

PEMETAAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2A DENGAN METODE *OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS* (OBIA) DI DESA KAHYAPU PULAU ENGGANO

(Mangrove Mapping Using Sentinel-2A Satellite Imagery and the Object-Based Image Analysis (OBIA) Method in Kahyapu Village, Enggano Island)

Muhammad Nashiruddin Kamal¹, Ayub Sugara¹, Ari Anggoro², Ana Ariasari², Akbar Abdurahman Mahfudz¹, Nella Tri Agustini¹, Silvy Syukhriani¹, Feri Nugroho³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Bengkulu

²Program Studi Sains Perikanan, Universitas Bengkulu

³Program Bisnis Digital, Jakarta Global University

Jalan WR Supratman Kandang Limun, Kec. Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu, Prov. Bengkulu

E-mail : ayubsugara@unib.ac.id

Diterima: 15 September 2025; Direvisi :26 September 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan : 6 Oktober 2025

ABSTRAK

Pulau Enggano, sebagai salah satu pulau terluar di Indonesia, memiliki potensi sumber daya alam yang signifikan, terutama dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi spasial mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano, menggunakan citra satelit Sentinel-2A dengan metode *Object Based Image Analysis* (OBIA). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan akurasi pemetaan dengan mempertimbangkan karakteristik spasial dan spektral objek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran mangrove di Desa Kahyapu mencakup luas total 871,08 ha, dengan kategori tutupan rapat, sedang, dan jarang masing-masing seluas 824,24 ha, 35,8 ha, dan 11,04 ha. Tingkat akurasi klasifikasi mencapai 93%, menunjukkan efektivitas metode OBIA dalam pemetaan mangrove. Selain itu, analisis hubungan antara persentase tutupan kanopi dan nilai NDVI menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,89 yang menunjukkan hubungan yang kuat antara kedua variabel. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi pengelolaan dan pelestarian ekosistem mangrove di wilayah tersebut serta menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: Klasifikasi, mangrove, metode OBIA, Desa Kahyapu, sentinel-2A

ABSTRACT

Enggano Island, as one of the outermost islands in Indonesia, has significant natural resource potential, especially in managing the mangrove ecosystem. This research aims to map the spatial distribution of mangrove ecosystems in Kahyapu Village, Enggano Island, using Sentinel-2A satellite imagery with the Object Based Image Analysis (OBIA) method. This method was chosen because of its ability to increase mapping accuracy by considering the spatial and spectral characteristics of objects. The research results show that the distribution of mangroves in Kahyapu Village covers a total area of 871.08 ha, with dense, medium and sparse cover categories covering 824.24 ha, 35.8 ha and 11.04 ha respectively. The classification accuracy rate reached 93%, showing the effectiveness of the OBIA method in mapping mangroves. In addition, analysis of the relationship between the percentage of canopy cover and the NDVI value produced a correlation coefficient of 0.89 which shows a strong relationship between the two variables. It is hoped that the results of this research will provide valuable insights for the management and preservation of mangrove ecosystems in the region and will become a reference for further research.

Keywords: Classification, Mangroves, OBIA Method, Kahyapu Village, Sentinel-2A

PENDAHULUAN

Pulau Enggano adalah salah satu pulau terluar Indonesia yang terletak di Samudra Hindia, termasuk di Kecamatan Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu (Agustini et al., 2016). Pulau ini terdiri dari enam desa, termasuk Desa Kahyapu, yang memiliki potensi besar dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove berperan penting bagi masyarakat setempat secara fisik, biologi, dan ekonomi, namun

terancam oleh konversi lahan, penebangan liar, dan perubahan iklim.

Pemantauan dan pengelolaan mangrove perlu melibatkan semua pihak, termasuk masyarakat, pemerintah, dan akademisi, untuk memahami pertumbuhan dan area yang memerlukan perhatian (Sugara et al., 2023). Tantangan akses lapangan memerlukan teknologi yang tepat untuk mendapatkan data spasial yang akurat. Teknologi penginderaan jauh telah terbukti efektif dalam

menjaga kondisi lingkungan dan mengumpulkan data spasial secara efisien (Giri et al., 2011).

Penginderaan jauh menurut Green et al., (2000), adalah teknik pengumpulan informasi dari jarak jauh menggunakan alat deteksi seperti satelit atau pesawat terbang. Teknologi ini telah berkembang pesat, terutama dalam ekosistem mangrove, di mana citra satelit meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemetaan hutan mangrove (Alfiansyah et al., 2023). Kemajuan dalam resolusi spasial dan temporal memungkinkan deteksi habitat mangrove yang lebih baik, dengan citra satelit mampu membedakan ekosistem ini dari vegetasi terestrial lainnya (Faizal & Amran, 2005). Citra satelit Sentinel-2A, yang dapat diakses secara bebas dan memiliki resolusi sedang, sering digunakan untuk pemetaan mangrove (Sugara et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa Sentinel-2A memberikan hasil yang optimal, terutama dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan dapat mencapai akurasi hingga 90% dalam pemetaan kawasan mangrove (Rahmadi et al., 2022).

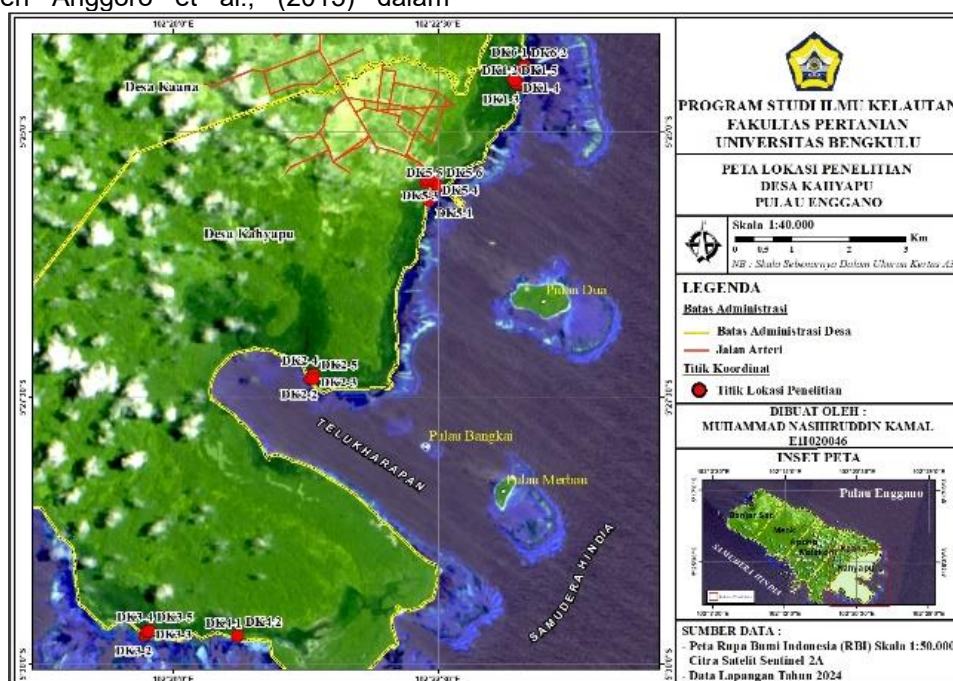
Ketersediaan citra beresolusi tinggi menjadi tantangan bagi analisis dalam pengembangan metode klasifikasi, terutama metode berbasis objek. Danoedoro, (2012), menyatakan bahwa *Object Based Image Analysis* (OBIA) memfasilitasi pembesaran objek dengan memancarkan kesamaan karakteristik spasial dan spektral. Proses segmentasi dalam OBIA mengubah data citra dari tingkat piksel menjadi objek homogen berdasarkan parameter tertentu (Anggoro et al., 2015). Pendekatan ini dianggap lebih akurat dibandingkan metode berbasis piksel (Saputra et al., 2021b). Klasifikasi berdasarkan objek mengelompokkan piksel yang mirip berdasarkan sifat spasial dan spektral. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa OBIA dapat meningkatkan akurasi, seperti yang dilakukan oleh Anggoro et al., (2015) dalam

