

Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Monitoring Dinamika Spasiotemporal Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah

Danardono^{1,2*}, Nurul Fauzia Mulyani¹, Afif Ari Wibowo¹, dan Basyar Ihsan Arijuddin^{1,2}

¹Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia; e-mail: danardono@ums.ac.id

²Pusat Studi Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

ABSTRAK

Mangrove Segara Anakan merupakan salah satu ekosistem mangrove terluas di Pulau Jawa yang memiliki manfaat secara ekologi dan ekonomi. Pemanfaatan ekosistem mangrove mendorong meningkatnya aktifitas manusia yang menyebabkan terjadinya penurunan luas ekosistem mangrove. Adanya aktivitas manusia dan perubahan lingkungan alami dapat menyebabkan degradasi yang pada akhirnya akan mempengaruhi kondisi kesehatan ekosistem mangrove. Tujuan dari penelitian ini yakni memetakan perubahan sebaran keberadaan dan kesehatan ekosistem mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap pada tahun 2018 dan 2023. Sebaran ekosistem mangrove dimodelkan dengan metode klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM). Uji akurasi dengan metode *confusion matrix* dilakukan pada hasil model SVM. Kesehatan ekosistem mangrove didekati dengan metode *Mangrove Health Index* (MHI) menggunakan empat indeks vegetasi yakni NBR, GCI, SIPI, dan ARVI. Hasil penelitian menunjukkan luasan ekosistem mangrove mengalami penurunan 883,28 Ha pada rentang tahun 2018-2023. Penurunan disebabkan karena adanya sedimentasi sungai dan perubahan lahan mangrove menjadi tambak. Kondisi kesehatan ekosistem mangrove tahun 2018 dan 2023 didominasi oleh kondisi kesehatan hutan mangrove sedang dengan luas 6.765,52 Ha pada tahun 2018 dan 5.058,36 Ha tahun 2023. Perubahan kesehatan ekosistem mangrove menjadi sangat baik banyak terjadi pada wilayah dekat Kota Cilacap dimana terdapat aktivitas konservasi dan rehabilitasi yang dilakukan oleh komunitas bersinergi dengan perusahaan dan pemerintah setempat.

Kata kunci: *Support Vector Machine, Mangrove Health Index, Sentinel 2A, Segara Anakan, Sistem Informasi Geografis*

ABSTRACT

Segara Anakan Mangrove is one of the largest mangrove ecosystems in Java Island which has many advantages both in terms of ecology and economy. The utilization of mangrove forests encourages increased human activities that cause a decrease in the area of mangrove ecosystems. The existence of human activities and changes in the natural environment can cause degradation of mangrove ecosystems which will ultimately affect the health conditions of mangrove forests. The objectives of this study are (1) to identify the changes in the distribution of mangrove forests in Segara Anakan, Cilacap Regency in 2018 and 2023 and (2) to analyze the extent of mangrove forest health distribution in Segara Anakan, Cilacap Regency in 2018 and its changes in 2023. The distribution of mangrove ecosystems was modeled using Sentinel 2A image data. The method used to identify the distribution of mangrove ecosystems is the Support Vector Machine (SVM) classification method. The results of modeling the distribution of mangrove ecosystems were tested for accuracy using the confusion matrix method. Identification of mangrove ecosystem health conditions is approached by the Mangrove Health Index (MHI) method using four vegetation indices namely NBR, GCI, SIPI, and ARVI. The results showed that the mangrove ecosystem area decreased from 7,623.05 Ha in 2018 to 6,739.77 Ha in 2023. The decline was caused by the phenomenon of river siltation and mangrove land conversion activities into ponds. Mangrove ecosystem health conditions in 2018 and 2023 are dominated by moderate mangrove forest health conditions (33.33% < MHI < 66.67%) with an area of 6,765.52 Ha in 2018 and 5,058.36 Ha in 2023. Changes in mangrove ecosystem health from moderate to excellent occurred mostly in areas near Cilacap City where there are many conservation and rehabilitation activities carried out by communities in synergy with companies and local governments.

