangrove ecotourism development policies and programs on Tagalaya Island is the availability of mangrove databases at each observation station and remote sensing models used to identify mangrove forest density. This research offers the idea of combining the hyperspectral method of remote sensing with the information system design method design thinking framework. Meanwhile, the location of this research is the mangrove ecotourism area of Tagalaya Island, North Halmahera Regency, North Maluku Province, Indonesia. The findings of this study demonstrate the need to use remote sensing to locate and evaluate spatial data, particularly index values based on NDVI models for each Tagalaya Island observation station. The first and second observation stations are shown to be included in the unusual group by the computation results of the 2023 raster data in the mangrove area of Tagalaya Island. The third observation station is also included in the medium category. The monitoring information system for the Tagalaya mangrove ecotourism region is also a solution to the mangrove database challenge in deciding the direction of Tagalaya mangrove ecotourism policies and activities (SIMOKE Tagalaya). Thus, the problems and solutions encountered in enhancing the monitoring program of mangrove ecotourism areas on Tagalaya Island become relevant and contextual when applying the hyperspectral method of remote sensing and information system design using a design thinking framework.

**Keywords:** Vegetation Index; Mangrove; Ecotourism; Remote Sensing; Tagalaya

## 1. PENDAHULUAN

Penginderaan jarak jauh menjadi salah satu pendekatan yang populer digunakan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting vegetasi kawasan ekowisata mangrove. Rombe et al. menunjukkan bahwa penginderaan jarak jauh dibutuhkan dalam analisis indeks vegetasi lingkungan mangrove sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang menyebabkan perubahan lanskap akibat konversi lahan, pembangunan infrastruktur pariwisata dan pengembangan usaha lokal yang berdampak pada lingkungan [1].

Disisi lain, Schadow et al. menunjukkan bahwa analisis indeks vegetasi mangrove dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, salah satunya penginderaan jarak jauh (remote sensing) menggunakan data citra satelit [2]. Perkembangan kajian tentang analisis indeks vegetasi ekowisata mangrove di Indonesia perlu ditingkatkan untuk mendapatkan gambaran tentang kondisi eksisting lanskap sebelum dan setelah pengembangan infrastruktur pariwisata. Hal ini berarti luaran penelitian ini dapat dikembangkan menjadi rekomendasi program pengendalian atau pengawasan kawasan mangrove yang diintegrasikan dengan program pembangunan pariwisata daerah. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini menawarkan gagasan untuk menganalisis indeks vegetasi mangrove di Pulau Tagalaya, serta merancang sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove.

Analisis nilai indeks vegetasi mangrove dapat dilakukan menggunakan metode hyper spectral of remote sensing berdasarkan data citra satelit yang diambil berdasarkan titik kordinat dan waktu pengambilan citra satelit. Singgalen menunjukkan bahwa nilai indeks vegetasi mangrove perlu dimonitoring secara berkala menggunakan



model Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) yang menggambarkan tingkat kepadatan vegetasi di suatu wilayah [3].

Selanjutnya, Singgalen menegaskan bahwa masing-masing kawasan ekowisata mangrove memiliki kepadatan yang berbeda sehingga perlu dianalisis secara kontekstual [4]. Adapun, program pembangunan infrastruktur pariwisata di kawasan mangrove serta konteks penghidupan masyarakat yang berhubungan dengan pemanfaatan sumber daya hutan mangrove perlu dianalisis secara komprehensif sehingga dapat direkomendasikan sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove yang relevan dengan konteks sosial-budaya, politik, ekonomi dan teknologi [4], [5]. Hal ini berarti bahwa pendekatan metode hyper spectral of remote sensing dan model Normalized Difference Vegetation Index dapat digunakan dalam menganalisis nilai vegetasi kawasan mangrove di Pulau Tagalaya dengan mempertimbangkan konteks penghidupan masyarakat lokal dan program pengembangan pariwisata daerah.

Beberapa studi tentang penginderaan jarak jauh pada kawasan mangrove menunjukkan bahwa komposisi dan kepadatan jenis vegetasi mangrove perlu dilindungi meskipun telah dikembangkan sebagai daya tarik utama ekowisata maupun eduwisata. Aliviyanti et al. menunjukkan bahwa tingkat kepadatan atau penutupan vegetasi menjadi standar penilaian kesehatan mangrove yang dinilai berdasarkan kategori jarang, sedang, dan padat [6]. Selanjutnya, Farhaby et al. menegaskan bahwa tingkat kesehatan mangrove dapat diamati berdasarkan stasiun pengamatan sehingga rekomendasi aktivitas wisata dapat diselenggarakan berdasarkan kawasan mangrove yang termasuk kategori padat, sementara kawasan yang tergolong jarang dapat direkomendasikan program rehabilitasi terlebih dahulu [7].

Disisi lain, Radongkir et al. menunjukkan bahwa komposisi hutan mangrove perlu diamati berdasarkan jenis dan lokasi [8]. Hal ini menunjukkan bahwa kajian analisis indeks vegetasi perlu dilanjutkan dengan perancangan sistem informasi monitoring kawasan ekowisata berbasis website untuk mempermudah proses pengawasan sebaran jenis mangrove di stasiun pengamatan. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini menggunakan kerangka kerja Design Thinking dalam perancangan sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya.

Kabupaten Halmahera Halmahera Utara, kawasan mangrove di Pulau Tagalaya memiliki daya tarik tersendiri. Meskipun demikian, studi tentang analisis indeks vegetasi dan perancangan sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove masih sangat terbatas. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang terbatas pada pembahasan mengenai pola penghidupan masyarakat di sekitar kawasan mangrove [9], nilai-nilai sosio-kultural masyarakat, ekonomi pariwisata, dan pemanfaatan sumber daya hutan mangrove [10]. Adapun, Singgalen et al. menunjukkan bahwa analisis perubahan nilai indeks vegetasi mangrove dapat ditinjau berdasarkan berbagai pendekatan selain NDVI yakni Normalized Difference Water Index (NDWI) dan Combined Mangrove Recognize Index (CMRI) [11].

Selanjutnya, analisis perubahan nilai indeks vegetasi akibat pembangunan infrastruktur dapat menggunakan pendekatan Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), dan Built Up Index (BU) [5]. Hal ini menunjukkan perlunya ditetapkan stasiun pengamatan dan model yang relevan dengan analisis perubahan nilai vegetasi mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara. Mempertimbangkan hal tersebut maka data raster yang digunakan berasal dari USGS Earth Explorer dengan koordinat (latitude 1.7219 dan longitude 128.0711) tahun 2013, 2018, dan 2023. Selanjutnya, model yang digunakan dalam kalkulasi data raster ialah NDVI.

Penginderaan jarak jauh kawasan ekowisata diperlukan untuk mengidentifikasi perubahan kepadatan hutan mangrove secara berkala, serta menganalisis risiko akibat pembangunan infrastruktur untuk kepentingan pariwisata maupun kepentingan sektor pendukung lainnya. Segaran et al. menunjukkan bahwa perkembangan kajian tentang program pengawasan dan pengendalian kawasan mangrove masih terbatas pada isu keberlanjutan berbasis data citra satelit hasil penginderaan jarak jauh, identifikasi komposisi atau struktur kawasan mangrove serta analisis sebaran mangrove di berbagai stasiun pengamatan [12].

Selain itu, Eriesta et al. menekankan bahwa pemetaan sebaran flora dan fauna di kawasan wisata potensial sangat penting dalam mengidentifikasi potensi wisata [13]. Hal ini berarti sistem informasi monitoring ekowisata mangrove dibutuhkan untuk menyimpan data jenis mangrove berdasarkan lokasi dan stasiun pengamatan. Mempertimbangkan hal tersebut maka perancangan sistem informasi monitoring ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, mengadopsi kerangka kerja Design Thinking.