pemetaan zona geomorfologi terumbu karang Ilyas et al., (2020) pada ekosistem lamun, Alimudi et al., (2017) pada hutan mangrove, Heumann, (2011) pada tutupan lahan mangrove dan Alfiansyah et al., (2023) pada sebaran ekosistem mangrove.

Diketahui potensi ekosistem pesisir salah satunya ekosistem mangrove berada di Desa Kahyapu Pulau Enggano. Keberadaan ekosistem mangrove tersebut berperan penting dalam keberlanjutan lingkungan, berfungsi sebagai habitat bagi beragam komunitas biologis (Pratama et al., 2025). Selain itu, ekosistem mangrove berfungsi sebagai pelindung terhadap intrusi air laut, bertindak sebagai perangkap sedimen, mengurangi erosi pantai, dan berkontribusi signifikan terhadap ekosistem laut dengan menyediakan nutrisi dalam bentuk sampah organik (Bengen, 2000). Potensi yang dimiliki ekosistem mangrove perlu dikembangkan karena memberikan banyak fungsi ekologis bagi lingkungan (Agustini et al., 2016), sampai saat ini belum ada data terkait pemetaan dengan metode OBIA ekosistem mangrove yang ada di Desa Kahyapu Pulau Enggano. Sehingga pada penelitian ini melakukan integrasi metode OBIA dengan citra Sentinel-2A untuk mengisi kekosongan studi pemetaan mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano. Metode OBIA memiliki keunggulan dalam analisis objek-berbasis dan penerapan pada citra resolusi menengah diharapkan menjadi alternatif yang lebih efisien namun tetap akurat.

METODE

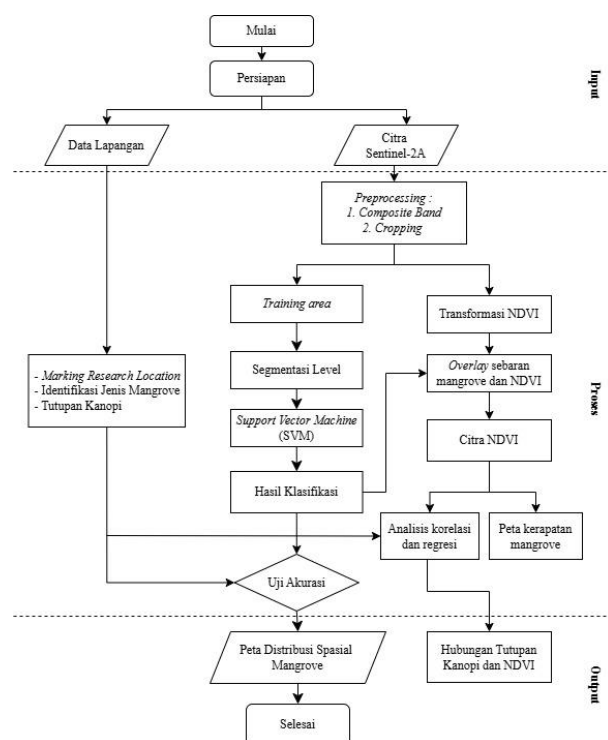
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Maret 2024 di Desa Kahyapu, Kecamatan Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. Lokasi penelitian dan titik koordinat dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras Laptop, GPS Garmin 78s, Roll meter, Olympus TG 6 Camera, Plastik sampel, ATK, Tali rafia, QGIS, Microsoft Excel, Wide Angle Lens, Booties, Buku Identifikasi Mangrove, e-Cognition 9.0.1 dan ImageJ 1.53t. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah peta survei dan citra sentinel-2A yang diunduh dari web <https://dataspace.copernicus.eu/>.

Tahapan penelitian pemetaan mangrove menggunakan citra Sentinel-2A dengan metode OBIA di Desa Kahyapu, Pulau Enggano meliputi pra-pengolahan citra, penentuan lokasi penelitian, pengumpulan data lapangan, pengolahan citra dan uji akurasi. Seluruh tahapan penelitian ini dijelaskan secara rinci dalam **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alur pengolahan data.

Metode Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan dengan menggunakan metode survei lapangan, dengan lokasi penelitian ditentukan melalui teknik pengambilan *purposive sampling*. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya untuk meminimalkan waktu, tenaga, dan biaya yang terkait dengan penelitian dengan memilih secara strategis area yang secara efektif mewakili kondisi tutupan kanopi mangrove (Purnama et al., 2020).

Data lapangan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data tentang jenis mangrove dan tutupan kanopi. Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan menggunakan plot persegi berukuran 10 x 10 meter. Identifikasi jenis mangrove dilakukan di lapangan dengan merujuk pada buku panduan identifikasi (Dharmawan dan Pramudji, 2014). Sedangkan data persentase tutupan kanopi mangrove diperoleh menggunakan

metode *hemispherical photography*, dengan memanfaatkan kamera wide angle untuk mengambil gambar (Dharmawan & Pramudji, 2014). Setiap plot diamati dan difoto sebanyak lima kali, dengan waktu optimal pengambilan gambar antara pukul 06.00 – 09.00 dan 15.00 – 18.00, saat intensitas matahari relatif rendah (Kamal et al., 2016). Hal ini bertujuan untuk menghindari gangguan cahaya matahari yang dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis gambar.