Keywords: *Support Vector Machine, Mangrove Health Index, Sentinel 2A, Segara Anakan, Geographic Information System*

Citation: Danardono, Mulyani, N. F., Wibowo, A. A., dan Arijuddin, B. I. (2025). Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Monitoring Dinamika Spasiotemporal Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 923-936, doi:10.14710/jil.23.4.923-936

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir menaungi beberapa ekosistem, salah satunya yakni ekosistem hutan mangrove. Hutan mangrove adalah jenis vegetasi pantai tropis, yang didominasi oleh beberapa spesies jenis mangrove seperti; bakau, api-api, tanjung dan bogem. Nilai esensi dan ekonomis dari sumberdaya alam dapat diperoleh dari hutan mangrove. Manfaat dari keberadaan hutan mangrove yaitu menjaga pantai dari terjadinya abrasi, sumber kehidupan bagi keanekaragaman hayati dan hewani di air payau, dan sumber kayu yang dapat digunakan untuk bahan kayu bakar atau kayu bangunan, serta fungsi edukasi dan pariwisata budaya (Majid et al., 2016; Su et al., 2021; Trégarot et al., 2021; Wang & Gu, 2021). Luas lahan mangrove di Indonesia pada tahun 2021 sebesar 4.120.263 Ha dimana 3.364.080 Ha berupa luas mangrove eksisting dan 756.183 Ha berupa luas potensi habitat mangrove (Direktorat Konservasi Tanah dan Air, 2022). Luas hutan mangrove terus berubah setiap tahunnya, menurut (Bunting et al., 2022; Giri et al., 2011; Onrizal, 2010) negara Indonesia memiliki hutan mangrove dengan luas hampir 61% dari luas hutan mangrove yang ada di Asia serta hampir 22,6% dari luas hutan mangrove yang ada di dunia selama tahun 2010 sampai 2021.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Direktorat Konservasi Tanah dan Air, 2022 pada tahun 2021 hutan mangrove di Indonesia masuk dalam keadaan rusak (kerapatan tajuk jarang) dengan luas 54.474 hektar dan ketidaksesuaian habitat mangrove sebesar 756.183 hektar. Salah satunya seperti hutan mangrove yang ada di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap yang mengalami perubahan luasan dari 6.450 hektar pada tahun 1903 menjadi 1.800 hektar dan pada tahun 1992 (Wibowo & Handayani, 2006) dan kembali berkurang 361 Ha pada interval tahun 2008 sampai 2020 (Ardli et al., 2022). Hutan mangrove yang berada di Segara Anakan merupakan kawasan mangrove yang paling luas di Jawa dan memiliki keberagaman jenis mangrove yang bermacam-macam (Pratama & Isdianto, 2017). Pemanfaatan terhadap hutan mangrove di Segara Anakan untuk dijadikan penggunaan lahan seperti persawahan, tambak dan terdapat kegiatan *illegal logging* yang menjadi pemicu dalam perubahan kondisi kesehatan dan penyusutan luas mangrove, serta pendangkalan pada perairan yang dapat mengganggu keberadaan flora dan fauna (Ismail et al., 2019; Utami et al., 2016).

Identifikasi kondisi hutan mangrove tidak mudah untuk dilakukan dengan pengukuran langsung ke lapangan, meskipun metode ini dapat menghasilkan akurasi yang tinggi. Hal itu dikarenakan pengukuran langsung ke lapangan tidak efektif dan efisien jika dilakukan pada cakupan luas dan biaya yang lebih mahal (Adinegoro et al., 2022). Selain itu, identifikasi kesehatan mangrove juga perlu didekati dengan menggunakan tiga indikator utama terkait dengan 1) struktur ekosistem; 2) kekuatan ekosistem yang berkaitan dengan produktivitas; 3) ketahanan ekosistem terhadap perubahan habitat (Li et al., 924

2014). Hal ini didasarkan pada pengertian kesehatan mangrove yaitu kondisi status dan potensi ekosistem mangrove untuk mempertahankan struktur, kekuatan, dan ketahanan untuk mempertahankan fungsinya sebagai jasa ekosistem secara terus menerus akibat adanya perubahan habitat (Neres et al., 2024). Adanya tiga indikator penilaian kesehatan tersebut menyebabkan kajian kesehatan mangrove perlu dilakukan pendekatan secara komprehensif dan menggunakan studi lapangan.

