

PENGUKURAN KESEHATAN DAN LUASAN MANGROVE DI KECAMATAN MUARAGEMBONG: PENDEKATAN ANALISIS KERAPATAN TAJUK

(*QUANTIFYING MANGROVE HEALTH AND COVERAGE IN MUARAGEMBONG: A CANOPY DENSITY ANALYSIS APPROACH*)

Wiji Prasetyo^{1*}, Alpeus Manihuruk², Ghairandi Al-Abrar²

¹ *Research Center for Geoinformatics, National Research and Innovation Agency (BRIN), Bandung, Indonesia*

² *Geomatics Specialist, PT. Exsa Map Asia, Jakarta, Indonesia*

*wiji004@brin.go.id

Diterima : 4 September 2024 Disetujui : 10 November 2024

ABSTRAK

Kecamatan Muaragembong sebagai muara dari Sungai Citarum, mengalami dinamika ekosistem yang signifikan akibat peningkatan intensitas abrasi dan sedimentasi di area pesisir yang berpotensi mempengaruhi kondisi ekosistem sekitarnya, khususnya ekosistem mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memperkirakan tingkat kesehatan, kerusakan, dan luas total ekosistem mangrove di Kecamatan Muaragembong melalui analisis kerapatan tajuk. Data kerapatan tajuk dikumpulkan di lapangan menggunakan metode *purposive stratified sampling* dengan pendekatan fotografi hemisferik. Hasil klasifikasi menunjukkan luas total mangrove yang berhasil dipetakan seluas 1.073,65 ha, dengan koefisien Kappa sebesar 0,87, menandakan tingkat akurasi yang sangat baik. Evaluasi kesehatan komunitas mangrove mengungkapkan, bahwa 49,66% dari area mangrove berada dalam kondisi baik, 19,80% dalam kondisi normal, dan 30,54% dalam kondisi buruk. Data kerapatan tajuk menunjukkan hubungan sedang dengan koefisien determinasi sebesar 0,4219 (42,19%), yang dipengaruhi oleh faktor eksternal dan resolusi spasial citra yang digunakan.

Kata kunci: *purposive stratified sampling*, fotografi hemisferik, kerapatan tajuk, kesehatan mangrove, Muaragembong.

ABSTRACT

The Muaragembong Sub-district, as the estuary of the Citarum River, experiences significant ecological dynamics due to increased abrasion and sedimentation along the coastline, which can impact the surrounding ecosystem, particularly the mangrove ecosystem. This study aims to evaluate and estimate the health, damage, and total extent of the mangrove ecosystem in Muaragembong through canopy density analysis. Field data on canopy density were collected using purposive stratified sampling with a hemispherical photography approach. Classification results indicate that the total mangrove area mapped is 1073.65 ha, with a Kappa coefficient of 0.87, reflecting high accuracy. The assessment of mangrove health reveals that 49.66% of the mangrove area is in good condition, 19.80% is in normal condition, and 30.54% is in poor condition. Canopy density data show a moderate correlation with a coefficient of determination of 0.4219 (42.19%), influenced by external factor and the spatial resolution of the imagery used.

Keyword: *purposive stratified sampling, hemispherical photography, density of canopy, mangrove health, Muaragembong.*

PENDAHULUAN

Mangrove memegang peranan penting bagi perkembangan ekonomi serta sosial budaya masyarakat yang hidup di sekitar wilayah pesisir (*Global Conservation Society*, 2022). Ekosistem mangrove juga berperan penting dalam menangkap dan menyimpan stok karbon, melindungi pantai dari erosi dan abrasi, serta meningkatkan hasil perikanan secara global (Bunting, dkk., 2022). Secara spesifik, Menéndez, dkk., (2020) menemukan bahwa ekosistem mangrove telah berhasil melindungi area pesisir dari banjir dengan perkiraan keuntungan secara global setiap tahunnya sebesar 65 juta dolar Amerika Serikat. Namun data tahun 2000 hingga 2016 menunjukkan sekitar 62% luasan hutan mangrove secara global terus mengalami penurunan sebagai akibat aktivitas manusia seperti pertanian dan perikanan yang memiliki peranan paling signifikan dalam berkurangnya luasan mangrove (Goldberg, dkk., 2020). Aktivitas pariwisata, pembangunan perkotaan, dan eksploitasi yang berlebihan juga menjadi pemicu berkurangnya luasan mangrove global secara signifikan selain aktivitas pertanian dan perikanan (Giri, 2021).

Indonesia menjadi salah satu negara dengan luasan hutan mangrove terbesar di dunia, yaitu sekitar 20,37 % dari luas total mangrove dunia. Sampai dengan tahun 2021 luasan mangrove di Indonesia sebesar 3.364.080 ha dengan sebaran di Papua seluas 1.562.905 ha, Sumatera seluas 660.445 ha, Kalimantan seluas 688.025 ha, Maluku seluas 224.46 ha, Jawa seluas 56.500 ha, dan Bali-Nusa tenggara seluas 39.974 ha (KLHK, 2021). Bahkan, luas total mangrove yang ada di Indonesia bersama empat negara lainnya, yaitu Brasil, Australia, Meksiko, dan Nigeria hampir mendekati setengah luas mangrove dunia (*Global Conservation Society*, 2022).

Tercatat sekitar 64% dari wilayah administrasi setingkat kabupaten/kota di Indonesia berbatasan langsung dengan garis pantai (Hartono, dkk., 2023). Konsentrasi penduduk yang tinggi di wilayah pesisir mengakibatkan ketergantungan warga terhadap ekosistem mangrove merupakan satu hal yang tidak dapat dipungkiri. Namun seiring berjalannya waktu, kawasan mangrove di Indonesia telah banyak mengalami degradasi yang memprihatinkan akibat alih fungsi lahan, perambahan, hama dan penyakit, perluasan tambak, serta praktik budidaya yang tidak berkelanjutan (Hidayah, dkk., 2023; Safitri, dkk., 2023). Hal ini memicu peningkatan erosi pantai yang menyebabkan terjadinya kerusakan habitat alami, punahnya jenis flora dan fauna tertentu, serta menurunnya keanekaragaman hayati atau *biodiversity* (Simarmata, dkk., 2021).

Banyak penelitian dengan metode yang beragam sudah dilakukan di seluruh dunia dalam kajian mangrove. Ketersediaan data penginderaan jauh dari aspek resolusi spasial, spektral, dan temporal yang semakin beragam, memberikan peluang melakukan kajian secara lokal maupun global dengan akurasi yang semakin baik (Giri, 2021). Darmawan, dkk., (2020) mengkaji perubahan luasan mangrove dari tahun 1989-2015 dan memprediksi luasan di tahun 2028 di Taman Nasional Sembilang dengan integrasi teknik *Markov Chain* dan *Celular Automata*. KLHK (2021) menggunakan pendekatan ekologi bentang lahan dalam memetakan mangrove eksisting dan potensi habit mangrove di seluruh wilayah Indonesia dengan interpretasi visual data penginderaan jauh Citra *SPOT 6/7* dan *Sentinel 2A*. Zhu, dkk., (2020) mengkaji biomassa permukaan tanah dalam kawasan hutan mangrove di China menggunakan data optik dan radar. Lebih lanjut, Yancho, dkk., (2020) menggunakan *The Google Earth Engine*

Mangrove Mapping Methodology (GEEMMM) dalam memetakan dan memonitor hutan mangrove di Myanmar. Selain itu pemetaan kerapatan mangrove menggunakan analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dilakukan di pesisir Kota Semarang oleh Safitri, dkk., (2023). Data yang digunakan adalah citra Landsat 8 dan Sentinel 2. Sementara itu, Irmawan, dkk., (2022) memanfaatkan citra satelit *sentinel-2A MSI-MultiSpectral* menggunakan metode *Mangrove Health Index* (MHI) dalam memetakan kesehatan mangrove di Desa Daun, Gresik. Parameter yang digunakan adalah tutupan mangrove (C), Diameter (DBH), dan Kerapatan pancang (Nsp). Pendekatan *Mangrove Health Index* (MHI) juga dilakukan dalam pemetaan kondisi hutan mangrove di kawasan pesisir Selat Madura memanfaatkan citra satelit *Sentinel-2* oleh Hidayah, dkk., (2023). Nilai MHI ditentukan berdasarkan kombinasi 4 index vegetasi, yaitu NBR (*Normalized Burn Ratio*); GCI (*Green Chlorophyll Index*); SIPI (*Structure Insensitive Pigment Index*), dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*).