Pra Pengolahan Data Citra

Tahapan dalam persiapan pengolahan data citra yang dilakukan yaitu pengunduhan citra Sentinel-2A Desa Kahyapu, Kecamatan Enggano, Provinsi Bengkulu, yang dilakukan melalui situs <https://dataspace.copernicus.eu/>. Selanjutnya, dilakukan *composite band*, dan pemotongan citra (*cropping*).

Tahapan Pengelolaan Data Citra

Composite Band

Composite band merupakan metode yang menggabungkan dua atau lebih citra multispektral dengan resolusi atau panjang gelombang berbeda untuk menghasilkan citra komposit yang mampu menonjolkan fitur-fitur penting dari citra asli (Wald, 2002). Proses ini umumnya melibatkan penggabungan tiga saluran (band) untuk membentuk warna merah, hijau, dan biru (RGB), sehingga menghasilkan visualisasi yang mempermudah interpretasi karakteristik permukaan bumi. Dalam penelitian ini, digunakan kombinasi band 12 (SWIR2), band 11 (SWIR1), dan band 4 (Red). Pemilihan kombinasi ini tidak hanya bertujuan untuk membedakan vegetasi dari objek lainnya, tetapi juga didasarkan pada karakteristik spektral masing-masing band yang relevan dengan kondisi ekosistem mangrove. *Short-Wave Infrared* (SWIR), khususnya pada band 11 dan 12, memiliki sensitivitas tinggi terhadap kandungan air dan tingkat kelembapan pada vegetasi maupun tanah. Sensitivitas ini sangat penting dalam konteks pemetaan ekosistem mangrove yang umumnya berada di zona pasang surut (*intertidal zone*) dengan tingkat kejenuhan air yang tinggi.

Dengan demikian, kombinasi band 12, 11, dan 4 memberikan kemampuan yang lebih baik dalam membedakan vegetasi mangrove dari vegetasi non-mangrove terrestrial. Band SWIR membantu mengidentifikasi variasi kadar air dan kelembapan kanopi vegetasi, sedangkan band merah (*Red*) memperkuat deteksi kandungan klorofil. Integrasi ketiga band ini menghasilkan komposit citra yang secara visual dan spektral mampu menampilkan perbedaan kontras antara vegetasi mangrove yang lembap dengan vegetasi darat yang lebih kering, sehingga meningkatkan akurasi dalam proses klasifikasi tutupan lahan.

Pemotongan Citra (*Cropping*)

Pemotongan citra adalah proses pengambilan bagian dari citra berdasarkan lokasi penelitian yang telah ditentukan, bertujuan untuk membatasi wilayah analisis agar fokus pada area yang relevan. Selain itu, pemotongan citra membantu memfokuskan perhatian pada area yang dianalisis, memudahkan pengklasifikasian objek, dan mengurangi beban kerja perangkat komputer. Proses ini melibatkan segmentasi data citra untuk menggambarkan wilayah yang sesuai dengan objek dalam setiap band yang ditentukan (Silitonga et al., 2018). Data utama yang digunakan dalam analisis ini adalah citra Sentinel-2A.

Segmentasi Citra

Proses segmentasi ini menggunakan algoritma *Multiresolution Segmentation* (MRS). Menurut Maksum et al., (2016) penentuan parameter scale, shape dan compactness dilakukan secara eksperimen (trial and error) sampai didapat hasil segmentasi yang mewakili objek yang dimaksud. Parameter untuk shape dan compactness diukur pada skala 0 hingga 1, sedangkan nilai scale berfungsi sebagai abstraksi untuk menetapkan tingkat heterogenitas maksimum yang diperlukan untuk membuat suatu objek (Timisela et al., 2020). Pada proses segmentasi citra Sentinel-2A nilai parameter scale dilakukan percobaan (trial and error) sebanyak tiga kali dengan nilai 20, 40 dan 60. Nilai parameter scale sangat mempengaruhi segmentasi yang dihasilkan. Semakin tinggi angka scale maka tingkat homogenitas yang dihasilkan juga semakin besar dan jumlah polygon segmentasi yang lebih sedikit, begitu juga sebaliknya (Pasaribu et al., 2021). Sedangkan nilai shape dan compactness menggunakan nilai default dari e-Cognition yaitu 0,1 dan 0,5 (Rosmasita et al., 2018).

Klasifikasi Berbasis Objek (OBIA)

Object Based Image Analysis (OBIA) adalah sebuah metode klasifikasi yang telah dikembangkan dengan menggunakan proses segmentasi dan analisis objek, di mana citra dianalisis berdasarkan karakteristik spasial dan spektral. Dengan demikian, metode ini menghasilkan objek-objek citra atau segmen-segmen yang kemudian digunakan untuk melakukan klasifikasi (Blaschke, 2010). Proses klasifikasi berbasis objek ini menggunakan software e-Cognition developer 9.0.1.

Segmentasi Citra

Segmentasi adalah tahap penting dalam klasifikasi berbasis objek, yang memisahkan citra menjadi poligon berdasarkan kesamaan nilai spektral dan spasial. Proses ini menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* (MRS) dengan skala berbeda pada level 1 dan 2, menghasilkan layer objek dalam jaringan hirarki (Anggoro et al., 2015). Parameter scale, shape dan compactness mengatur homogenitas objek.

Penentuan ambang batas dilakukan melalui pendekatan trial and error, mempertimbangkan karakteristik lokasi, jenis klasifikasi, dan variasi nilai spektral dan spasial. Dalam analisis data, hanya parameter scale yang diubah, sementara shape dan compactness menggunakan nilai bawaan perangkat lunak e-Cognition (Rosmasita et al., 2018).

Algoritma Support Vector Machines (SVM)

Support Vector Machine (SVM) adalah teknik statistik untuk prediksi dalam klasifikasi dan regresi. Prinsip dasar SVM adalah mencari *hyperplane* terbaik yang memisahkan dua kelas data, dengan memanfaatkan support vectors, yaitu data pada titik pemisah. Proses ini melibatkan pengukuran margin *hyperplane* untuk menemukan jarak maksimal antara *hyperplane* dan pola data terdekat dari setiap kelas, yang disebut *support vector* (A. S. Nugroho et al., 2003).