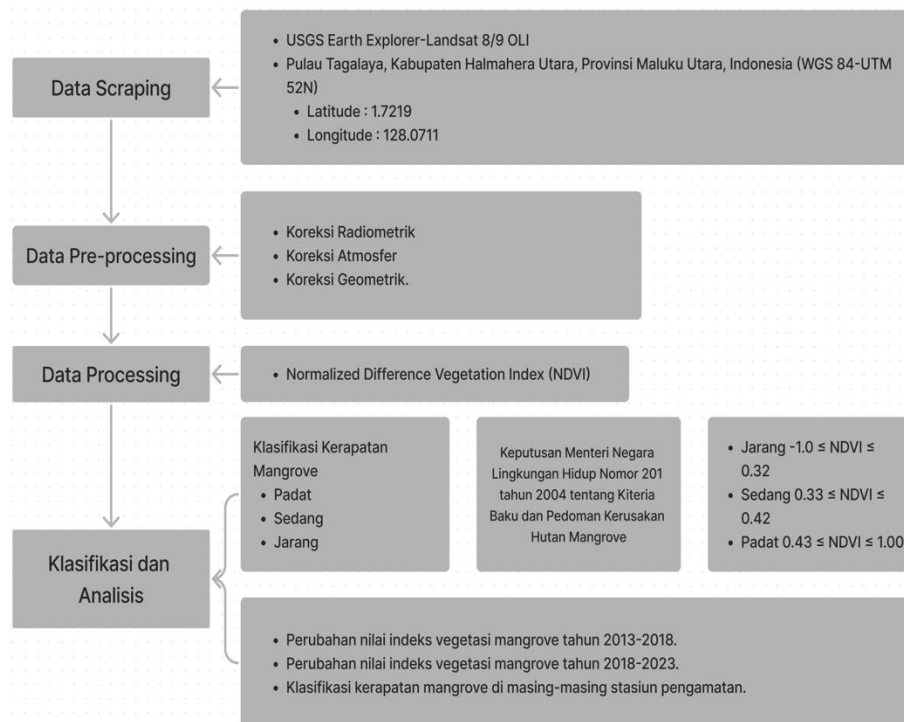
Perancangan sistem informasi monitoring ekowisata mangrove merupakan visualisasi data digital dan pemetaan stasiun pengamatan berbasis website. Sistem informasi monitoring ekowisata mangrove diperlukan untuk mempermudah proses perancangan program dan penetapan arah kebijakan pembangunan. Ripanti merancang sistem informasi pengolahan hutan mangrove berbasis website dapat dirancang menggunakan pendekatan Software Development Life Cycle (SDLC) dan diintegrasikan dengan konsep economy circular [14].

Disisi lain, Sugara et al. melakukan penginderaan jarak jauh dan pemetaan kawasan mangrove berbasis Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk mengoptimalkan fungsi monitoring [15]. Hal ini berarti bahwa perancangan sistem informasi dibutuhkan untuk mengoptimalkan manajemen kawasan ekowisata mangrove. Penelitian ini menawarkan gagasan untuk mengadopsi kerangka kerja Design Thinking dalam perancangan sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Hyper Spectral of Remote Sensing: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) terdiri dari beberapa tahapan yaitu tahap pemilihan sensor, tahap pre-processing data citra satelit, tahap processing data raster, tahap klasifikasi dan analisis. Metode Hyper Spectral of Remote Sensing merupakan bagian dari teknik penginderaan jarak jauh yang mengolah data raster citra satelit berdasarkan koordinat suatu wilayah, untuk mengidentifikasi dan menganalisis nilai indeks vegetasi [16]. Metode ini telah digunakan dalam penelitian sebelumnya, untuk menginterpretasikan kondisi vegetasi mangrove berdasarkan nilai indeks yang dihasilkan dari model NDVI berdasarkan konteks masing-masing wilayah (kontekstual) [3], [4], [11], [17]–[21]. Metode penginderaan jauh hiperspektral merupakan metode yang menggunakan informasi spektral yang sangat rinci untuk menganalisis objek-objek di permukaan bumi. Dalam konteks analisis indeks vegetasi kawasan mangrove, metode ini mempunyai implikasi penting. Dengan menggunakan spektrum elektromagnetik yang luas, metode hiperspektral memungkinkan pemisahan spektral yang lebih baik antara berbagai jenis tumbuhan, termasuk tumbuhan bakau pada umumnya. Oleh karena itu, analisis indeks vegetasi seperti Indeks Vegetasi Tropis (TVDI) atau Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dapat ditingkatkan akurasi melalui data hiperspektral. Keuntungan utama dari metode ini terletak pada kemampuannya untuk mengidentifikasi spesies tanaman bakau tertentu, mendeteksi tekanan vegetasi dan memantau perubahan tanah dengan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode penginderaan jauh konvensional. Dalam konteks pengelolaan ekosistem mangrove, penerapan metode hiperspektral dapat memberikan wawasan mengenai status vegetasi, sebaran spasial, dan dinamika temporal, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih relevan dalam upaya konservasi dan restorasi kawasan mangrove. Adapun, tahapan-tahapan dari metode Hyper Spectral of Remote Sensing dapat dilihat pada gambar berikut.



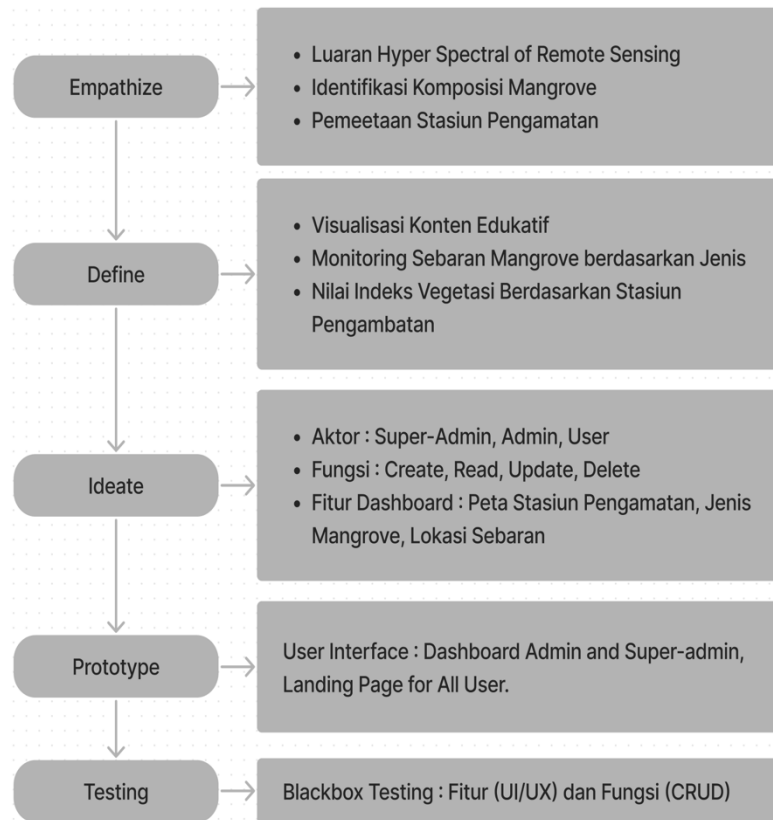
**Gambar 1.** Tahapan dalam Metode Hyper Sepectral of Remote Sensing

Gambar 1 merupakan tahapan dalam implementasi metode Hyper Sepectral of Remote Sensing. Pada tahap data scraping, platform USGS Earth Explorer digunakan sebagai sumber data raster. Adapun, data raster yang digunakan ialah Landsat 8/9 OLI dengan kordinat (latitude 1.7219 dan longitude 128.0711). Data raster yang akan dianalisis ialah data citra satelit tanggal 1 July 2013, tanggal 19 Agustus 2018, dan tanggal 30 Juni 2023. Selanjutnya, pada tahap data pre-processing, proses koreksi radiometrik, koreksi atmosfer dan geometrik dilakukan sehingga dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya. Pada tahap data processing, algoritma yang digunakan sebagai model analisis indeks vegetasi ialah Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Adapun proses klasifikasi dan analisis disesuaikan dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Kerusakan Mangrove. Selain itu, observasi di kawasan mangrove menggunakan drone Phantom 4 Versi 2 serta kamera Sony a6400. Klasifikasi kerusakan hutan mangrove disesuaikan dengan nilai NDVI sehingga dapat disimpulkan sebagai jarang, sedang dan padat. Selanjutnya, analisis perubahan nilai indeks tahun 2013 sampai 2023 disesuaikan dengan masing-masing stasiun pengamatan yang telah

dipetakan dalam bentuk pemetaan digital berbasis sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya.