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menganalisis tingkat kesehatan suatu kawasan hutan mangrove secara spasial adalah tingkat kerapatan tajuk (Arief, dkk., 2017; Alimudi, dkk., 2018). Proses analisis tingkat kerapatan tajuk secara spasial diperlukan upaya transformasi spektral terhadap citra satelit. Transformasi citra yang paling banyak digunakan untuk pemetaan dan pemodelan mangrove adalah indeks vegetasi (Wicaksono, dkk., 2016; Arief, dkk., 2017; Alimudi, dkk., 2018; Putra, dkk., 2022). Salah satu indeks vegetasi yang dapat menggambarkan tingkat kerapatan tajuk secara akurat dan presisi di kawasan mangrove adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Indeks vegetasi NDVI memanfaatkan band NIR (*Near Infrared*) dan band merah (*Red*) untuk proses transformasi spektralnya. Kedua band tersebut memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap kandungan klorofil yang ada pada vegetasi (Putra, dkk., 2022). Pemanfaatan indeks vegetasi NDVI untuk memetakan tingkat kesehatan mangrove berdasarkan tingkat kerapatan tajuk pernah dilakukan oleh Pratama, dkk., (2019) dengan menggunakan data citra *Sentinel-2A* cakupan wilayah TAHURA (Taman Hutan raya) Ngurah Rai Bali. Penelitian tersebut mengemukakan hasil, bahwa indeks vegetasi NDVI memiliki koefisien determinasi sebesar 66,67% dengan nilai kerapatan tajuk di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi tingkat kesehatan, kerusakan, serta memperkirakan

luas total mangrove yang terdapat di Kecamatan Muaragembong. Kecamatan Muaragembong dipilih karena merupakan salah satu wilayah pesisir yang menyimpan potensi ekosistem mangrove yang melimpah dan dapat dijadikan sebagai sarana untuk mendorong pembangunan bagi masyarakat sekitar baik secara ekonomis maupun ekologis. Secara umum, kondisi ekosistem mangrove yang ada di Muaragembong saat ini relatif stabil sebagai hasil dari upaya rehabilitasi serta pengukuhan kawasan hutan lindung di beberapa kawasan hutan mangrovenya (Suryadi, dkk., 2021). Namun, di beberapa kawasan masih mengalami fluktuasi perubahan luas total sebagai akibat gelombang tinggi dan keberadaan sampah, dimana kedua hal tersebut di suatu kawasan pesisir dapat memberikan pengaruh yang buruk terhadap ekosistem mangrove yang ada di kawasan tersebut (Vitasari, 2015). Selain itu, adanya sampah yang mencemari kawasan ekosistem mangrove memberikan dampak terhadap kesehatan vegetasi mangrove (Sinaga, dkk., 2023). Berdasarkan data dan fakta yang telah dijabarkan sebelumnya, penelitian mengenai *monitoring* kesehatan mangrove dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh penting dilakukan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pembuatan kebijakan dan kegiatan yang berkaitan dengan pengelolaan ekosistem mangrove di Kecamatan Muaragembong.

METODE

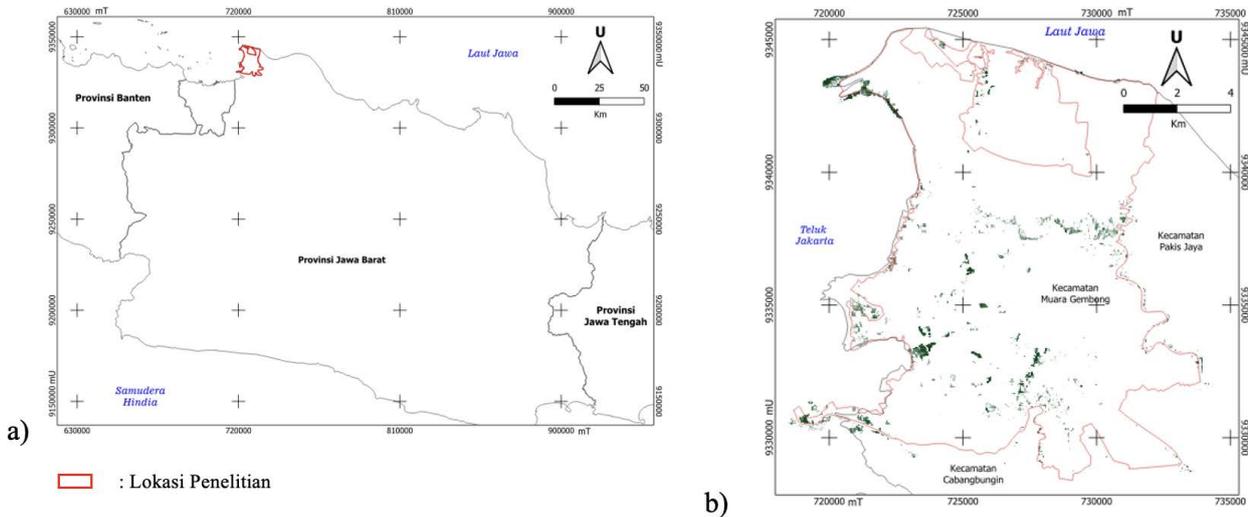
Lokasi Penelitian

Pemetaan kesehatan mangrove pada penelitian ini berlokasi di pesisir Kecamatan Muaragembong, Kabupaten Bekasi. Kecamatan Muaragembong berada di sebelah utara Kabupaten Bekasi yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa dengan topografi yang didominasi oleh dataran rendah dengan luas 140 Km² dan merupakan kecamatan terluas dari total 23 kecamatan yang ada di Kabupaten Bekasi dengan 5 desa seperti Desa Pantai Bahagia, Desa Pantai Mekar, Desa Pantai Sederhana, Desa Harapan Jaya, dan Desa Jakasakti (Hendri, dkk., 2023). Jenis mangrove yang terdapat di Kecamatan Muaragembong didominasi oleh *Avicennia alba* (Rahmasari, dkk., 2019), selain itu terdapat juga spesies lainnya seperti *Rhizophora mucronate*, *Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, dan *Avicennia officinalis* (Marsudi, dkk., 2018).

Kondisi pesisir Muaragembong sangat dinamis karena terjadi peningkatan abrasi dan sedimentasi yang cukup intens pada area pantai (Putra, dkk., 2016; Alimuddin & Aryanti, 2020) sehingga dapat

mengubah batas administrasi. Oleh karenanya untuk menentukan lokasi garis pantai sesuai batas pantai terkini maka jangkauan garis pantai diperluas sebesar 500 m. Kondisi lokasi penelitian selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 1.

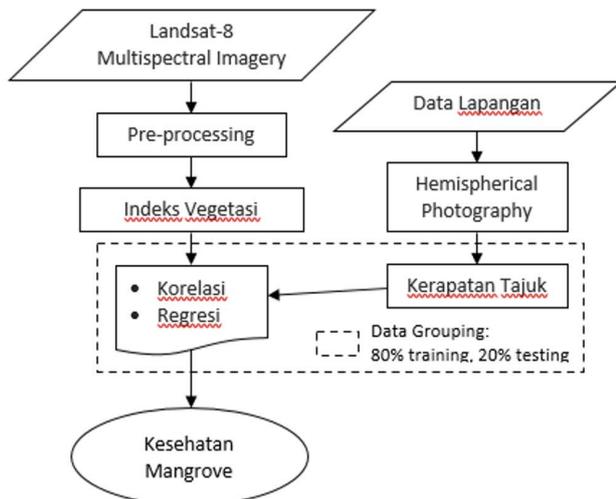
yang termasuk ke dalam koleksi ini memiliki tingkat kualitas tertinggi yang sudah terkoreksi secara atmosferik dan dilengkapi dengan 11 band multispektral yang terdiri dari *coastal aerosol, red, green, blue, NIR (near infrared), SWIR (shortwave*



Gambar 1. Peta lokasi penelitian: (a) Lokasi geografis Kecamatan Muaragembong di Provinsi Jawa Barat, (b) Lokasi penelitian dengan tutupan mangrove hasil ekstraksi data Landsat-8 (Sumber: data diolah, 2022).

Model Penelitian

Model penelitian pemetaan kesehatan mangrove dengan memanfaatkan data Landsat-8 dalam penelitian ini digambarkan secara skematik pada Gambar 2.



Gambar 2. Model penelitian

Pengumpulan dan Pengolahan Data Penginderaan Jauh

Data citra yang digunakan diambil dari koleksi data USGS Landsat 8 Collection 2 Tier 1 TOA Reflectance yang tersedia secara *open source* di Google Earth Engine (GEE). Data citra Landsat 8

infrared), dan *thermal infrared* yang masing-masing memiliki resolusi spasial sebesar 30 m (Crawford, dkk., 2023). Data Landsat 8 dipilih karena data mudah didapatkan, cakupannya luas, memiliki resolusi temporal tinggi, rasio *signal to noise* yang kecil, serta terdapat input data tambahan seperti reflektansi permukaan, koreksi atmosferik, dan suhu permukaan (Vermote, dkk., 2016).