Uji Akurasi

Uji akurasi klasifikasi citra satelit dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi dengan titik acuan. Semakin tinggi akurasi, semakin baik peta yang dihasilkan. Analisis akurasi pemetaan mangrove menggunakan tabel matriks kesalahan (*confusion matrix*) (Congalton & Green, 2019). Pengujian ini menghasilkan nilai seperti *overall accuracy*, *producers accuracy*, dan *users accuracy*. *Overall accuracy* adalah rasio piksel yang diklasifikasikan dengan benar terhadap total sampel. *Producers accuracy* menunjukkan persentase piksel yang akurat mencerminkan distribusi kelas di lapangan, sedangkan *users accuracy* menunjukkan persentase piksel yang benar sesuai dengan kelas masing-masing. Secara matematis, ukuran akurasi tersebut dirumuskan sebagaimana **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3** berikut (Kurnia & Edwar, 2022):

Producers accuracy:

$$PA_k = \frac{X_{kk}}{X_{k+}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Users accuracy:

$$UA_k = \frac{X_{kk}}{X_{+k}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Overall accuracy:

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^n X_{kk}}{N} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

di mana:

X_{kk} : Nilai terklasifikasi secara tepat

X_{k+} : Nilai total kolom setiap kelas

X_{+k} : Nilai total baris setiap kelas

$\sum X_{kk}$: Jumlah nilai yang terklasifikasi secara tepat

N : Banyaknya total data yang diperoleh

Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi bertujuan untuk membedakan vegetasi dan non-vegetasi, analisis komparatif dilakukan antara tingkat kecerahan yang terekam

dalam saluran cahaya merah (*red*) dan cahaya inframerah dekat (*near infrared/NIR*) (F. Nugroho et al., 2023). Menghitung luasan ekosistem mangrove dilakukan berdasarkan klasifikasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI menggunakan band merah dan NIR dalam penginderaan jauh untuk mengetahui indeks vegetasi dari satelit. Menurut Cabello et al., (2021) Algoritma NDVI adalah sebagaimana **Persamaan 4** berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NIR : Nilai reflektansi spektral pada band inframerah dekat

R : Nilai reflektansi spektral pada band merah

Proses NDVI dilakukan untuk memisahkan area yang memiliki tingkat kehijauan berbeda pada citra dengan tujuan membedakan objek vegetasi dari non-vegetasi. NDVI berperan penting dalam mengidentifikasi tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan pantulan spektral pada kanal near-infrared (NIR) dan red, di mana nilai NDVI yang lebih tinggi menunjukkan vegetasi yang lebih sehat dan rapat (Xue & Su, 2017). Berdasarkan klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini, kisaran nilai NDVI untuk ekosistem mangrove dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu jarang, sedang, dan rapat. Kriteria dan rentang nilai NDVI tersebut disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik nilai NDVI untuk mangrove

No	Kriteria	Minimum	Maksimum
1	Jarang	-1	0,32
2	Sedang	0,32	0,42
3	Rapat	0,42	1

Sumber : (Departemen Kehutanan, 2005)

Persentase Tutupan Kanopi Mangrove

Analisis ini bertujuan untuk memisahkan piksel yang mewakili langit dan tutupan vegetasi, sehingga persentase area vegetasi mangrove dapat dihitung melalui analisis citra biner (Chianucci et al., 2014). Proses dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ, di mana foto lapangan diubah ke format 8 bit dengan nilai piksel antara 0 hingga 255. Area tutupan kanopi dan langit dipisahkan menggunakan tools threshold, di mana nilai 0 mewakili langit dan nilai 255 mewakili tutupan kanopi mangrove. Data kemudian dianalisis menggunakan **Persamaan 5** yang disediakan (Indonesia, 2014):

$$Tutupan Mangrove (\%) = \frac{P_{255}}{\sum P} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

di mana:

P_{255} : Piksel bernilai 255

$\sum P$: Jumlah seluruh piksel

Hasil analisis mengenai kerapatan dan persentase tutupan kanopi mangrove berfungsi untuk mengetahui kondisi status ekosistem hutan mangrove sesuai dengan ketentuan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004 yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kriteria baku kerusakan mangrove

No	Kriteria	Penutupan(%)
1	Baik : Lebat : Sedang	>75% 50-75%
2	Rusak : Rapat	<50%

Sumber : Kepmen LH No. 201 Tahun 2004.

Analisis hubungan antara persentase tutupan kanopi dan NDVI

Analisis untuk melihat hubungan antara persentase tutupan kanopi dan NDVI melibatkan analisis regresi dan korelasi. Korelasi digunakan untuk menilai kekuatan hubungan linear antara kedua variabel, di mana variabel (y) adalah nilai NDVI dan variabel (x) adalah data pengukuran lapangan. Sementara itu, analisis regresi bertujuan untuk memahami dampak perubahan satuan variabel (x) terhadap variabel (y). Koefisien korelasi (r) dirumuskan dalam persamaan tertentu. Koefisien korelasi (r) dapat dirumuskan pada **Persamaan 6** (Istiarini & Sukanti, 2012):

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \dots \dots \dots (6)$$

di mana:

r_{xy} : Koefisien korelasi

N : Banyaknya pasangan data x dan y

$\sum X$: Total jumlah dari variabel x

$\sum Y$: Total jumlah dari variabel y

$\sum X^2$: Total jumlah kuadrat dari variabel x

$\sum Y^2$: Total jumlah kuadrat dari variabel y

$\sum XY$: Total jumlah hasil perkalian dari variabel x dan y

Penjelasan seberapa kuat hubungan kedua variabel akan dijelaskan pada **Tabel 3** yang diperoleh dari (Jonathan, 2006):

Tabel 3. Kriteria kekuatan hubungan korelasi dan kekuatan hubungan

No	Interval Nilai	Kekuatan hubungan
1	$r=0,00$	Tidak ada
2	$0,00 < r \leq 0,20$	Sangat rendah atau sangat lemah
3	$0,20 < r \leq 0,40$	Rendah atau lemah
4	$0,40 < r \leq 0,70$	Cukup berarti atau sedang
5	$0,70 < r \leq 0,90$	Tinggi atau kuat
6	$0,90 < r \leq 1,0$	Sangat tinggi atau sangat kuat
7	$r=1$	Sempurna

Dalam penelitian ini, analisis regresi sederhana dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh satu variabel independen terhadap variabel dependen. Analisis regresi linier sederhana mencakup pemeriksaan satu variabel bebas dalam kaitannya dengan satu variabel terikat yang direpresentasikan dalam **Persamaan 7**:

$$y = "a " + bx \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

y = Variabel terikat (NDVI)

x = Variabel bebas (Tutupan kanopi)

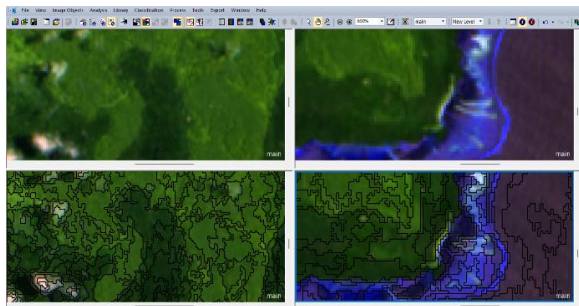
a = Intersep

b = Slope atau kemiringan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengelolaan Data Citra

Hasil segmentasi citra **Gambar 3** menunjukkan bahwa penggunaan scale parameter 40 menghasilkan segmentasi yang paling optimal dalam memisahkan objek-objek pada citra, khususnya dalam membedakan area vegetasi mangrove dari objek sekitarnya. Pada scale 40, batas antarobjek terlihat lebih jelas dan sesuai dengan kenampakan spasial mangrove di lapangan, di mana setiap segmen mewakili area vegetasi yang relatif homogen.