## 2.2 Design Thinking Framework : Sistem Informasi Monitoring Ekowisata Mangrove Pulau Tagalaya

Metode design thinking terdiri dari beberapa tahapan yakni tahapan empathize, define, ideate, prototype, dan testing yang memiliki keunggulan pada pemahaman konteks perancangan sistem, prototype dan pengujian sistem. Kerangka kerja design thinking diadopsi untuk merancang sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya. Pertimbangan menggunakan kerangka design thinking ialah sebagai berikut : pertama, tahap empathize, tahap define, dan tahap ideate merupakan serangkaian proses penyesuaian konteks sistem informasi berdasarkan kebutuhan pengguna sistem dalam hal ini pemangku kebijakan selaku pengelola kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara; kedua, tahap prototype dan testing merupakan realisasi ide atau gagasan menjadi website yang secara visual memudahkan pengguna sistem untuk memanfaatkan fitur dan fungsi operasional (Create, Read, Update, and Delete) sistem sehingga mendukung kinerja lembaga pengelola kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya; ketiga, menjadi media pembelajaran atau edukasi publik tentang pentingnya partisipasi seluruh pihak dan pemangku kepentingan untuk melestarikan hutan mangrove melalui konten informasi edukatif yang dipublikasikan secara rutin. Mempertimbangkan hal tersebut, maka tahapan dalam perancangan sistem informasi monitoring ekowisata mangrove Pulau Tagalaya mengadopsi kerangka kerja design thinking sebagaimana gambar berikut.



Gambar 2. Design Thinking Framework

Gambar 2 merupakan kerangka kerja design thinking yang terdiri dari tahap empathize, define, ideate, prototype, dan testing. Tahap empathize, merupakan proses identifikasi kebutuhan serta masalah yang dihadapi oleh user yang berhubungan dengan proses monitoring kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya. Hasil identifikasi kebutuhan user ialah sebagai berikut : pertama, kebutuhan akan data nilai indeks vegetasi dan pemetaan berdasarkan stasiun pengamatan atau zona; kedua, kebutuhan akan visualisasi data berbasis website yang dapat diakses secara daring oleh pemangku kepentingan; ketiga, kebutuhan akan data spasial yang selalu diperbaharui secara berkala sehingga dapat dijadikan rujukan pengambilan keputusan. Mempertimbangkan hal tersebut maka luaran dari metode hyper spectral of remote sensing digunakan sebagai konten data spasial yang dapat diunggah ke dalam sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya.

Pada tahap define, masalah yang dihadapi oleh pengguna sistem diidentifikasi dan dianalisis berdasarkan kebutuhan pengguna. Masalah yang telah diidentifikasi ialah sebagai berikut : pertama, terbatasnya konten edukatif yang berhubungan dengan kondisi eksisting mangrove Pulau Tagalaya serta himbuan partisipasi public dalam pemeliharaan kawasan mangrove; kedua, aktivitas wisata di kawasan mangrove tergolong wisata minat khusus yang terintegrasi dengan aktivitas wisata bahari serta pantai, sehingga pembangunan infrastruktur

pendukung wisata bahari dan pantai berpotensi menyebabkan perubahan nilai indeks hutan mangrove di masing-masing stasiun pengamatan; ketiga, belum tersedia kebijakan pengelolaan di zona pemanfaatan lahan kawasan mangrove Pulau Tagalaya, untuk pembangunan infrastruktur di bidang layanan akomodasi dan amenitas; keempat, belum tersedia sistem informasi monitoring ekowisata mangrove Pulau Tagalaya berdasarkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Mempertimbangkan hasil identifikasi masalah dapat diketahui bahwa kebutuhan pengguna sistem dan strategi penyelesaian masalah perlu diseleksi sesuai dengan skala prioritas sehingga perancangan sistem dapat mengakomodir kebutuhan dan menjadi solusi atas permasalahan yang dihadapi oleh pengguna sistem.

Pada tahap ideate, gagasan konstruktif untuk menyelesaikan masalah dan mengakomodir kebutuhan pengguna sistem dalam sebuah sistem terintegrasi berbasis Sistem Informasi Geografi (SIG) dapat dirancang menggunakan Unified Modeling Language (UML) dengan struktur sistem berbasis website. Mempertimbangkan hal tersebut maka aktor-aktor sebagai pengguna sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya ialah super-admin, admin, dan user. Masing-masing aktor memiliki otoritas yang berbeda, super-admin memiliki otoritas untuk menambah dan mengurangi akun admin dan user, serta memanfaatkan seluruh fitur dan fungsi operasional website. Sementara itu, admin memiliki otoritas untuk menambah, mengurangi, memperbaharui, dan melihat data dan akun user. Adapun, user memiliki otoritas untuk melihat data dalam bentuk informasi yang tertera di dalam sistem (website).

Pada tahap prototype, visualisasi halaman dashboard untuk super-admin dan admin, serta landing page untuk user memiliki tampilan antarmuka (user interface) yang berbeda. Tema utama merujuk pada kata kunci "Mangrove", dengan demikian warna dan desain antarmuka disesuaikan dengan tema, sehingga dapat diberikan nama "SIMOKE Tagalaya" yang berarti Sistem Informasi Monitoring Kawasan Ekowisata Tagalaya. SIMOKE Tagalaya merupakan sistem informasi khusus yang menampung informasi hasil pengolahan data citra satelit berdasarkan algoritma NDVI maupun model hasil kalkulasi data raster lainnya, yang divisualisasikan dalam bentuk sistem informasi berbasis website dan dapat diakses oleh pemangku kepentingan untuk penetapan arah kebijakan dan program pengembangan pariwisata daerah, hingga program pemeliharaan hutan mangrove.

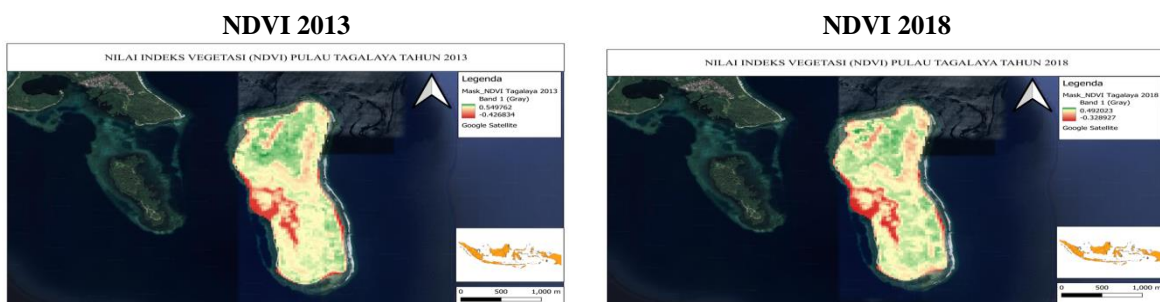
Pada tahap testing, hasil perancangan antarmuka (user interface) diintegrasikan dengan pengalaman operasional sistem berdasarkan fungsi CRUD untuk menambahkan atau membuat data baru (Create), melihat data yang spesifik (Read), memperbaharui data yang telah diinput sebelumnya (Update), mengurangi atau menghapus data (Delete). Ujicoba merupakan tahap akhir dalam perancangan SIMOKE Tagalaya, dimana pembaharuan sistem akan diprogramkan secara berkala untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi sistem sehingga dapat digunakan oleh pengguna, serta mendukung performa atau kinerja lembaga yang bertanggungjawab mengoptimalkan kawasan hutan mangrove di Pulau Tagalaya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode Hyper Spectral of Remote Sensing yakni penginderaan jarak jauh berbasis data raster (citra satelit-landsat 8/9 OLI) dengan metode perancangan aplikasi menggunakan kerangka kerja Design Thinking. Luaran dari penelitian ini dalam bentuk prototype sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Tagalaya (SIMOKE Tagalaya).