Adapun waktu perekaman citra terpilih pada tanggal 1 Juli 2022, yaitu perekaman citra terbaik dan bebas awan yang paling dekat jaraknya dengan pengambilan data lapangan pada tanggal 10-28 Oktober 2022. Hal tersebut dengan pertimbangan, bahwa pemilihan waktu perekaman dari data citra satelit yang digunakan akan sangat mempengaruhi hasil akhir dari penelitian yang dilakukan, karena semakin dekat perekaman citra satelit dengan waktu pengambilan data lapangan maka akan semakin sesuai gambaran antara kondisi spasial pada citra dengan kondisi aktual lapangan sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk analisis lebih lanjut dan sebaliknya (Prasetyo, dkk., 2024).

Proses mendeteksi keberadaan ekosistem mangrove dilakukan dengan menyusun tiga fungsi masking, yaitu indeks *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), indeks *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), dan data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). NDVI digunakan karena telah teruji dan dapat

digunakan untuk menghitung kehijauan vegetasi (Rouse, dkk., 1973; Suardana, dkk., 2023), MNDWI digunakan untuk meningkatkan informasi perairan dari gangguan lingkungan lainnya (Xu, 2006), dan SRTM membantu dalam penyusunan model sebagai masukan parameter kemiringan (Wendi, dkk., 2014).

Hasil deteksi mangrove kemudian digunakan untuk klasifikasi *Random Forest* (RF) dengan jumlah total *training* area sebanyak 450, yaitu 250 titik untuk kelas mangrove dan 200 titik untuk kelas non-mangrove (Gambar 3). Algoritme RF diketahui memiliki akurasi tinggi untuk memprediksi hasil klasifikasi, regresi, dan juga kuat terhadap noise (Suardana, dkk., 2023). Hasil klasifikasi RF selanjutnya digunakan sebagai model klasifikasi

sampai dengan 1. Semakin besar nilai Kappa maka konsistensi akan semakin baik. Persamaan koefisien Kappa ditunjukkan sebagai berikut:

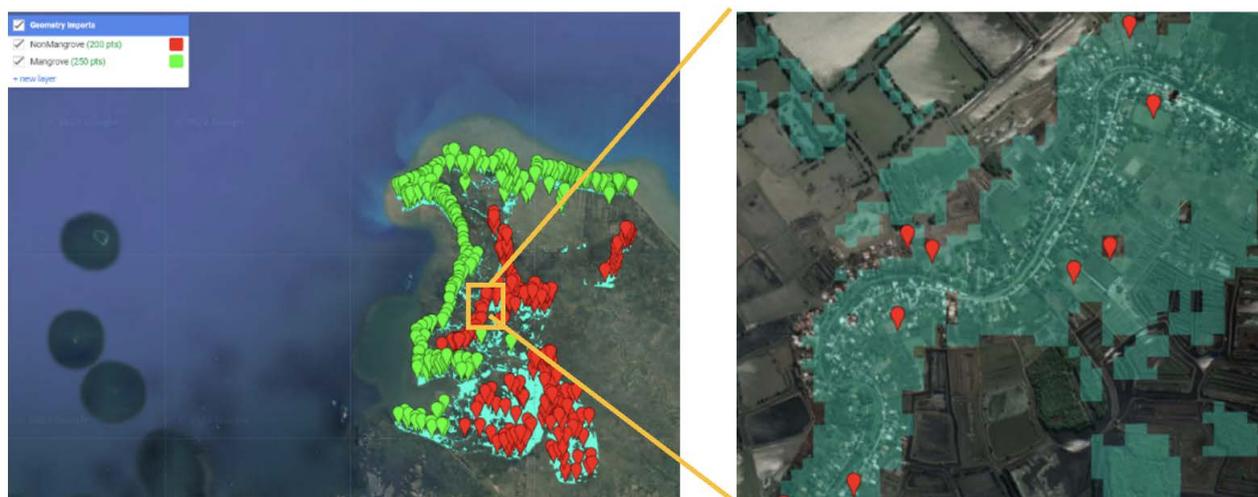
$$Kappa = \frac{Observed\ Accuracy - Chance\ Agreement}{1 - Chance\ Agreement} \quad (1)$$

$$Chance\ Agreement = \frac{\frac{(cm^1 \times rm^1)}{n} + \frac{(cm^2 \times rm^2)}{n}}{n} \quad (2)$$

dengan cm^1 mewakili kolom 1 marginal, rm^1 mewakili baris 1 marginal, cm^2 mewakili kolom 2 marginal, rm^2 mewakili baris 2 marginal, dan n mewakili jumlah pengamatan.

Tabel 1. Indeks NDVI dan MNDWI

Indeks	Algoritma	Sumber
NDVI	$NDVI = (NIR-RED) / (NIR + RED)$	Rouse, dkk., 1973; Suardana, dkk., 2023
MNDWI	$MNDWI = (GREEN - SWIR) / (GREEN + SWIR)$	Xu, 2006.



Gambar 3. Input training area proses RF mangrove Muaragembong.

dengan menggunakan 386 titik sampel, dengan 80% atau 310 titik sampel digunakan sebagai *training* dan 20% sisanya atau 76 titik sampel digunakan untuk *testing*.

Model klasifikasi RF kemudian diuji keakurasiannya dengan menggunakan metode matriks kesalahan atau *confusion matrix* sehingga dapat diketahui tingkat akurasi dari hasil pengklasifikasian terhadap kondisi sebenarnya di lapangan. Uji akurasi ini dinyatakan dengan nilai *overall accuracy* dan koefisien Kappa. Koefisien Kappa digunakan untuk mengetahui kekuatan hubungan dari nilai indeks reflektansi citra satelit (Abutaleb, dkk., 2021) dengan rentang nilai antara -1

Pengumpulan Data Lapangan

Data lapangan berupa kerapatan tajuk mangrove dikumpulkan pada tanggal 10-28 Oktober 2022 sejumlah 30 titik sampel yang telah ditentukan sebelumnya. Penentuan banyaknya jumlah titik sampel pada pengambilan data lapangan ini mengacu kepada Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 terkait dengan Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove yang dapat dilihat pada Tabel 2. Titik pengambilan data tingkat kerapatan tajuk di lapangan dilakukan dengan metode *purposive stratified sampling*, yaitu dengan memperhatikan strata atau klasifikasi tingkat tutupan mangrove

karena hutan mangrove cenderung memiliki stratifikasi tingkat kerapatan yang jelas (Dharmawan, 2020). Pada saat di lapangan, lokasi atau koordinat dari tiap titik sampel tersebut dilacak menggunakan aplikasi *Avenza Maps* sebagai alternatif dari *handheld* GPS.

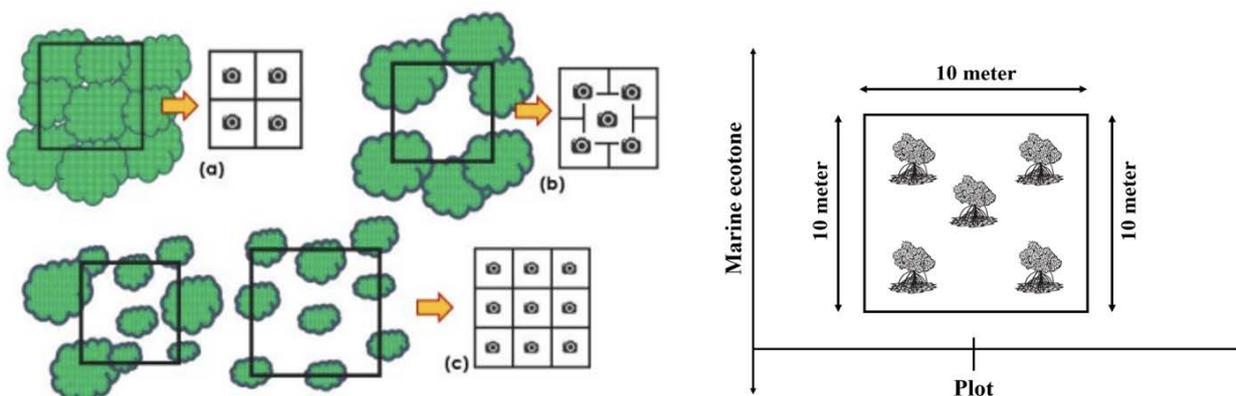
Pengambilan data kerapatan tajuk mangrove

celah diambil 4 kuadran. Kemudian, untuk area plot yang memiliki celah terbuka di salah satu sisi kanopinya diambil 5 kuadran. Sedangkan untuk area plot dengan tutupan kanopi yang jarang, diambil 9 kuadran.