Gambar 3. Hasil segmentasi citra

Sebaliknya, pada scale 20, hasil segmentasi menunjukkan jumlah segmen yang terlalu banyak dengan ukuran sangat kecil (*over-segmentation*), sehingga satu area vegetasi mangrove dapat terbagi menjadi beberapa segmen kecil yang tidak merepresentasikan bentuk objek sebenarnya. Kondisi ini menyulitkan proses klasifikasi lanjutan karena batas antarsegmen terlalu detail dan menimbulkan noise visual.

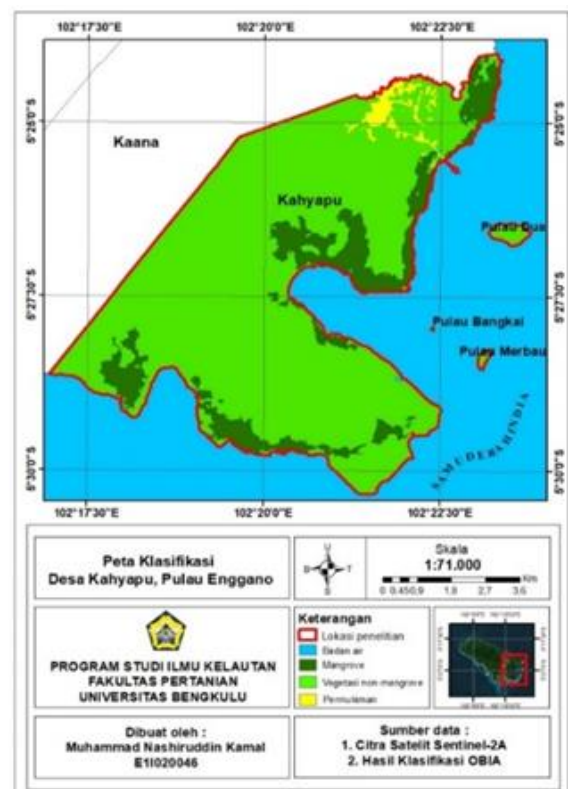
Sementara itu, pada scale 60 terjadi kondisi sebaliknya, yaitu jumlah segmen yang terlalu sedikit (*under-segmentation*), di mana beberapa area vegetasi mangrove dan non-mangrove tergabung menjadi satu segmen besar. Akibatnya, detail spasial objek mangrove tidak terekspresikan dengan baik dan menyebabkan kehilangan informasi penting.

Dengan demikian, pemilihan scale 40 dianggap paling sesuai karena mampu menyeimbangkan antara tingkat detail spasial dan homogenitas spektral objek, menghasilkan

representasi yang realistis terhadap distribusi dan bentuk vegetasi mangrove di area penelitian.

Hasil Klasifikasi Berbasis Objek (OBIA)

Proses klasifikasi berbasis objek dengan pengelompokan piksel-piksel yang berdekatan menjadi objek-objek yang sama melalui proses segmentasi, kemudian menerapkan teknik klasifikasi pada objek-objek tersebut sebagai unit terkecil secara terbimbing dengan data lapang yang ada (Timisela et al., 2020). Algoritma yang digunakan dalam klasifikasi berbasis objek pada penelitian ini adalah algoritma SVM. Menurut Parera et al., (2024) algoritma SVM yang digunakan menghasilkan akurasi yang lebih baik daripada klasifikasi random forest karena mampu meminimalisir kesalahan dalam interpretasi citra dengan nilai overall accuracy mencapai 90% ($\kappa = 0,89$) dan 88,13% ($\kappa = 0,87$). Adanya kesalahan objek yang terklasifikasi maka harus mengulang dari proses penentuan sampel kembali. Kesalahan klasifikasi objek berkaitan dengan cara kerja OBIA yaitu trial and error. Hasil dari proses klasifikasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil klasifikasi OBIA

Klasifikasi OBIA cukup efektif digunakan dalam penelitian ini untuk memetakan sebaran mangrove, teknik ini merupakan pendekatan alternatif lain yang dikembangkan dengan konsep berbasis objek dan tidak hanya berdasarkan nilai piksel melainkan juga nilai skala, bentuk dan kekompakan. Blaschke, (2010) menyatakan bahwa objek atau segmentasi pada citra merupakan sekumpulan beberapa piksel dengan nilai spektral dan spasial yang sama. Pendekatan

hasil klasifikasi OBIA yang didapatkan menunjukkan objek mangrove dapat dipetakan dengan baik **Gambar 4**. Kendati demikian, masih ditemukan kesalahan dalam pemisahan kelas mangrove terhadap kelas lainnya. Menurut Gao, (2008) penyebab klasifikasi berbasis objek tidak mendapatkan hasil yang lebih baik dikarenakan menggunakan citra resolusi rendah dan menengah yaitu faktor dari bentang lahan yang terdegradasi. Bentang lahan yang terdegradasi, heterogen secara spasial dan spektral dengan batas yang tidak mencolok, oleh karena itu, sulit untuk membentuk segmen yang homogen secara spasial.

Uji Akurasi

Klasifikasi citra Sentinel-2A menggunakan metode OBIA menghasilkan empat kelas yang berbeda yaitu, kelas badan air, vegetasi non-mangrove, permukiman, dan mangrove. Hasil klasifikasi tersebut perlu dilakukan uji confusion matrix untuk mengetahui tingkat kesalahan hasil klasifikasi terhadap objek sebenarnya pada citra Sentinel-2A yang merepresentasikan kondisi realtime di lapangan. Uji confusion matrix pada penelitian ini menggunakan 45 titik uji. Output dari proses ini adalah nilai akurasi pengguna/User Accuracy (UA), akurasi pembuat/Producer Accuracy (PA) dan akurasi keseluruhan/Overall Accuracy (OA). Hasil uji klasifikasi citra Sentinel-2A ditampilkan pada **Tabel 4** dibawah ini.