#### 3.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Pulau Tagalaya tahun 2013, 2018, dan 2023

Studi tentang analisis indeks vegetasi menggunakan model NDVI dapat digunakan sebagai data spasial untuk mengatasi ancaman kerusakan lingkungan di suatu daerah. Rakuasa dan Sihasale menggunakan model NDVI dalam analisis nilai vegetasi di kota Ambon untuk mengidentifikasi perubahan lanskap sebagai dampak dari pembangunan infrastruktur [22]. Disisi lain, Sun et al. menunjukkan bahwa model NDVI digunakan untuk memonitoring aktivitas vegetasi di suatu wilayah [23]. Hal ini berarti bahwa data raster yang diolah menggunakan pendekatan penginderaan jarak jauh dapat digunakan sebagai rekomendasi kebijakan serta dasar perancangan program pengawasan aktivitas pembangunan. Dalam konteks penelitian ini, pengembangan ekowisata mangrove Pulau Tagalaya perlu dimonitoring secara optimal menggunakan basis data spasial di masing-masing stasiun pengamatan sebaran mangrove Pulau Tagalaya. Pada gambar berikut dapat dilihat hasil kalkulasi model NDVI Pulau Tagalaya tahun 2013, 2018, dan 2023.



**NDVI 2023**



**Gambar 3.** NDVI Pulau Tagalaya Tahun 2013, 2018, dan 2013

Gambar 3 merupakan visualisasi data raster Landsat 8/9 OLI yang telah dikalkulasi menggunakan model NDVI dan diekstrak berdasarkan wilayah administratif Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Pada tahun 2013, nilai indeks vegetasi berdasarkan model NDVI menunjukkan angka minimal -0,42 dan maksimal 0,54 dimana area sekitar hunian warga dimanfaatkan untuk aktivitas pertanian dan perkebunan. Pada tahun 2018, nilai indeks vegetasi berdasarkan model NDVI menunjukkan angka minimal -0,32 dan maksimal 0,49 yang menunjukkan perubahan kondisi vegetasi di sekitar area permukiman dan kondisi mangrove yang membaik di stasiun pengamatan kedua dan stasiun pengamatan ketiga. Pada tahun 2023, nilai indeks vegetasi berdasarkan model NDVI menunjukkan angka minimal -0,35 dan maksimal 0,54. Sementara itu, pada stasiun pengamatan pertama dapat diketahui adanya perubahan nilai NDVI yang signifikan sebagaimana gambar berikut.

**NDVI 2013**



**NDVI 2018**



**NDVI 2023**

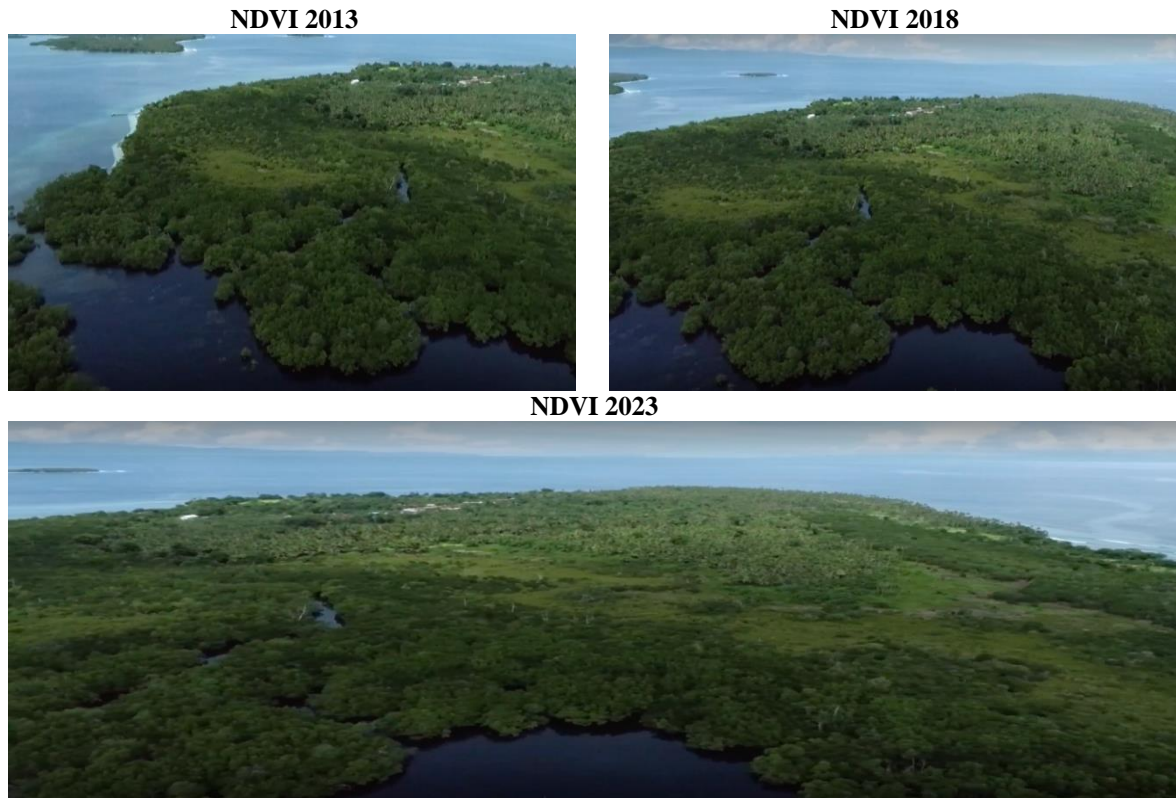


**Gambar 4.** NDVI Stasiun Pengamatan Pertama Tahun 2013, 2018, dan 2023

Gambar 4 merupakan hasil kalkulasi data raster tahun 2013, 2018, dan 2023 di stasiun pengamatan pertama dimana, nilai NDVI stasiun pengamatan pertama tahun 2013 (minimal -0,28 dan maksimal 0.48), tahun 2018

(minimal -0,27 dan maksimal 0,43), dan tahun 2023 (minimal -0,25 dan maksimal 0,53). Secara spesifik, nilai rata-rata NDVI mengalami perubahan dari 0,34 di tahun 2013 menjadi 0,32 di tahun 2023. Dalam klasifikasi nilai NDVI berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Kerusakan Mangrove dapat diketahui bahwa kategori jarang ( $-1 < \text{NDVI} < 0,32$ ) sedangkan kategori sedang ( $0,33 < \text{NDVI} < 0,43$ ). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi eksisting mangrove di stasiun pengamatan pertama mengalami perubahan kategori dari sedang menjadi jarang.

Penggunaan teknologi penginderaan jarak jauh dengan memanfaatkan model NDVI berperan sangat penting dalam pembentukan kebijakan perlindungan wilayah pesisir dan kepulauan, terutama di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Pulau Tagalaya menampilkan keanekaragaman ekosistem pesisir yang mencakup hutan mangrove dan lahan basah, yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekologis dan keharmonisan ekosistem pesisir. Pendekatan NDVI dalam analisis penginderaan jauh memberikan pemahaman mendalam mengenai kondisi vegetasi dan perubahan lanskap di masing-masing stasiun pengamatan. Dengan mengamati perubahan spasial dan temporal dalam nilai NDVI, kita dapat mengidentifikasi pola kerusakan vegetasi, pergeseran penggunaan lahan, dan derajat penurunan kualitas ekosistem. Informasi yang diperoleh ini menjadi dasar krusial dalam pengambilan keputusan yang mendukung pembuatan kebijakan perlindungan wilayah pesisir dan kepulauan yang berkelanjutan. Hal ini mencakup upaya pemulihan ekosistem mangrove dan penerapan praktik konservasi yang sesuai. Dengan demikian, penerapan teknologi penginderaan jarak jauh berbasis NDVI berkontribusi signifikan dalam menjamin kelangsungan ekosistem pesisir di sekitar Pulau Tagalaya dan area sekitarnya. Adapun, hasil dokumentasi foto udara stasiun pengamatan pertama dapat dilihat pada gambar berikut.