Tabel 2. Jumlah sampel berdasarkan skala

Skala	Total Sampel Minimal (TSM)
1:25.000	50
1:50.000	30
1:250.000	20

Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2014



Gambar 4. Teknik Pengambilan Foto Berdasarkan Kondisi Hutan Mangrove (Dharmawan & Pramudji, 2017; Suardana, dkk., 2023)

pada penelitian ini dilakukan dengan metode fotografi hemisferik, yaitu fotografi vertikal tutupan kanopi yang diambil dari bawah kanopi pohon. Metode ini dipilih karena dapat memperkirakan persentase tutupan mangrove dengan baik dan penerapannya mudah (Dharmawan & Pramudji, 2017). Kamera yang digunakan adalah kamera ponsel pintar Samsung Galaxy A12 dengan resolusi kamera 5 MP. Menurut Dharmawan (2020), hutan mangrove cenderung memiliki stratifikasi tingkat kerapatan tajuk yang jelas sehingga dalam menilai kerapatan tajuknya dapat dilakukan melalui metode fotografi hemisferik dengan resolusi kamera minimal 3 MP.

Pengambilan foto dilakukan merujuk pada metode Dharmawan dan Pramudji (2017) dan Suardana, dkk., (2023) dengan plot seluas 10x10 m² di setiap titiknya. Setiap plot tersebut dibagi lagi menjadi beberapa subplot/kuadran berdasarkan kondisi tutupan kanopi mangrove sesuai dengan ketentuan (Gambar 4). Pada plot yang memiliki kerapatan kanopi lebat atau hampir tidak memiliki

Analisis Kerapatan Tajuk

Penilaian kerapatan tajuk dilakukan karena ukuran dan kerapatan tajuk dapat menggambarkan kesehatan tanaman (Dharmawan & Pramudji, 2017; Safe'i, 2020). Analisis tingkat kerapatan tajuk dari setiap foto vertikal dilakukan menggunakan platform *ImageJ* sebagaimana panduan *monitoring* status ekosistem mangrove di Indonesia (Dharmawan & Pramudji, 2017). Dengan memanfaatkan platform tersebut dapat dihitung persentase kerapatan tajuk mangrove melalui analisis gambar biner yang memiliki derajat keabuan hitam dan putih. Persentase kerapatan tajuk mangrove diperoleh melalui perbandingan antara jumlah piksel 255 dengan jumlah piksel keseluruhan kemudian dikalikan dengan 100% sebagaimana persamaan $\frac{P_{255}}{\sum P} \times 100\%$, dengan P adalah piksel. Sedangkan untuk klasifikasi tingkat kerapatan tajuk mangrove mengacu kepada ketentuan SNI 7717-2020 yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Skema klasifikasi informasi geospasial mangrove

Tingkat Kerapatan Tajuk	Tutupan Tajuk (%)
Mangrove lebat	> 70
Mangrove sedang	30-70
Mangrove jarang	< 30

Sumber: SNI 7717-2020, Badan Standardisasi Nasional, 2020.

Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan dengan membuat titik sebagai pembandingan antara hasil klasifikasi NDVI dengan kondisi sebenarnya yang tersebar di lokasi penelitian. Tujuannya untuk melihat besaran hubungan atau kesesuaian antara hasil indeks mangrove dengan training dan hasil data lapangan (Jarchow, dkk., 2018; Prasetyo, dkk., 2023). Metode yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi dari fotografi hemisferik adalah regresi dan koefisien korelasi. Dalam hal ini, interval koefisien dan tingkat hubungan dibagi dalam 5 kelas mulai dari sangat rendah hingga sangat kuat seperti yang ditunjukkan pada tabel 4. Semakin kuat hubungan semakin tinggi nilai interval koefisien dan sebaliknya.

hasil dari upaya konservasi yang bertujuan untuk menjaga proses ekologi, keanekaragaman hayati, serta kelestarian ekosistem, dan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat (Suryadi, dkk., 2021). Analisis fusi indeks NDVI, MNDWI, dan data SRTM (Gambar 5(a)) menunjukkan bahwa potensi sebaran spasial ekosistem mangrove di Kecamatan Muaragembong berada pada kawasan pasang surut air laut dengan kepadatan yang relatif tinggi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Brown (2017), yang menyatakan bahwa mangrove dapat tumbuh optimal pada lahan dengan elevasi 0–55 m, yaitu di wilayah pasang surut air laut. Luas potensi ekosistem mangrove di wilayah ini diperkirakan mencapai 8.425,57 ha. Sebagian besar potensi ekosistem mangrove ini tersebar di bagian selatan

Tabel 4. Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat Rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Sedang
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,00	Sangat Kuat

Sumber: Sugiyono, 2013.

HASIL DAN PEMBAHASAN

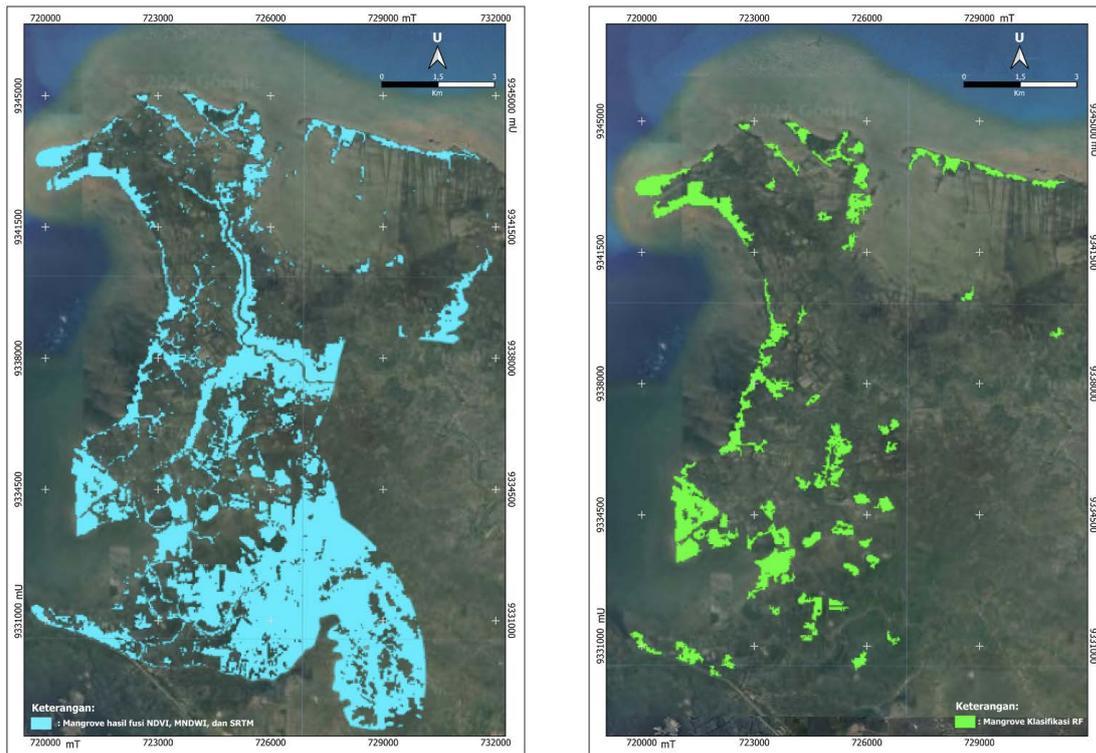
Deteksi Ekosistem Mangrove Muaragembong

Kecamatan Muaragembong, yang terletak di muara Sungai Citarum, merupakan wilayah yang sangat dinamis karena mengalami peningkatan intensitas abrasi dan sedimentasi di sepanjang pantainya, yang dapat mempengaruhi kondisi ekosistem sekitarnya (Putra, dkk., 2016; Alimuddin & Aryanti, 2020). Wilayah ini dilalui oleh empat anak sungai dan satu sungai utama dalam DAS Citarum yang bermuara di Laut Jawa (Asyiwati & Akliyah, 2014). Mengingat dinamika lingkungan yang kompleks tersebut, pemantauan yang cepat dan efisien sangat diperlukan, salah satunya melalui pemanfaatan citra satelit.

Hasil pemantauan menggunakan citra satelit menunjukkan bahwa luas vegetasi mangrove di kawasan pesisir Muaragembong cenderung meningkat dalam 20 tahun terakhir, terutama sebagai

Kecamatan Muaragembong, sementara di bagian utara dan timur, vegetasi mangrove cenderung lebih jarang. Variasi sebaran ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti perambahan, konversi lahan menjadi tambak dan pertanian, maupun faktor alamiah seperti abrasi, sedimentasi, dan arus air (Alimuddin & Aryanti, 2020).