Tabel 4. Confusion Matrix

Kelas	Badan Air	Vegetasi non-mangrove	Permukiman	Mangrove	Total	UA (%)
Badan air	10	1	0	0	11	91
Vegetasi non-mangrove	0	10	2	0	12	83
Permukiman	0	0	7	0	7	1
Mangrove	0	0	0	15	15	1
Total	10	11	9	15	45	
PA(%)	1	91	78	1		
OA(%)	93					

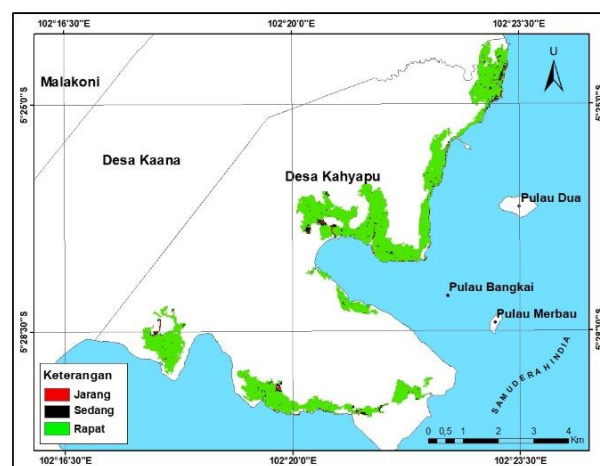
Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui nilai PA kelas badan air dan mangrove adalah 100%, yang menunjukkan sampel pada kelas tersebut terklasifikasi secara tepat. Sedangkan nilai PA kelas vegetasi non-mangrove dan permukiman masing-masing yaitu 91% dan 78% yang artinya terdapat sampel kelas tersebut yang terklasifikasi kedalam kelas yang lain. Nilai UA kelas permukiman dan mangrove adalah 100% yang menunjukkan sampel pada kelas tersebut terklasifikasi secara tepat. Sedangkan nilai UA kelas badan air dan vegetasi non-mangrove masing-masing adalah 91% dan 83% yang artinya

terdapat sampel kelas tersebut yang terklasifikasi kedalam kelas yang lain. Nilai OA pada **Tabel 4** di atas menunjukkan akurasi keseluruhan adalah 93%.

Berdasarkan hasil penelitian Saputra et al., (2021) dalam memetakan perubahan tutupan lahan mangrove di Pulau Dompok, diperoleh nilai uji akurasi 89% pada hasil klasifikasi menggunakan citra Sentinel-2B. Menurut Duryat & Darmawan, (2019) nilai akurasi > 85% menampilkan hasil klasifikasi benar dan dapat diterima dengan tingkat kesalahan 15%, sehingga hasil akurasi yang dapat sudah layak digunakan dan tidak perlu dilakukan klasifikasi ulang. Semakin tinggi nilai akurasi, maka hasil klasifikasi yang diperoleh akan semakin baik.

Indeks Vegetasi

Indeks Vegetasi (NDVI) menunjukkan rentang nilai dari -1 hingga 1, dengan nilai yang melebihi dari nol menandakan peningkatan derajat vegetasi dan kehijauan. Sebaliknya, nilai di bawah nol biasanya dikaitkan dengan permukaan non-vegetatif seperti awan, es, air, dan salju. Jenis vegetasi menunjukkan spektrum nilai NDVI, dengan ekosistem sabana (padang rumput) yang menunjukkan nilai sekitar 0,1, sedangkan hutan hujan tropis dapat mencapai nilai 0,8 (Andini et al., 2018). Kerapatan vegetasi merupakan faktor penting yang memengaruhi karakteristik yang diamati dalam citra penginderaan jauh, dan penilaian kerapatan ini sering dinyatakan sebagai persentase seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Peta kerapatan mangrove menggunakan algoritma NDVI

Berdasarkan nilai yang diperoleh dari perhitungan NDVI pada data citra Sentinel-2A, kerapatan mangrove dibagi menjadi tiga kategori, yaitu jarang, sedang, dan rapat. Nilai NDVI yang diperoleh digunakan untuk menentukan tingkat tutupan vegetasi mangrove di wilayah penelitian. Pada tahap awal, proses klasifikasi berbasis *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dilakukan untuk memisahkan area mangrove dan non-mangrove secara umum. Proses ini menghasilkan peta distribusi spasial mangrove sebagai hasil

klasifikasi utama, di mana setiap objek citra dikelompokkan berdasarkan keseragaman spektral dan spasial. Dengan demikian, hasil OBIA berfungsi sebagai dasar untuk mengidentifikasi wilayah yang dikategorikan sebagai mangrove area.

Selanjutnya, perhitungan NDVI diterapkan hanya pada area yang telah diklasifikasikan sebagai mangrove hasil dari proses OBIA tersebut. Tahap ini bertujuan untuk mengelompokkan area mangrove ke dalam tiga sub-kategori berdasarkan tingkat kerapatannya, yaitu mangrove jarang, sedang, dan rapat. Pendekatan dua tahap ini — pertama pemisahan objek melalui OBIA, kemudian penentuan tingkat kerapatan melalui NDVI — memastikan bahwa analisis kerapatan vegetasi dilakukan secara spesifik di area mangrove yang telah tervalidasi secara spasial.

Kriteria klasifikasi NDVI untuk masing-masing kategori ditunjukkan pada **Tabel 5**, yang menunjukkan hasil perhitungan indeks kerapatan mangrove pada citra Sentinel-2A di Desa Kahyapu.

Tabel 5. Nilai indeks kerapatan mangrove pada citra Sentinel-2A Desa Kahyapu

No	Kelas Tutupan Mangrove	NDVI	Luas (ha)n	Persentase (%)
1	Jarang	-1 – 0,32	11,04	1%
2	Sedang	0,32- 0,42	35,8	4%
3	Rapat	0,42- 1	824,24	95%
Total			871,08	

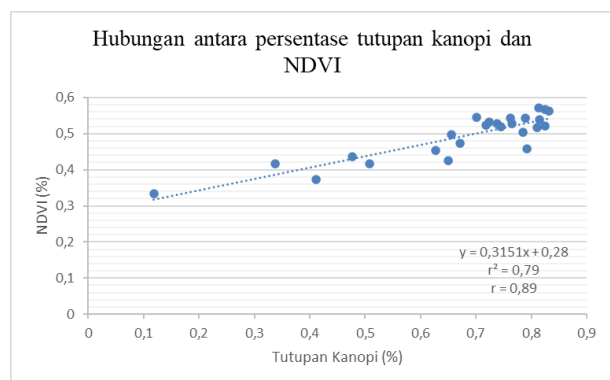
Hasil analisis menunjukkan bahwa tutupan mangrove rapat mendominasi wilayah penelitian dengan luas 824,24 ha atau sekitar 95% dari total area mangrove. Tutupan sedang memiliki luas 35,8 ha (4%), sedangkan tutupan jarang hanya seluas 11,04 ha (1%). Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan mangrove di Desa Kahyapu masih berada dalam kondisi vegetasi yang baik dan padat.