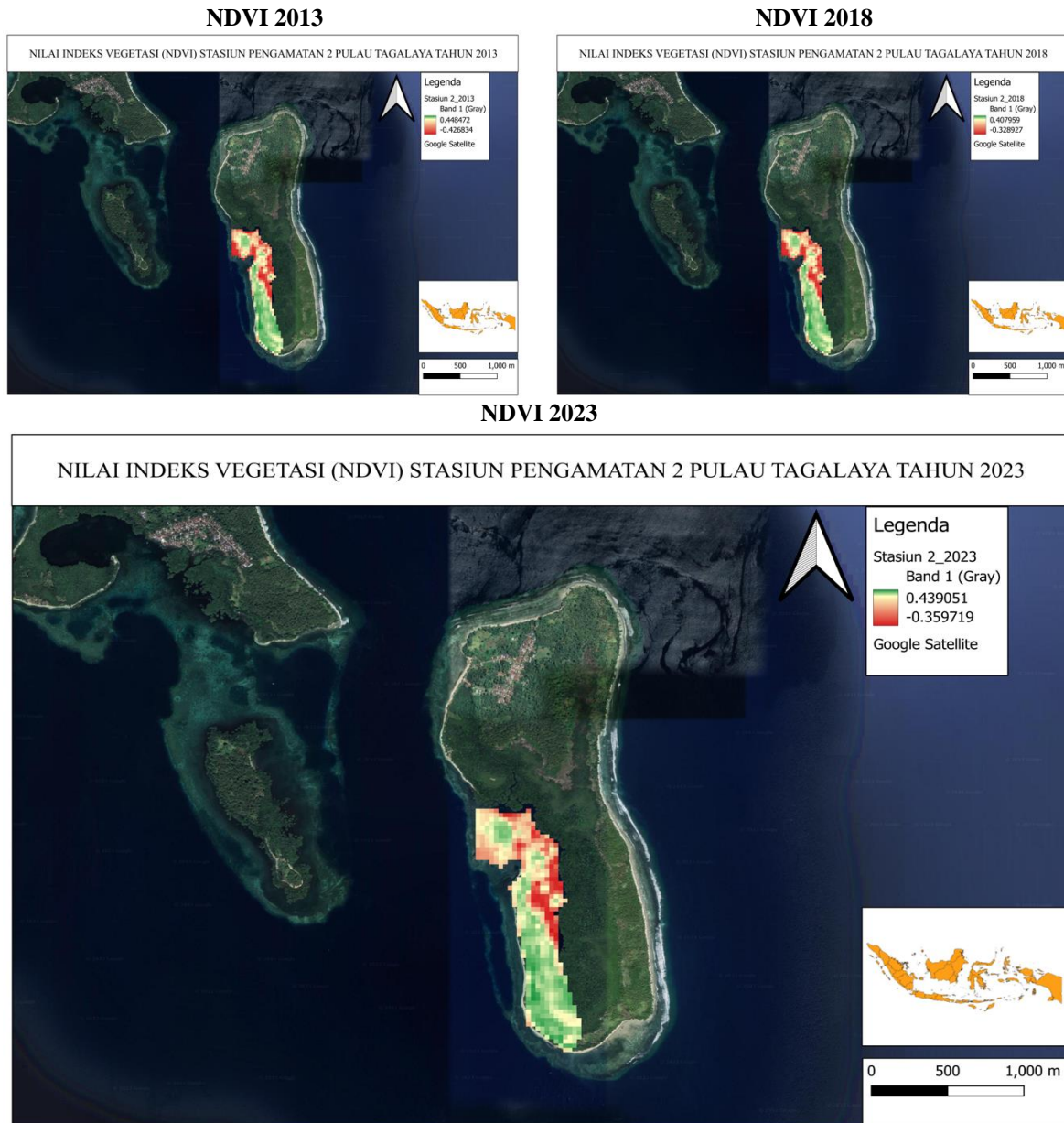


**Gambar 5.** Stasiun Pengamatan Pertama

Gambar 5 menunjukkan bahwa stasiun pengamatan pertama yang dekat dengan lokasi permukiman warga serta area perkebunan masyarakat Desa Tagalaya. Kondisi mangrove di kawasan ini perlu diawasi secara optimal dengan memperhatikan aktivitas kehidupan masyarakat lokal. Hal-hal yang perlu diantisipasi berhubungan dengan pemanfaatan sumber daya hutan mangrove yang tidak terkendali, untuk memenuhi kebutuhan papan dan pangan masyarakat lokal. Gultom et al. menunjukkan bahwa sebaran mangrove di masing-masing wilayah amatan perlu dimonitoring secara berkala untuk mengidentifikasi kerapatan hutan mangrove berdasarkan jenis serta faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan mangrove tersebut [24]. Disisi lain, Prasetyo et al. menunjukkan bahwa penginderaan jarak jauh melalui model NDVI dapat digunakan untuk mengidentifikasi sebaran spasial dan kerapatan hutan mangrove [25].

Indeks Vegetasi Kawasan Nirmandiri (NDVI) merupakan parameter analisis yang umum digunakan dalam studi penginderaan jauh untuk menganalisis status indeks vegetasi. Dalam konteks analisis vegetasi mangrove di wilayah pulau dan pesisir, NDVI mempunyai implikasi penting. NDVI menggunakan informasi spektral dari wilayah inframerah dekat dan merah pada citra penginderaan jauh untuk membantu mengidentifikasi perbedaan

fotosintesis dan aktivitas klorofil pada permukaan tanaman. Keunggulan NDVI terletak pada kemampuannya menggambarkan variasi spasial dan temporal dalam sebaran dan status vegetasi mangrove. Di wilayah kepulauan dan pesisir, mangrove berperan penting dalam ekosistem dan perlindungan pantai. Penggunaan NDVI dalam analisis vegetasi mangrove dapat memberikan wawasan mengenai perubahan komposisi dan struktur vegetasi, mendeteksi area yang rusak atau tertekan, serta memantau dampak perubahan lingkungan dan intervensi manusia terhadap ekosistem mangrove. Oleh karena itu, penerapan NDVI dalam konteks ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan dan restorasi ekosistem mangrove yang berharga dan rapuh di wilayah pulau dan pesisir. Adapun, hasil kalkulasi data raster di stasiun pengamatan kedua Pulau Tagalaya dapat dilihat pada gambar berikut.