Berdasarkan hasil uji *confusion matrix* menggunakan 76 titik uji lapangan, yaitu terdiri dari 35 titik untuk uji mangrove dan 41 titik uji non-mangrove (Tabel 5) menunjukkan bahwa pengklasifikasian mangrove dan non-mangrove melalui metode RF dalam penelitian ini telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh PERKA BIG Nomor 3 Tahun 2014, yaitu minimal 70. Nilai *overall accuracy* sebesar 93,42% dengan indeks Kappa sebesar 0,87 atau mendekati nilai 1 sesuai persamaan Abutaleb, dkk., (2021), mencerminkan hasil pengklasifikasian memiliki akurasi yang tinggi



a)

b)

Gambar 5. Sebaran ekosistem mangrove Kecamatan Muaragembong, (a) hasil fusi indeks NDVI, MNDWI, dan SRTM; (b) hasil klasifikasi RF

dan dapat diandalkan untuk interpretasi kondisi aktual di lapangan. Hasil akhir dari pengklasifikasian RF bisa dilihat pada Gambar 5(b). Dari hasil klasifikasi, terlihat bahwa sebaran spasial mangrove di Kecamatan Muaragembong sebagian besar terletak di bagian selatan, barat, dan utara, yang berasosiasi dengan garis pantai dan muara sungai.

Suryadi, dkk., 2021) disamping pembangunan pemecah gelombang (Alimuddin & Aryanti, 2020).

Analisis Kerapatan Tajuk

Upaya pelestarian spesies mangrove dan perlindungan pesisir di Kecamatan Muaragembong melalui program penanaman kembali (reboisasi) terus-menerus didorong (Marsudi, dkk., 2018),

Tabel 5. Hasil uji *confussion matrix*

Hasil Klasifikasi	Data Referensi		Total Baris
	Mangrove	Non-Mangrove	
Mangrove	31	1	32
Non-Mangrove	4	40	44
Total	35	41	76
<i>Overall Accurcy</i>	93,42 %		
<i>Kappa Accuracy</i>	0,87		

Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer Tahun 2022

Kondisi mangrove yang tersebar pada Kecamatan Muaragembong utamanya dikarenakan perubahan garis pantai, baik karena abrasi maupun sedimentasi (Putra, dkk., 2016). Oleh karenanya dilakukan berbagai upaya pelestarian jenis mangrove dan perlindungan pesisir Muaragembong melalui penanaman kembali (Marsudi, dkk., 2018;

sehingga selama dua dekade terakhir terdapat kecenderungan peningkatan luasan hutan mangrove (Suryadi, dkk., 2021). Peningkatan ini didukung oleh partisipasi aktif masyarakat sekitar Kecamatan Muaragembong yang semakin menyadari pentingnya menjaga ekosistem mangrove. Selain itu, inisiatif kolaboratif antara pemerintah, organisasi

non-pemerintah, dan masyarakat lokal juga berperan penting dalam meningkatkan kesadaran dan pengetahuan mengenai manfaat ekologis mangrove. Program pendidikan dan pelatihan yang diadakan secara berkala tidak hanya membekali masyarakat dengan keterampilan yang diperlukan untuk melakukan penanaman dan pemeliharaan, tetapi juga memperkuat komitmen kolektif dalam menjaga kelestarian lingkungan. Keterlibatan masyarakat ini merupakan faktor kunci dalam keberhasilan proyek-proyek konservasi, yang selanjutnya berkontribusi pada peningkatan kesehatan ekosistem pesisir dan keberlanjutan sumber daya alam di wilayah tersebut (Sari, dkk., 2018).

Hasil analisis tingkat kerapatan tajuk mengikuti standar SNI 7717-2020 menunjukkan bahwa kerapatan tajuk mangrove di Kecamatan Muaragembong didominasi oleh kategori kerapatan tajuk lebat, diikuti oleh kategori kerapatan tajuk sedang dan jarang. Dari total 30 plot yang diamati, sebanyak 15 plot menunjukkan kerapatan tajuk lebat, 7 plot menunjukkan kerapatan sedang, dan 8

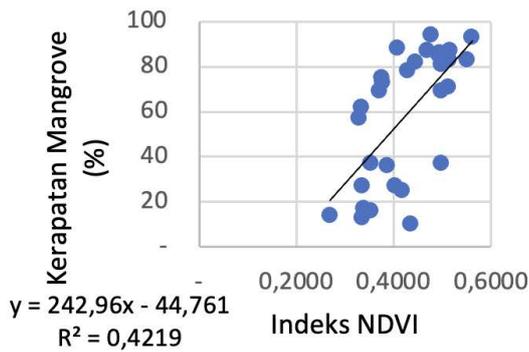
plot lainnya menunjukkan kerapatan tajuk jarang. Plot dengan tingkat kerapatan tajuk tertinggi teridentifikasi di kawasan Desa Pantai Bahagia, tepatnya pada plot 24 dengan koordinat 107.035936 E, -5.943972 S, yang mencatat persentase kerapatan tajuk mencapai 94%. Sebaliknya, plot dengan tingkat kerapatan tajuk terendah juga berlokasi di kawasan yang sama, yaitu pada plot 27 dengan koordinat 107.03628 E, -5.940705 S, yang hanya menunjukkan persentase kerapatan tajuk sebesar 10%, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 6. Analisis ini mengindikasikan adanya variasi yang signifikan dalam kerapatan tajuk mangrove di Kecamatan Muaragembong, yang dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kondisi lingkungan, pengelolaan hutan, dan aktivitas manusia.

Hasil *regresi linier* antara data citra NDVI dengan nilai persentase kerapatan tajuk mangrove yang diperoleh melalui metode fotografi hemisferik adalah $Y=2,4296x-0,4476$ (Gambar 6). Koefisien determinasi yang dihasilkan dari model persamaan antara kedua variabel tersebut adalah 0,4219. Hal ini

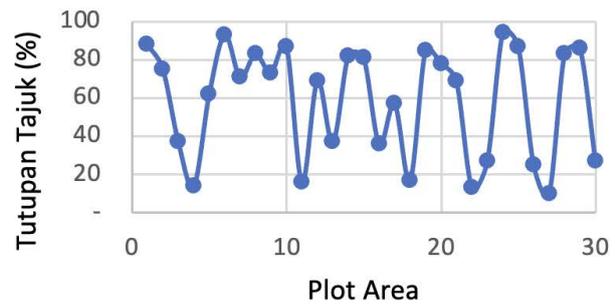
Tabel 6. Hasil klasifikasi tingkat kerapatan mangrove Kecamatan Muaragembong

Pbt	X	Y	Kelas NDVI	Nilai NDVI	Kerapatan	P ₂₅₅	Klasifikasi Tutupan
1	107.011034	-6.054191	Orange	0.407492	88%	4,600,833	Lebat
2	107.008732	-6.053172	Orange	0.375641	75%	2,205,803	Lebat
3	107.007353	-6.051479	Orange	0.352615	37%	1,916,473	Sedang
4	107.022879	-6.033007	Merah	0.269378	14%	1,641,981	Jarang
5	107.022296	-6.027470	Orange	0.333535	62%	3,231,820	Sedang
6	107.022054	-6.022483	Hijau Gelap	0.561065	93%	4,848,702	Lebat
7	106.995070	-6.021704	Hijau	0.512605	71%	3,710,358	Lebat
8	106.995156	6.021353	Hijau	0.514720	83%	4,383,311	Lebat
9	106.995010	-6.021143	Orange	0.376478	73%	3,828,971	Lebat
10	106.996761	-6.022404	Kuning	0.469670	87%	4,542,316	Lebat
11	106.994960	-6.020568	Orange	0.353412	16%	1,694,275	Jarang
12	106.995067	-6.021814	Hijau	0.497611	69%	3,586,410	Sedang
13	106.995063	-6.022019	Hijau	0.497611	37%	1,972,487	Sedang
14	107.016388	-5.959412	Hijau	0.445111	82%	4,305,122	Lebat
15	107.016392	-5.959674	Hijau	0.498382	81%	4,257,032	Lebat
16	107.016662	-5.960579	Orange	0.387591	36%	1,887,542	Sedang
17	107.016582	-5.960855	Merah	0.329540	57%	2,971,663	Sedang
18	107.016498	-5.961098	Orange	0.339232	17%	904,828	Jarang
19	107.016499	-5.961708	Hijau	0.492500	85%	4,425,870	Lebat
20	107.016415	-5.961879	Kuning	0.428383	78%	4,079,830	Lebat
21	107.016501	-5.962747	Orange	0.371488	69%	3,628,200	Sedang
22	107.017244	-5.963639	Orange	0.335369	13%	683,195	Jarang
23	107.017424	-5.963462	Orange	0.335369	27%	1,417,617	Jarang
24	107.035936	-5.943972	Kuning	0.476937	94%	4,924,022	Lebat
25	107.036823	-5.942880	Hijau	0.515387	87%	4,553,414	Lebat
26	107.036543	-5.940357	Kuning	0.417667	25%	1,299,482	Jarang
27	107.036280	-5.940705	Kuning	0.435476	10%	530,361	Jarang
28	107.036457	-5.939719	Hijau Gelap	0.551561	83%	4,328,644	Lebat
29	107.036910	-5.938983	Hijau	0.494165	86%	4,510,551	Lebat
30	107.037191	-5.939522	Orange	0.402955	27%	1,426,503	Jarang

Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer Tahun 2022



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Model regresi linear data indeks vegetasi NDVI dengan data fotografi hemisferik dan (b) persentase tutupan tajuk pada setiap plot

memiliki arti sekitar 42,19% nilai tingkat kerapatan tajuk di lapangan dapat dijelaskan oleh nilai piksel dari citra satelit dengan indeks NDVI. Sisanya, 57,81% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak tercakup dalam model ini.