Hubungan antara persentase tutupan kanopi dan NDVI

Analisis korelasi linier sederhana digunakan untuk menilai hubungan antara variabel bebas dan terikat. Dalam konteks ini, variabel x (tutupan kanopi), sedangkan variabel y (nilai NDVI) diperoleh dari pemrosesan algoritma NDVI. Tingkat kerapatan citra Sentinel 2A dapat diukur melalui penerapan algoritma NDVI, sedangkan penentuan kerapatan kanopi mangrove dilakukan melalui analisis data fotografi yang dikumpulkan selama pengamatan lapangan yang telah diolah

menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menilai tutupan mangrove di titik pengamatan.

Data persentase tutupan kanopi yang telah diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ akan dibandingkan dengan data NDVI hasil citra Sentinel-2A melalui analisis regresi. Berdasarkan hasil analisis regresi hubungan keduanya memiliki korelasi sebesar $r=0,89$ dan koefisien determinasi sebesar $r^2=0,79$. Hasil tersebut mengindikasikan hubungan antara data lapangan dan NDVI memiliki hubungan yang tinggi. Koefisien korelasi bernilai positif artinya tutupan kanopi mempengaruhi nilai NDVI, semakin lebat persentase tutupan kanopi akan semakin tinggi nilai NDVI, begitu juga sebaliknya semakin jarang tutupan kanopi nilai NDVI akan semakin rendah. Grafik hubungan persentase tutupan kanopi dengan NDVI dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik hubungan persentase tutupan kanopi dengan NDVI

Penelitian terkait hubungan persentase kanopi dan NDVI menunjukkan hasil yang sama bahwa ada hubungan yang kuat antara kedua data tersebut, seperti yang dilakukan Firmansyah (2018) mendapatkan hubungan yang tinggi antara kedua data tersebut sebesar $r=0,86$ dan $r^2=0,75$. Penelitian lainnya terkait hubungan persentase kanopi dan NDVI juga dilakukan Saputra (2021) yang mendapatkan hubungan yang tinggi antara kedua data tersebut dengan nilai $r=0,92$ dan $r^2=0,85$ menggunakan citra Sentinel-2B dan untuk citra Landsat 8 dengan nilai $r=0,84$ dan $r^2=0,71$. tutupan kanopi mangrove dengan nilai NDVI pada citra Sentinel-2A, didapatkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,89 dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,79.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan distribusi spasial dan tingkat kerapatan ekosistem mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano, menggunakan pendekatan integratif *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berbasis citra Sentinel-2A. Pendekatan dua tahap yang diterapkan, yaitu pemisahan awal antara area mangrove dan non-mangrove melalui OBIA, diikuti dengan analisis NDVI untuk

menentukan tingkat kerapatan vegetasi, terbukti efektif dalam menghasilkan peta tematik dengan tingkat akurasi keseluruhan mencapai 93%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di wilayah penelitian didominasi oleh kategori kerapatan tinggi (rapat) dengan luas 824,24 ha (95%), sedangkan kategori sedang dan jarang masing-masing mencakup 35,8 ha (4%) dan 11,04 ha (1%). Nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,89 dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,79 antara tutupan kanopi hasil pengamatan lapangan dengan nilai NDVI menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara kedua parameter, sehingga hasil pemetaan dapat dianggap valid secara spasial dan representatif terhadap kondisi vegetasi aktual di lapangan.

Temuan ini menguatkan hasil penelitian sebelumnya oleh Saputra et al., (2021) yang menunjukkan korelasi tinggi antara NDVI dan tutupan kanopi mangrove dengan nilai $r > 0,85$. Namun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam konteks Pulau Enggano melalui penerapan metode OBIA dan citra Sentinel-2A yang terbukti lebih efektif dalam membedakan vegetasi mangrove secara spasial dibandingkan pendekatan berbasis piksel konvensional. Secara praktis, hasil pemetaan ini memiliki implikasi penting bagi pengelolaan dan kebijakan tata ruang pesisir Pulau Enggano, terutama dalam mendukung perencanaan zonasi konservasi mangrove, penentuan area prioritas rehabilitasi pada kawasan dengan kerapatan rendah, serta penyusunan kebijakan pengelolaan wilayah pesisir berkelanjutan yang terintegrasi dalam rencana zonasi wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (RZWP3K). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjawab tujuan ilmiahnya untuk mengidentifikasi distribusi spasial dan tingkat kerapatan mangrove secara akurat, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap penguatan kebijakan pengelolaan ekosistem pesisir dan mitigasi perubahan iklim berbasis konservasi karbon biru di Pulau Enggano.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Universitas Bengkulu yang telah memberikan hibah penelitian melalui PNPB LPPM skema Penelitian Fundamental Tahun 2024 dengan Nomor Kontrak : 2946/UN30.15/PT/2024 yang di ketuai oleh Ayub Sugara, S.Kel., M.Si, terima kasih juga kepada tim dosen dan tim pendukung peneliti Ilmu Kelautan Universitas Bengkulu serta KPHK Pulau Enggano.

DAFTAR PUSTAKA

Agustini, N. T., Ta'alidin, Z., & Purnama, D. (2016). Struktur komunitas mangrove di desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*, 1(1), 19–31.
 Alfiansyah, M., Nuarsa, I. W., & Brasika, I. B. M. (2023). Perbandingan Beberapa Metode Klasifikasi Menggunakan Citra Landsat dan Sentinel Untuk Pemetaan Sebaran Mangrove Di Kawasan