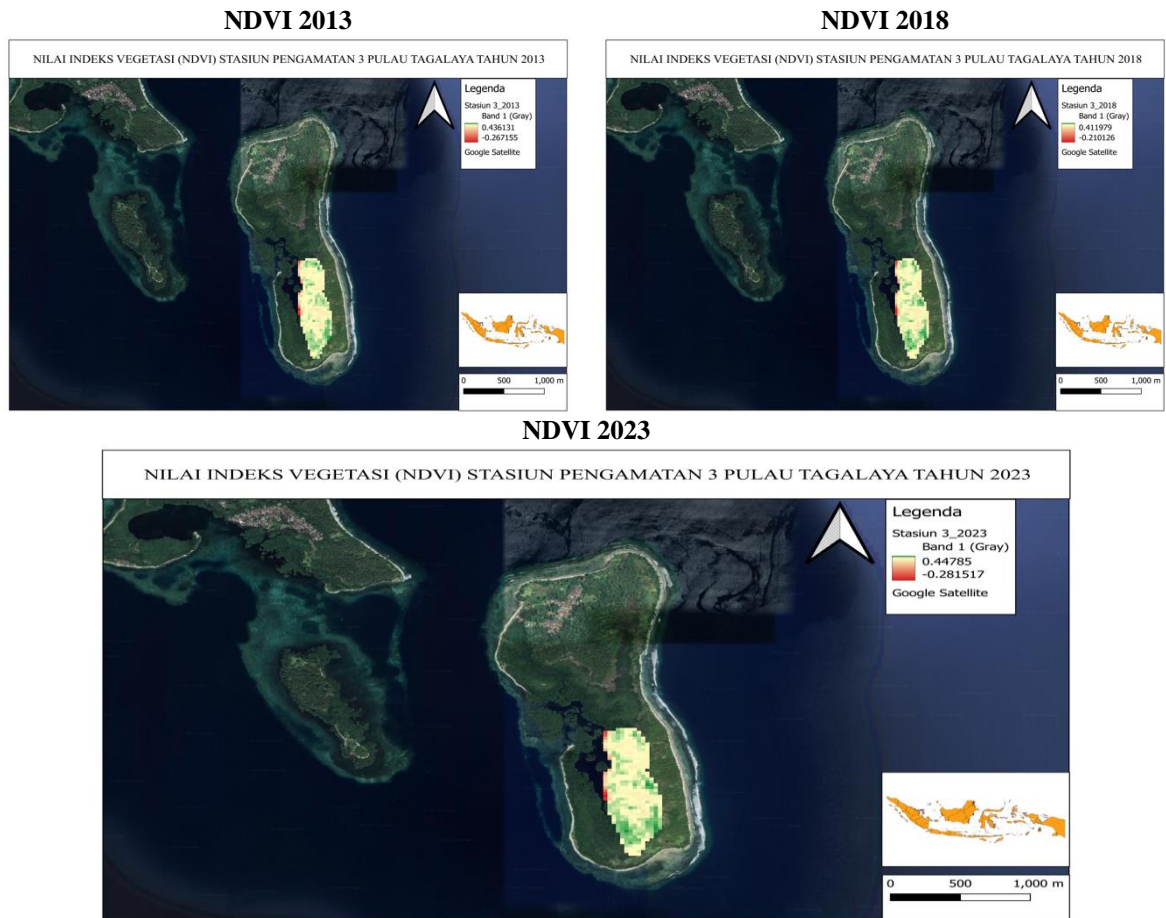
**Gambar 6.** NDVI Stasiun Pengamatan Kedua Tahun 2013, 2018, dan 2023

Gambar 6 merupakan hasil kalkulasi data raster Landsat 8/9 OLI menggunakan model NDVI pada stasiun pengamatan kedua. Pada tahun 2013, nilai minimum NDVI ialah -0,42 dan nilai maksimum NDVI ialah 0,44. Pada tahun 2018, nilai minimum NDVI ialah -0,32 dan nilai maksimum NDVI ialah 0,40. Pada tahun 2023, nilai minimum NDVI ialah -0,35 dan nilai maksimum NDVI ialah 0,43. Adapun, nilai rata-rata NDVI stasiun pengamatan kedua di tahun 2013 ialah 0,29 yang mengalami penurunan di tahun 2018 menjadi 0,26 kemudian meningkat di tahun 2023 menjadi 0,30. Dalam klasifikasi nilai NDVI berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Kerusakan Mangrove dapat diketahui bahwa kondisi eksisting mangrove di stasiun pengamatan kedua termasuk kategori jarang ( $-1 < \text{NDVI} < 0.32$ ). Hasil pengolahan data citra satelit Landsat 8/9 OLI dapat dibandingkan dengan hasil observasi di stasiun pengamatan kedua sebagaimana gambar berikut.



**Gambar 7.** Stasiun Pengamatan Kedua

Gambar 7 menunjukkan bahwa stasiun pengamatan kedua terpisah dari lokasi permukiman warga serta area perkebunan masyarakat Desa Tagalaya. Sebaran mangrove di stasiun pengamatan kedua sering dijadikan lokasi wisata pantai dan bahari oleh wisatawan yang berkunjung. Daya tarik stasiun pengamatan kedua ialah terumbu karang dan pesisir pasir pantai yang halus dan berwarna putih. Kondisi mangrove di kawasan ini perlu diawasi secara optimal dengan memperhatikan perilaku wisatawan agar tidak membuang sampah plastik (makanan dan minuman) di area mangrove. Azzahra et al. menunjukkan bahwa fasilitas khusus berupa tempat pembuangan sampah di kawasan ekowisata mangrove dibutuhkan untuk mengakomodir kebutuhan wisatawan ketika konsumsi produk makanan dan minuman sehingga tidak mencemari lingkungan [26]. Selain itu, Amal et al. menunjukkan bahwa data Survei Geologi Amerika Serikat (USGS) melalui citra satelit Landsat 8/9 OLI yang digunakan untuk klasifikasi dan interpretasi kondisi lingkungan sehingga membantu pemangku kepentingan dan pengambil kebijakan dalam menetapkan strategi pengembangan ekowisata mangrove di masing-masing daerah [27]. Adapun, hasil kalkulasi data citra satelit menggunakan model NDVI pada stasiun pengamatan ketiga dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 8.** NDVI Stasiun Pengamatan Ketiga Tahun 2013, 2018, dan 2023

Gambar 8 merupakan hasil kalkulasi data spasial Landsat 8/9 OLI menggunakan model NDVI pada stasiun pengamatan ketiga. Pada tahun 2013, nilai minimum NDVI ialah -0,26 dan nilai maksimum NDVI ialah 0,43. Pada tahun 2018, nilai minimum NDVI ialah -0,21 dan nilai maksimum NDVI ialah 0,41. Pada tahun 2023, nilai minimum NDVI ialah -0,28 dan nilai maksimum NDVI ialah 0,44. Adapun, nilai rata-rata NDVI stasiun pengamatan kedua di tahun 2013 ialah 0,33 yang mengalami peningkatan di tahun 2018 menjadi 0,36 kemudian

meningkat di tahun 2023 menjadi 0,39. Dalam klasifikasi nilai NDVI berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Kerusakan Mangrove dapat diketahui bahwa kondisi eksisting mangrove di stasiun pengamatan kedua termasuk kategori sedang ( $0,33 < NDVI < 0,43$ ). Hal ini berarti bahwa stasiun pengamatan ketiga memiliki peningkatan nilai indeks vegetasi berdasarkan model NDVI dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2023. Berbeda halnya dengan stasiun pengamatan pertama yang dekat dengan aktivitas penghidupan masyarakat Desa Tagalaya, serta stasiun pengamatan kedua yang menjadi lokasi strategis aktivitas wisata pantai atau bahari untuk kegiatan snorkling dan diving. Apabila dibandingkan dengan hasil observasi, mangrove di stasiun pengamatan ketiga terletak di bagian belakang pulau dan jauh dari aktivitas penghidupan masyarakat lokal maupun wisatawan. Adapun, kondisi eksisting mangrove di stasiun pengamatan ketiga dapat dilihat pada gambar berikut.