Mengacu pada ketentuan yang diutarakan oleh Sugiyono (2013), tingkat keterikatan atau korelasi antara data fotografi hemisferik dengan data piksel citra NDVI termasuk dalam keterikatan kategori sedang (0,40-0,599). Ini menunjukkan bahwa meskipun ada hubungan antara kedua variabel tersebut, namun hubungan tidak terlalu kuat, yang mengindikasikan adanya faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi kerapatan tajuk yang tidak terdeteksi oleh citra satelit dengan indeks NDVI. Sebagaimana penelitian Pratama, dkk., (2019), Suardana, dkk., (2023) dan Prasetyo, dkk., (2024) bahwa semakin tinggi resolusi spasial data citra satelit yang digunakan dapat merepresentasikan informasi yang lebih detil, hal ini akan berdampak pada nilai koefisien determinasi yang diperoleh, dimana koefisien determinasi tertinggi akan diperoleh melalui citra resolusi lebih tinggi dan indeks vegetasi yang tepat. Dalam penelitian ini, citra *Landsat 8* yang digunakan merupakan citra satelit resolusi menengah dengan resolusi spasial sebesar 30 m, yang berarti bahwa setiap pikselnya memiliki skala sebesar 30x30 m. Berdasarkan penelitian ini ditemukan fakta bahwa citra resolusi menengah sebenarnya kurang ideal untuk analisis detail seperti kerapatan tajuk mangrove, terutama karena komunitas mangrove sering kali memiliki distribusi yang tidak merata dan heterogen di lapangan (Putra, dkk., 2022).

Faktor eksternal seperti karakteristik substrat, pasang surut, pencemaran, dan alih fungsi lahan diduga turut mempengaruhi hasil pengukuran

(Vitasari, 2015; Simarmata, dkk., 2021; Sinaga, dkk., 2023; Suardana, dkk., 2023). Adanya pencemaran menyebabkan berkurangnya mineral anorganik dan organik di tanah dan perairan yang berefek kepada berkurangnya mikroorganisme sehingga dapat menghambat pertumbuhan mangrove (Sinaga, dkk., 2023). Disisi lain alih fungsi lahan menjadi tambak menjadi penyumbang berkurangnya ekosistem mangrove, sebagaimana penelitian Alimuddin dan Aryanti (2020) menggunakan data satelit rentang tahun 2012-2020 di Muaragembong, sehingga mengakibatkan terjadinya abrasi ekstensif pada bagian Utara Muaragembong.

Untuk meningkatkan akurasi dan keterikatan antara data lapangan dan citra satelit, penggunaan citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi (20 m sampai 0,5 m) sangat dianjurkan (Prasetyo, dkk., 2024). Citra dengan resolusi tinggi memungkinkan pengamatan yang lebih rinci dan dapat menangkap variasi kecil dalam struktur tajuk mangrove yang mungkin hilang pada citra dengan resolusi menengah. Dengan demikian, hasil analisis akan lebih representatif dan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kondisi vegetasi mangrove di lapangan. Selain itu, faktor lain yang perlu dipertimbangkan termasuk variasi kondisi cahaya saat pengambilan fotografi hemisferikal, heterogenitas struktur tajuk, serta keanekaragaman spesies mangrove yang mungkin memiliki respons spektral yang berbeda-beda terhadap NDVI. Penelitian lanjutan yang menggabungkan berbagai metode pengukuran dan citra satelit dengan resolusi tinggi dapat memberikan wawasan yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara NDVI dengan kerapatan tajuk mangrove.

Analisis Kesehatan Mangrove Kecamatan Muaragembong

Untuk menentukan kategori kesehatan mangrove, digunakan formula perhitungan interval reflektan, di mana nilai reflektan terbesar dikurangi dengan nilai reflektan terkecil kemudian dibagi dengan jumlah kategori yang diinginkan (Sugiyono, 2013). Pada penelitian ini, lima kategori kesehatan mangrove telah ditetapkan berdasarkan rentang nilai reflektan yang diperoleh (lihat Tabel 7). Semakin tinggi nilai reflektan dari suatu piksel, semakin rapat dan sehat vegetasi mangrove yang diwakili oleh piksel tersebut.

Analisis kondisi kesehatan mangrove di Muaragembong, yang didasarkan pada tingkat kerapatan tajuk, menunjukkan bahwa wilayah ini didominasi oleh kategori baik dan sangat baik dengan luas masing-masing mencakup 295,71 ha (27,54% dari total) dan 237,44 ha (22,12%). Kemudian diikuti oleh kategori normal dengan luas 212,63 ha (19,80%). Sementara itu, kategori buruk dan sangat buruk mencakup luasan paling kecil, yaitu masing-masing meliputi 174,78 ha (16,28%), dan 153,09 ha (14,26%).

Hasil dari proses transformasi spektral

Berdasarkan peta kesehatan mangrove (Gambar 7), menunjukkan bahwa bagian Utara dan Selatan Muaragembong didominasi oleh mangrove yang sehat dengan kategori baik dan sangat baik yang ditunjukkan oleh nilai reflektan tinggi (warna hijau). Tingginya luasan mangrove dengan tutupan tajuk yang baik dipengaruhi oleh penanaman kembali dan kesadaran masyarakat akan pentingnya ekosistem mangrove (Marsudi, dkk., 2018; Sari, dkk., 2018). Namun, kondisi yang berbeda ditemukan di bagian tengah dan beberapa bagian lain Muaragembong, yaitu area yang tidak mengalami rehabilitasi menunjukkan dominasi warna oranye atau kuning, yang mengindikasikan kondisi kesehatan mangrove yang lebih buruk. Selain itu, faktor abrasi dan alih fungsi lahan menjadi tambak diduga menjadi salah satu faktor berkurangnya lahan mangrove (Alimuddin & Aryanti, 2020).

Meskipun tutupan tajuk mangrove telah menunjukkan indikasi kesehatan ekosistem, tantangan sesungguhnya terletak pada kondisi permukaan yang sering terabaikan (Safe'i, 2020). Oleh karena itu, upaya pengelolaan yang efektif, seperti penetapan zona perlindungan dan zona pemanfaatan, harus melibatkan partisipasi aktif

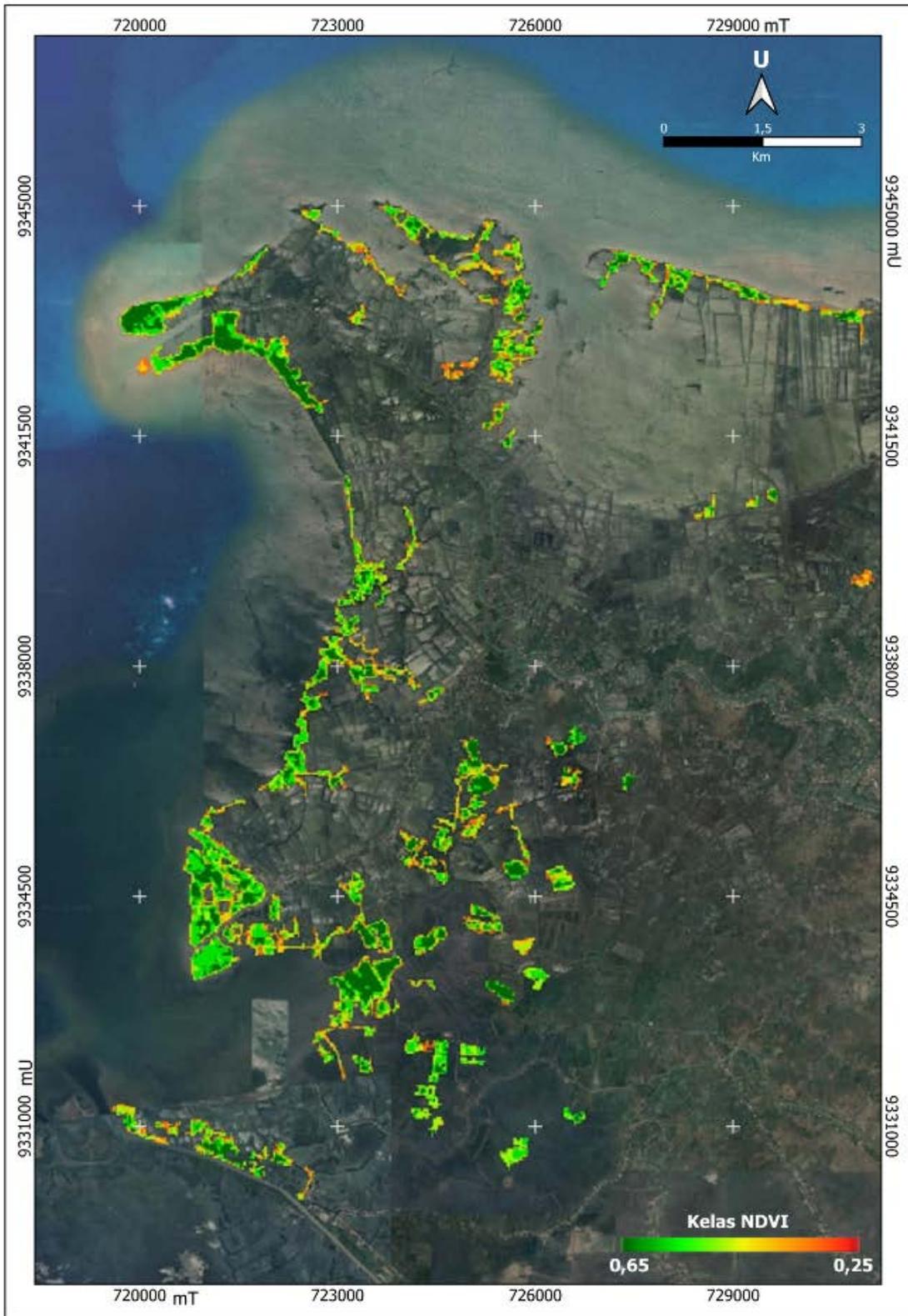
Tabel 7. Kategori kesehatan mangrove berdasarkan nilai reflektan piksel