Ekowisata Mangrove PIK Jakarta Utara. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 9(1), 82–95.
 Alimudi, S., Susilo, S. B., & Panjaitan, J. P. (2017). Deteksi perubahan luasan mangrove menggunakan citra landsat berdasarkan metode OBIA di Teluk Valentine Pulau Buano. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 8(2), 139–146.
 Andini, S. W., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2018). Analisis sebaran vegetasi dengan citra satelit sentinel menggunakan metode NDVI dan segmentasi. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 14–24.
 Anggoro, A., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2015). Pemetaan Zona Geomorfologi Ekosistem Terumbu Karang Menggunakan Metode Obia, Studi Kasus Di Pulau Pari (Geomorphic Zones Mapping of Coral Reef Ecosystem With Obia Method, Case Study In Pari Island). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 12(1).
 Bengen, G. D. (2000). Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Biologi Laut. *Jakarta: Djambatan*.
 Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2–16.
 Cabello, K. E., Gementil, M. Q., Blanco, A. C., Macatulad, E. G., & Salmo, S. G. (2021). Post-disaster assessment of mangrove forest recovery in lawaan-balangiga, eastern samar using ndvi time series analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 243–250.
 Chianucci, F., Chiavetta, U., & Cutini, A. (2014). The estimation of canopy attributes from digital cover photography by two different image analysis methods. *IForest-Biogeosciences and Forestry*, 7(4), 255.
 Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
 Danoedoro, P. (2012). Pengantar Penginderaan Jauh Digital. In *Penerbit Andi*.
 Departemen Kehutanan, 2005. Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan. Jakarta
 Dharmawan, I. W. E., & Pramudji. (2014). *Panduan Monitoring Status Ekosistem Mangrove di Indonesia* (Issue July). Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI.
 Duryat, D., & Darmawan, A. (2019). Efisiensi penggunaan citra multisensor untuk pemetaan tutupan lahan. *Jurnal Sylva Lestari*, 7(3), 342–349.
 Faizal, A., & Amran, M. A. (2005). Model transformasi indeks vegetasi yang efektif untuk prediksi kerapatan mangrove *Rhizophora mucronata*. *Prosiding PIT MAPIN XIV ITS*.
 Gao, J. (2008). Mapping of land degradation from ASTER data: a comparison of object-based and pixel-based methods. *GIScience & Remote Sensing*, 45(2), 149–166.
 Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154–159.
 Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., & Clark, C. D. (2000). *Remote sensing handbook for tropical coastal management* (A. J. Edwards (ed.)). Unesco Publishing.
 Heumann, B. W. (2011). An object-based classification of

- mangroves using a hybrid decision tree—Support vector machine approach. *Remote Sensing*, 3(11), 2440–2460.
- Ilyas, T. P., Nababan, B., Madduppa, H., & Kushardono, D. (2020). Pemetaan ekosistem lamun dengan dan tanpa koreksi kolom air di perairan Pulau Pajene Kang, Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 9–23.
- Indonesia, L. I. P. (2014). Panduan monitoring status ekosistem mangrove. *Jakarta. 35hlm*.
- Istiarini, R., & Sukanti, S. (2012). Pengaruh sertifikasi guru dan motivasi kerja guru terhadap kinerja guru SMA Negeri 1 Sentolo Kabupaten Kulon Progo tahun 2012. *Jurnal Pendidikan Akuntansi Indonesia*, 10(1).
- Jonathan, S. (2006). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Graha Ilmu.
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2016). Assessment of multi-resolution image data for mangrove leaf area index mapping. *Remote Sensing of Environment*, 176, 242–254.
- Kepmen LH No. 201 Tahun 2004. Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku Dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kurnia, L., & Edwar, A. (2022). Perbandingan Klasifikasi SVM dan Random Forest dalam Memetaan Mangrove Berbasis Piksel Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A di Kecamatan Talibura, Kabupaten Sikka. *AQUANIPA, Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan*, 27(2), 58–66. <http://117.74.115.107/index.php/jemasi/article/view/1537>
- Maksum, Z. U., Prasetyo, Y., & Haniah, H. (2016). Perbandingan klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi berbasis objek dan klasifikasi berbasis piksel pada citra resolusi tinggi dan menengah. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 97–107.
- Nugroho, A. S., Witarto, A. B., & Handoko, D. (2003). Support vector machine. *Proceeding Indones. Sci. Meeting Cent. Japan*.
- Nugroho, F., Sugara, A., Priana, A., & Suci, A. N. N. (2023). Monitoring the Impact of Land Cover Change on Urban Heat Island with Remote Sensing & GIS. *Geosfera Indonesia*, 8(3), 301. <https://doi.org/10.19184/geosi.v8i3.27796>
- Parera, G. R. J., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2024). Perbandingan Klasifikasi SVM dan Random Forest dalam Memetaan Mangrove Berbasis Piksel Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A di Kecamatan Talibura, Kabupaten Sikka. *AQUANIPA-Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan*, 6(2).
- Pasaribu, R. A., Aditama, F. A., & Setyabudi, P. (2021). Object-based image analysis (OBIA) for mapping mangrove using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on Tidung Kecil Island, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 944(1), 12037.
- Pratama, B. B., Pratama, W., Rudiastuti, A. W., Sugara, A., & Nugroho, F. (2025). Optimizing Mangrove Classification with Data Fusion : Machine Learning Approaches for Enggano Island , Indonesia. *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*, 9(September), 1910–1921. <https://doi.org/10.62527/joiv.9.5.3360>
- Purnama, M., Pribadi, R., & Soenardjo, N. (2020). Analisa tutupan kanopi mangrove dengan metode hemispherical photography di Desa Betahwalang, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 9(3), 317–325.
- Rahmadi, M. T., Yuniastuti, E., Hakim, M. A., & Suciani, A. (2022). Pemetaan Distribusi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A: Studi Kasus Kota Langsa. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 1–10.
- Rosmasita, R., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2018). Klasifikasi Mangrove Berbasis Objek Dan Piksel Menggunakan Citra Sentinel-2b Di Sungai Liong, Bengkalis, Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 601–615.
- Saputra, R., Gaol, J. L., & Agus, S. B. (2021). Studi Perubahan Tutupan Lahan Mangrove Berbasis Objek (Obia) Menggunakan Citra Satelit Di Pulau Dompok Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1), 39–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1>.
- Silitonga, O., Purnama, D., & Nofriadiansyah, E. (2018). Pemetaan kerapatan vegetasi mangrove di sisi tenggara Pulau Enggano menggunakan data citra satelit. *Jurnal Enggano*, 3(1), 98–111.
- Sugara, A., Anggoro, A., Lukman, A. H., Ariasari, A., Suci, N. N., Agustini, N. T., Nugroho, F., Muhammad, A., Hanami, C. C., & Zulhendri, R. (2023). Mapping The Potential of Mangrove Planting in The Rehabilitation of Coastal Ecosystems Using Drone Technology. *Journal of Sylva Indonesiana*, 06(02), 164–177. <https://doi.org/10.32734/jsi.v6i02.10515>
- Sugara, A., Lukman, A. H., Rudiastuti, A. W., Anggoro, A., Hidayat, M. F., Nugroho, F., Muslih, A. M., Suci, A. N. N., Zulhendri, R., & Rahmania, M. (2022). Utilization of Sentinel-2 Imagery in Mapping the Distribution and Estimation of Mangroves' Carbon Stocks in Bengkulu City. *Geosfera Indonesia*, 7(3), 219. <https://doi.org/10.19184/geosi.v7i3.30294>
- Timisela, W. A., Mardiatmoko, G., & Puturu, F. (2020). Analisa Jenis Mangrove Menggunakan Citra UAV Dengan Klasifikasi Obia. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 4(2), 132–149.
- Wald, L. (2002). Some terms of reference in data fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3), 1190–1193.
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017(1), 1353691.