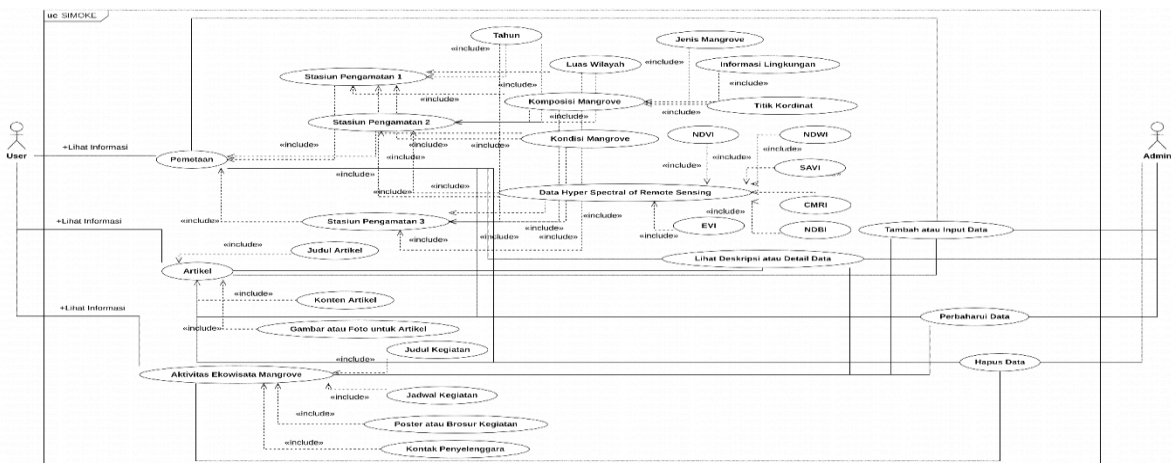


**Gambar 9.** Stasiun Pengamatan Ketiga

Gambar 9 merupakan kondisi eksisting mangrove di stasiun pengamatan ketiga, Pulau Tagalaya. Berdasarkan foto udara dapat dilihat bahwa sebaran mangrove di area pengamatan ketiga terletak cukup jauh dari lokasi permukiman sehingga sangat minim dengan aktivitas ekonomi masyarakat lokal maupun aktivitas wisata. Anugroho et al. menunjukkan bahwa mangrove berperan penting sebagai penguat kawasan ekowisata di pesisir [28]. Hal ini berarti bahwa proses monitoring kondisi hutan mangrove perlu dioptimalkan menggunakan teknologi agar dapat mengawasi pertumbuhan mangrove di masing-masing stasiun pengamatan. Mempertimbangkan hal tersebut maka direkomendasikan Sistem Informasi Monitoring Kawasan Ekowisata Mangrove Tagalaya (SIMOKE) yang mampu mengedukasi pengguna sistem serta merekomendasikan program yang relevan dengan kondisi eksisting kawasan mangrove.

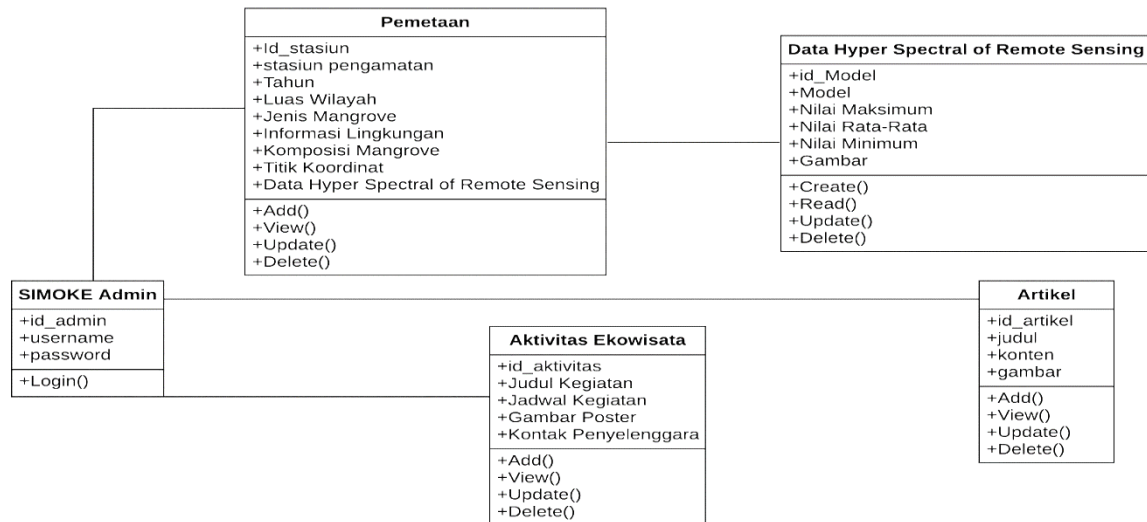
**3.2 Perancangan Sistem Informasi Monitoring Kawasan Ekowisata Mangrove Tagalaya**

Tantangan dalam perumusan Rencana Induk Pengembangan Pariwisata Daerah (RIPPPDA) serta Rencana Induk Pengembangan Objek Wisata (RIPPOW) ialah ketersediaan data yang spesifik terkait dengan sumber daya pariwisata di masing-masing daerah. Dalam konteks ekowisata mangrove di Kabupaten Halmahera Utara, belum tersedia database mangrove berbasis sistem informasi geografi yang secara visual menunjukkan titik koordinat pada peta digital, serta menampilkan data yang spesifik seperti jenis mangrove, jenis biota asosiasi, informasi lingkungan, luas sebaran, serta gambar mangrove. Masalah yang dihadapi pengambil kebijakan ialah keterbatasan data dan informasi terkait dengan sumberdaya ekowisata mangrove. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini menawarkan gagasan atau ide untuk merancang SIMOKE Tagalaya berbasis website sebagai wadah informasi pemetaan kawasan mangrove, aktivitas ekowisata mangrove, dan artikel untuk edukasi. Adapun, diagram Use Case SIMOKE dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 10.** Use Case SIMOKE Tagalaya

Gambar 10 merupakan visualisasi diagram use case SIMOKE Tagalaya yang menekankan pada pemetaan, artikel, dan aktivitas ekowisata mangrove. Adapun, deskripsi singkat dari SIMOKE Tagalaya dapat dijelaskan sebagai berikut : pertama, fitur dan fungsi website fokus pada database mangrove dan informasi yang berhubungan dengan pemetaan, konten artikel mangrove dan upaya pelestarian kawasan mangrove, serta aktivitas ekowisata mangrove yang dapat dikembangkan sebagai daya tarik alternatif selain aktivitas diving dan snorkling; kedua, aktor sebagai pengguna sistem ialah admin sebagai pihak yang mengelola sistem, serta user sebagai pihak yang mengakses, mengonsumsi, atau menggunakan informasi untuk kepentingan individu, kelompok, hingga organisasi; ketiga, SIMOKE Tagalaya merupakan integrasi antara metode hyper spectral of remote sensing dengan metode perancangan sistem menggunakan design thinking framework. Melalui aplikasi SIMOKE Tagalaya, proses monitoring kawasan mangrove menjadi terfokus pada luas area stasiun pengamatan sehingga mobilisasi program dan kebijakan pengembangan ekowisata menjadi efektif dan efisien. Adapun, diagram kelas



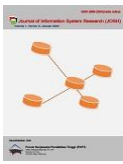
**Gambar 11.** Class Diagram SIMOKE Tagalaya

Gambar 11 merupakan diagram kelas dari aplikasi SIMOKE Tagalaya yang terdiri dari lima kelas yakni kelas SIMOKE Admin, Pemetaan, Data Hyper Spectral of Remote Sensing, Artikel dan Aktivitas Ekowisata. Aktor sebagai user terbatas mengakses atau melihat informasi (view) mengenai pemetaan, Data Hyper Spectral of Remote Sensing, aktivitas ekowisata, dan artikel. Sementara itu, admin memiliki otoritas untuk menambah data (add), melihat informasi (view), memperbaharui (update), dan menghapus data (delete) pada kelas pemetaan, kelas data Hyper Spectral of Remote Sensing, kelas aktivitas ekowisata, dan kelas artikel. Pada kelas pemetaan, sejumlah atribut penting yang perlu dilengkapi oleh admin ialah sebagai berikut : id\_stasiun; stasiun pengamatan; tahun; luas wilayah; jenis mangrove; informasi lingkungan; komposisi mangrove; dan titik koordinat. Selanjutnya, kelas data Hyper Spectral of Remote Sensing terhubung dengan kelas pemetaan, namun atribut dari kelas data Hyper Spectral of Remote Sensing ialah sebagai berikut : id\_model; model; nilai maksimum; nilai rata-rata; nilai minimum; gambar. Pertimbangan model untuk kelas data Hyper Spectral of Remote Sensing dibuat terpisah ialah fleksibilitas penambahan model seperti NDVI, SAVI, EVI, CMRI, NDBI dan sebagainya. Kelas pemetaan menjadi bagian esensial atau inti dari Sistem Informasi Monitoring Kawasan Ekowisata Mangrove Tagalaya.