Kategori	Nilai Reflektan	Luas (Ha)	%
Sangat Baik	> 0,55	237,44	22,12
Baik	0,48-0,55	295,71	27,54
Normal	0,41-0,48	212,63	19,80
Buruk	0,33-0,41	174,78	16,28
Sangat Buruk	0,25-0,33	153,09	14,26
Total		1073,65	100,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer Tahun 2022

menggunakan indeks NDVI menunjukkan bahwa rentang nilai reflektan yang dihasilkan berkisar antara 0,25 hingga 0,65 (Gambar 7). Rentang ini mencerminkan variasi tingkat kesehatan mangrove di wilayah studi, dengan kategori sangat baik memiliki nilai reflektan di atas 0,55 dan kategori sangat buruk memiliki nilai reflektan antara 0,25 hingga 0,33. Peta NDVI memperlihatkan distribusi spasial kerapatan mangrove di kawasan pesisir Muaragembong didominasi oleh mangrove yang sehat. Area dengan warna hijau menunjukkan nilai NDVI yang lebih tinggi, mencerminkan vegetasi mangrove yang lebih rapat dan sehat. Sebaliknya, area berwarna oranye atau kuning menunjukkan nilai NDVI yang lebih rendah, mengindikasikan kondisi vegetasi yang lebih jarang atau terdegradasi.

masyarakat setempat untuk memastikan keberlanjutan ekosistem mangrove (Sari, dkk., 2018). Namun, tantangan lainnya yang dihadapi oleh mangrove di Muaragembong adalah masalah pencemaran sampah, yang disebabkan oleh lokasinya yang strategis di muara Sungai Citarum, terutama di kawasan Pantai Bahagia (Gambar 8). Pencemaran ini tidak hanya mengancam kesehatan dan pertumbuhan mangrove, tetapi juga berpotensi memengaruhi kehidupan masyarakat yang bergantung pada ekosistem tersebut. Oleh karena itu, diperlukan upaya kolaboratif antara masyarakat, pemerintah, dan pihak terkait lainnya untuk merumuskan strategi mitigasi yang efektif dalam mengatasi masalah pencemaran dan menjaga kelestarian ekosistem mangrove (Sinaga, dkk., 2023).



Gambar 7. Peta distribusi spasial kesehatan mangrove Kecamatan Muaragemong berdasarkan indeks NDVI



Gambar 8. Contoh kondisi lingkungan mangrove Kecamatan Muaragembong (Sumber: Data lapangan tahun 2022)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, luas total mangrove di Kecamatan Muaragembong yang dianalisis menggunakan metode RF mencapai 1.073,65 ha. Analisis citra menunjukkan bahwa kondisi kesehatan komunitas mangrove di wilayah kajian berada dalam kondisi yang relatif baik. Sebagian besar area mangrove, yaitu seluas 533,15 ha (49,66% dari total) tergolong dalam kategori kesehatan baik dengan nilai reflektan piksel antara 0,48 hingga 0,55. Sebanyak 212,63 ha (19,80%) berada dalam kondisi normal dengan nilai reflektan piksel antara 0,41 hingga 0,48, sedangkan 327,87 ha (30,54%) menunjukkan kondisi buruk dengan nilai reflektan piksel antara 0,25 hingga 0,41.

Dalam hal kerapatan tajuk, ditemukan 15 plot dengan kerapatan tajuk lebat (>75% tutupan kanopi), 7 plot dengan kerapatan tajuk sedang (>50% - <75% tutupan kanopi), dan 8 plot dengan kerapatan tajuk jarang (<50% tutupan kanopi). Data tingkat kerapatan tajuk yang diperoleh di lapangan menunjukkan keterkaitan moderat (sedang) dengan data reflektan piksel citra NDVI, dengan koefisien determinasi sebesar 0,4219 (42,19%). Keterkaitan ini dipengaruhi oleh faktor eksternal dan resolusi spasial citra yang digunakan dalam analisis.

Temuan ini memberikan wawasan berharga mengenai status ekosistem mangrove di Kecamatan Muaragembong dan dapat menjadi dasar untuk upaya pengelolaan dan konservasi yang lebih baik. Penelitian lebih lanjut dengan resolusi citra yang lebih tinggi mungkin diperlukan untuk meningkatkan akurasi dan pemahaman mengenai dinamika kesehatan mangrove di wilayah ini.

DAFTAR ACUAN

- Abutaleb, K., Freddy Mudede, M., Nkongolo, N., and Newete, S. W. (2021). Estimating urban greenness index using remote sensing data: A case study of an affluent vs poor suburbs in the city of Johannesburg. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.07.002>.
- Arief, M., Anggraini, N., Adawiah, S. W., Hartuti, M., and Suwargana, N. (2017). Aplikasi Data Satelit Radar Sentinel-1A Guna Deteksi Hutan Mangrove Studi Kasus: Segara Anakan, Kabupaten Cilacap. In *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4 Tahun 2017* (Vol. 1982, pp. 277-289).
- Alimuddin, A., and Aryanti, D. (2020). Kajian Perubahan Garis Pantai Muaragembong, Bekasi. *Rona Teknik Pertanian*, 13(2), 71-83.
- Alimudi, S., Susilo, S. B., and Panjaitan, J. P. (2018). Deteksi Perubahan Luasan Mangrove Menggunakan Citra Landsat Berdasarkan Metode Obia Di Teluk Valentine Pulau Buano. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 8(2), 139–146. <https://doi.org/10.24319/jtpk.8.139-146>.
- Asyiwati, Y., and Akliyah, L. S. (2014). Identifikasi dampak perubahan fungsi ekosistem pesisir terhadap lingkungan di wilayah pesisir kecamatan Muaragembong. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 14(1).
- Badan Informasi Geospasial. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data*