Pengembangan aplikasi SIMOKE Tagalaya juga mengadopsi konsep edukasi dalam bentuk konten artikel yang memuat informasi tentang mangrove serta berbagai kegiatan yang berhubungan dengan aktivitas ekowisata mangrove. Mempertimbangkan hal tersebut maka perlu dibuatkan kelas khusus artikel dengan atribut sebagai berikut : id\_artikel; judul; konten; gambar. Selain itu, aktivitas ekowisata mangrove perlu ditampilkan melalui aplikasi SIMOKE Tagalaya agar dapat diakses oleh seluruh user terkait dengan aktivitas atau kegiatan yang berhubungan dengan kawasan mangrove di masing-masing stasiun pengamatan. Oleh sebab itu, kelas khusus aktivitas ekowisata mencakup atribut-atribut sebagai berikut : id\_aktivitas; judul kegiatan; jadwal kegiatan; gambar poster; kontak penyelenggara. Admin memiliki otoritas untuk menambah data (add), melihat informasi (view), memperbaharui (update), dan menghapus data (delete) pada kelas artikel. Dengan demikian, SIMOKE Tagalaya dapat menjadi wadah informasi yang terintegrasi dengan hyper spectral of remote sensing.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode hyper spectral of remote sensing dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kondisi vegetasi mangrove berbasis nilai indeks. Hasil kalkulasi data raster 2023 di kawasan mangrove pulau Tagalaya menunjukkan bahwa stasiun pengamatan pertama dan kedua termasuk kategori jarang. Selain itu, stasiun pengamatan ketiga termasuk kategori sedang. Selanjutnya, solusi atas



permasalahan basis data mangrove dalam penetapan arah kebijakan dan program ekowisata mangrove Tagalaya ialah sistem informasi monitoring kawasan ekowisata mangrove Tagalaya (SIMOKE Tagalaya). Dengan demikian, kombinasi metode hyper spectral of remote sensing dan perancangan sistem informasi menggunakan design thinking framework menjadi solusi atas masalah yang dihadapi dalam optimalisasi program monitoring kawasan ekowisata mangrove di Pulau Tagalaya, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada 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. H. Rombe, Y. Arafat, A. Surachmat, and F. A. Andhini, "Kajian Vegetasi Kawasan Hutan Mangrove Wana Tirta di Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta," *J. Salamata*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.15578/salamata.v3i1.11256.
- [2] J. N. W. Schaduw et al., "Mangrove Health Index and Carbon Potential of Mangrove Vegetation in Marine Tourism Area of Nusantara Dian Center, Molas Village, Bunaken District, North Sulawesi Province," *Spat. Wahana Komun. dan Inf. Geogr.*, vol. 21, no. 2, pp. 9–15, 2021.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] D. Aliviyanti, A. Isdianto, M. A. Asadi, D. K. Saputra, F. D. Kristanti, and M. F. Haykal, "Komposisi dan Kerapatan Mangrove Kawasan Konservasi Taman Wisata Perairan Gugusan Pulau-Pulau Momparang," *Indones. J. Conserv.*, vol. 9, no. 2, pp. 63–67, 2020, doi: 10.15294/ijc.v9i2.26547.
- [7] A. M. Farhaby et al., "Analisis Kesesuaian Ekosistem Mangrove Sebagai Kawasan Ekowisata di Pulau Kelapan Kabupaten Bangka Selatan," *J. Enggano*, vol. 5, no. 2, pp. 132–142, 2020.
- [8] H. Randongkir, H. L. Ohee, and J. D. Kalor, "Komposisi Vegetasi dan Pemanfaatan Ekosistem Mangrove di Kawasan Wisata Alam Teluk Youtefa Kota Jayapura," *ACROPORA J. Ilmu Kelaut. dan Perikan. Papua*, vol. 2, no. 1, pp. 21–29, 2019, doi: 10.31957/acr.v2i1.982.
- [9] 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.
- [10] Y. A. Singgalen, A. Kusumawicitra, and M. Brito, "Gender, Livelihood, and Ecotourism during Covid-19 Epidemic in North Halmahera of Indonesia," *J. Kaji. Gend.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–20, 2021, doi: 10.28918/muwazah.v13i1.3475.
- [11] 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.
- [12] T. C. Segaran et al., "Mapping the Link between Climate Change and Mangrove Forest: A Global Overview of the Literature," *Forests*, vol. 14, no. 2, pp. 1–32, 2023, doi: 10.3390/f14020421.
- [13] C. A. Eriesta and W. Ilham, "karakteristik Atraksi Wisata Desa Tegalrejo Kecamatan Kelumpang Hilir Kabupaten Kotabaru," *J. Sylva Sci.*, vol. 5, no. 6, pp. 886–890, 2022.
- [14] E. F. Ripanti, "Implementasi Ekonomi Melingkar pada Sistem Informasi Pengelolaan Hutan Mangrove," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 5, no. 2, pp. 249–254, 2019, doi: 10.26418/jp.v5i2.31100.
- [15] A. Sugara et al., "Pemetaan Potensi Pariwisata Dengan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Pulau Kelagian Kecil Kabupaten Pasawaran," *J. Laot Ilmu Kelaut.*, vol. 5, no. 1, pp. 62–73, 2023, doi: 10.35308/jlik.v5i1.7349.
- [16] Q. Li, M. Gao, and Z.-L. Li, "Ground Hyper-Spectral Remote-Sensing Monitoring of Wheat Stress during Different Growing Stages," *Agronomy*, vol. 12, no. 2267, pp. 1–15, 2022.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] H. Prasadja and Y. A. Singgalen, "Analysis and Design of Mangrove Ecotourism Management System (SIMANGROVE) of Dodola Island, Morotai Island Regency, Indonesia," *J. Inf. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 2, pp. 191–204, 2022, doi: <https://doi.org/10.51519/journalisi.v4i2.243>.
- [20] 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.
- [21] Y. A. Singgalen, C. Gudiatu, 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.



- [22] H. Rakuasa and D. A. Sihasale, “Analysis of Vegetation Index in Ambon City Using Sentinel-2 Satellite Image Data with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Method based on Google Earth Engine,” *J. Innov. Inf. Technol. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 74–82, 2023.
- [23] Y. Sun, D. Lao, Y. Ruan, C. Huang, and Q. Xin, “A Deep Learning-Based Approach to Predict Large-Scale Dynamics of Normalized Difference Vegetation Index for the Monitoring of Vegetation Activities and Stresses Using Meteorological Data,” *Sustain.*, vol. 15, no. 8, pp. 1–21, 2023, doi: 10.3390/su15086632.
- [24] I. S. Gultom, T. D. Anggoro, A. S. K. Handadari, P. Wicaksono, and R. B. A. Nugraha, “Nilai Ekonomi Ekosistem Mangrove Di Kawasan Pesisir Lantebung Kota Makassar,” *J. Sos. Ekon. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–16, 2023.
- [25] A. R. Prasetyo, N. Valentino, and M. A. Hadi, “Identifikasi Sebaran Spasial dan Kerapatan Mangrove Gili Lawang menggunakan Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2,” *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 9, no. 2, pp. 215–225, 2023, doi: 10.29303/jstl.v9i2.450.
- [26] 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, 2023, doi: 10.51850/jitkt.v20i1.571.
- [27] 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.
- [28] W. Anugoro, M. Zainuddin, and A. Andi, “Identifikasi Potensi Hutan Mangrove Sebagai Penguat Kawasan Ekowisata Di Pesisir Bale-Bale,” *J. IPTA*, vol. 7, no. 1, pp. 25–30, 2019, doi: 10.24843/ipta.2019.v07.i01.p03.