- Geospasial Mangrove*. Badan Informasi Geospasial: Cibinong, Bogor.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SN 7717:2020, Spesifikasi informasi geospasial–Mangrove skala 1: 25.000 dan 1: 50.000*. Badan Standardisasi Nasional; Jakarta.
- Brown, B. (2017). Ecological rehabilitation in mangrove systems: the evolution of the practice and the need for strategic reform of policy and planning. In *Routledge handbook of ecological and environmental restoration* (pp. 295-311). Routledge.
- Bunting P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R.M., Thomas, N., Tadono, T., Worthington, T.A., Spalding, M., Murray, N.J., and Rebelo, L.M. (2022). Global Mangrove Extent Change 1996–2020: Global Mangrove Watch Version 3.0. *Remote Sensing*, 14(15), 3657. <https://doi.org/10.3390/rs14153657>.
- Crawford, C. J., Roy, D. P., Arab, S., Barnes, C., Vermote, E., Hulley, G., Gerace, A., Choate, M., Engebretson, C., Micijevic, E., Schmidt, G., Anderson, C., Anderson, M., Bouchard, M., Cook, B., Dittmeier, R., Howard, D., Jenkerson, C., Kim, M., ... Zahn, S. (2023). *The 50-year Landsat collection 2 archive*. *Science of Remote Sensing*, 8(July), 100103. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100103>.
- Darmawan, S., Sari, D.K., Wikantika, K., Tridawati, A., Hernawati, R., and Sedu, M.K. (2020). Identification before-after Forest Fire and Prediction of Mangrove Forest Based on Markov-Cellular Automata in Part of Sembilang National Park, Banyuasin, South Sumatra, Indonesia. *Remote Sens*, 12, 3700. <https://doi.org/10.3390/rs12223700>.
- Dharmawan, I. W. E. (2020). Mangrove community structure in Papuan Small Islands, case study in Biak Regency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 550, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Dharmawan, I. W. E., and Pramudji, S. (2017). Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove. *Pusat Penelitian Oseanografi LIPI*. Jakarta.
- Giri, C. (2021). Recent Advancement in Mangrove Forests Mapping and Monitoring of the World Using Earth Observation Satellite Data. *Remote Sensing*, 13(4), 563. <https://doi.org/10.3390/rs13040563>.
- Global Conservation Society. (2022). Ecosystems of Hope [PDF file]. Retrieved from <https://www.globalconservationsociety.org/ecosystems-of-hope.pdf>.
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., and Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*, 26(12), 5844-5854. <https://doi.org/10.1111/gcb.15275>.
- Hartono, A., Midayanti, N., Aryanti, D., Zulkifli, M., Limayani, N., and Retnosari, L. (2023). *Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir 2023: Ekonomi Laut Berkelanjutan dan Tantangan Pengelolaan Kawasan Pesisir*. Badan Pusat Statistik Vol.20, Jakarta, Indonesia.
- Hendri, N., Irwanto, Adinugroho, W., Wiendarto, R.H., Korimah, I., and Simamora, G.S. (2023). Kabupaten Bekasi Dalam Angka. *Badan Pusat Statistik Kabupaten Bekasi*. 1102001.3216.
- Hidayah, Z., Racman H., and As-Syakur, A. (2023). Pemetaan kondisi hutan mangrove di kawasan pesisir Selat Madura dengan pendekatan Mangrove Health Index memanfaatkan citra satelit Sentinel-2. *Majalah Geografi Indonesia*, Vol 7 (1), 84-91. <https://doi.org/10.22146/mgi.78136>.
- Irmawan, D.W., Kurniawan, D. S., and Yona, D. (2022). *Pemetaan Kondisi Kesehatan Mangrove di Desa Daun, Kecamatan Sangkapura Pulau Bawean menggunakan Metode Mangrove Health Index (MHI)*. Universitas Brawijaya; Malang.
- Jarchow, C. J., Didan, K., Barreto-Muñoz, A., Nagler, P. L., and Glenn, E. P. (2018). Application and comparison of the MODIS-Derived Enhanced Vegetation Index to VIIRS, Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI Platforms: A Case Study in the Arid Colorado River Delta, Mexico. *Sensors*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/s18051546>.
- Marsudi, B., Satjapradja, O., and Salampessy, M. L. (2018). Komposisi jenis pohon dan struktur tegakan hutan mangrove di Desa pantai Bahagia kecamatan Muaragembong Kabupaten Bekasi provinsi Jawa Barat. *Jurnal Belantara*, 1(2), 115-122.
- Menéndez, P., Losada, I. J., Torres-Ortega, S., Narayan, S., and Beck, M. W. (2020). The global flood protection benefits of

- mangroves. *Scientific reports*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61136-6>.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). 2021. Peta Mangrove Nasional Tahun 2021 (Diakses pada tanggal 17 Juli Pukul 10.05 WIB dari https://www.researchgate.net/profile/Prayoto-Tonoto/publication/358439377_MANGROVE_MAP_OF_INDONESIA/links/62029756baa59752dfe689aa/MANGROVE-MAP-OF-INDONESIA.pdf).
- Prasetyo, A. R., Valentino, N., and Hadi, M. A. (2023). Identifikasi Sebaran Spasial dan Kerapatan Mangrove Gili Lawang menggunakan Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 9(2), 215–225. <https://doi.org/10.29303/jstl.v9i2.450>.
- Prasetyo, A. R., Valentino, N., and Hambali, M. R. (2024). Analisis Komparatif Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Landsat 9 dan Sentinel 2A di Desa Labuan Tereng Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 10(2), 187-200.
- Pratama, I. G. M. Y., Karang, I. W. G. A., and Suteja, Y. (2019). Distribusi spasial kerapatan mangrove menggunakan citra sentinel-2A di TAHURA Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2), 192-202.
- Putra, H., Prasetyo, L. B., and Santoso, N. (2016). Monitoring perubahan garis pantai dengan citra satelit di Muaragembong Bekasi. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 6(2), 178-178.
- Putra, R. D., Napitupulu, H. S., Nugraha, A. H., Suhana, M. P., Ritonga, A. R., and Sari, T. E. Y. (2022). Pemetaan Luasan Hutan Mangrove Dengan Menggunakan Citra Satelit Di Pulau Mapur, Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1), 20–30. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i1.12294>.
- Rahmasari, S. N., Agus, F., Muningsih, D., and Gantini, W. T. (2019). Studi Keanekaragaman Mangrove Pantai Mekar Kecamatan Muaragembong Kabupaten Bekasi. *Jurnal Resolusi Konflik, CSR Dan Pemberdayaan (CARE)*, 4(1), 36-42.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third 80 ERTS Symposium, NASA SP-351, pp. 309-317.
- Safe'i, R. (2020). Nilai Status dan Perubahan Kesehatan Hutan Mangrove (Studi Kasus Hutan Mangrove Di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur): The Value of Status and Changes in Mangrove Forest Health (Case Study in Margasari Village, Labuhan Maringgai District, East Lampung Regency). *PERENNIAL*, 16(2), 73-79.
- Safitri, F., Adrianto, L., and Nurjaya, I. W. (2023). Pemetaan Kerapatan Ekosistem Mangrove Menggunakan Analisis Normalized Difference Vegetation Index di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2), 399-406. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.18173>.
- Sari, Y. P., Salampessy, M. L., and Lidiawati, I. (2018). Persepsi masyarakat pesisir dalam pengelolaan ekosistem hutan mangrove di Muaragembong Bekasi Jawa Barat. *Perennial*, 14(2), 78-85.
- Simarmata, N., Wikantika, K., Tarigan, T. A., Aldyansyah, M., Tohir, R. K., Fauziah, A., and Purnama, Y. (2021). Analisis Transformasi Indeks NDVI, NDWI dan SAVI untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel di Pesisir Timur Provinsi Lampung. *Jurnal Geografi*, 19(2), 69-79.
- Sinaga, P., Harefa, M. S., Siburian, P. A., and Aisyah, S. (2023). Konsep Penanggulangan Sampah di Wilayah Ekosistem Hutan Mangrove Belawan Sicanang dalam Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan. *J-CoSE: Journal of Community Service & Empowerment*, 1(1), 1-9.
- Suardana, A. A. M. A. P., Anggraini, N., Nandika, M. R., Aziz, K., As-Syakur, A. R., Ulfa, A., Wijaya, A. D., Prasetio, W., Winarso, G., and Dimiyati, R. D. (2023). Estimation and Mapping Above-Ground Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2 Data Derived Vegetation Indices in Benoa Bay of Bali Province, Indonesia. *Forest and Society*, 7(1), 116–134. <https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.22062>.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Alfabeta: Bandung.

- Suryadi, T., Yulianda, F., and Susanto, H. A. (2021). Analisis Kesesuaian Kawasan Konservasi Mangrove di Muaragembong, Kabupaten Bekasi Provinsi Jawa Barat. *EnviroScienteeae*, 17(3), 11-24.
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>
- Vitasari, M. (2015). Kerentanan ekosistem mangrove terhadap ancaman gelombang ektrim/abrasi di kawasan konservasi Pulau Dua Banten. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(2), 33-36.
- Wendi, D., Sun, Y., Doan, C. D., Liang, S. Y., Sanders, R., and Fewtrell, T. (2014). NDVI With Artificial Neural Networks For SRTM Elevation Model Improvement–Hydrological Model Application. *11th International Conference on Hydroinformatics*, New York City, USA.
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Hartono, and Nehren, U. (2016). Mangrove biomass carbon stock mapping of the Karimunjawa Islands using multispectral remote sensing. *International journal of remote sensing*, 37(1), 26-52.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Yancho, J.M.M., Jones, T.G., Gandhi, S.R., Ferster, C., Lin, A., and Glass, L. (2020). The Google Earth Engine Mangrove Mapping Methodology (GEEMMM). *Remote Sens.*, 12, 3758. <https://doi.org/10.3390/rs12223758>.
- Zhu, Y., Liu, K., W. Myint, S., Du, Z., Li, Y., Cao, J., Liu, L., and Wu, Z. (2020). Integration of GF2 Optical, GF3 SAR, and UAV Data for Estimating Aboveground Biomass of China’s Largest Artificially Planted Mangroves. *Remote Sens*, 12, 2039. <https://doi.org/10.3390/rs12122039>.