Identifikasi ekosistem mangrove dengan memanfaatkan PJ sudah berkembang sejak tahun 1970. Penelitian (Everitt & Judd, 1989; Lorenzo et al., 1979) mengungkapkan bahwa PJ dapat digunakan untuk identifikasi sebaran mangrove. Akan tetapi, pemetaan tersebut hanya sebatas identifikasi sebaran saja belum sampai pada identifikasi kesehatan mangrove. Pemanfaatan PJ untuk kajian kesehatan mangrove dimulai pada tahun 2008 dimana monitoring kesehatan mangrove dapat didekati dengan memanfaatkan PJ (Kovacs et al., 2011, 2013). Penelitian ini menunjukkan bahwa data SAR dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kesehatan mangrove. Sejak saat itu, muncul berbagai indeks yang dapat digunakan untuk mengukur kesehatan mangrove seperti *photochemical reflectance index* (PRI) (Song et al., 2011), NDVI (Prabakaran et al., 2014), *percent tree cover* (PTC) (Ishtiaque et al., 2017), *enhanced vegetation index* (EVI) (Ishtiaque et al., 2017), dan *leaf Chl-a concentration* (Flores De Santiago et al., 2013). Sebagian besar indeks yang dikembangkan di atas hanya didasarkan pada kondisi struktur vegetasi utamanya terkait kanopi mangrove. Indeks yang sering digunakan untuk menilai kesehatan mangrove yaitu NDVI yang memiliki korelasi erat dengan kerapatan kanopi vegetasi mangrove (Hidayah et al., 2023; Razali et al., 2019).

Salah satu pendekatan baru dalam identifikasi kesehatan mangrove dengan mendasarkan pada kondisi dan kualitas lingkungan ekosistem mangrove. Nilai MHI dapat diidentifikasi dengan memanfaatkan data lapangan (Setyadi et al., 2021) dan atau penginderaan jauh (Sugiana et al., 2022; Wayan Eka Dharmawan, 2021). Pendekatan MHI untuk analisis kesehatan mangrove didasarkan pada empat indeks vegetasi yaitu NBR (*Normalized Burn Ratio*), GCI (*Green Chlorophyll Index*), SIPI (*Structure Insensitive Pigment Index*), dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) yang mewakili kondisi struktur, tekanan stres vegetasi mangrove, dan kondisi kekeringan habitat mangrove (Nurdiansah & Dharmawan, 2021). Keempat indeks vegetasi tersebut menunjukkan nilai akurasi yang lebih baik untuk digunakan dalam penilaian kesehatan mangrove di Indonesia (Hidayah et al., 2023).

Sama halnya dengan penelitian kesehatan mangrove dalam konteks global. Penelitian kesehatan mangrove di Segara Anakan dengan memanfaatkan teknologi PJ hanya didekati dengan identifikasi struktur vegetasi dengan indeks NDVI (Akbar et al., 2020). Kombinasi indeks NDVI dan DVI (*Dominant*

Vegetation Index) juga pernah dilakukan di Segara Anakan untuk mendetailkan kondisi kesehatan mangrove (Hilmi et al., 2022). Pendetailan indeks terkait struktur vegetasi khusus ekosistem mangrove juga telah dilakukan di Segara Anakan dengan *Mangrove Index* (MI) dimana penilaian kesehatan didasarkan pada struktur vegetasi dan kondisi hidrodinamik utamanya kelembaban tanah (Winarso et al., 2020, 2023). Penelitian secara komprehensif dengan melihat terkait kondisi struktur, tekanan stres vegetasi, dan habitat mangrove belum pernah diteliti. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pemantauan kesehatan mangrove secara spasiotemporal dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan SIG dengan memanfaatkan indeks MHI dengan memanfaatkan empat indeks vegetasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi kesehatan mangrove di Segara Anakan secara lebih akurat dengan memanfaatkan teknologi PJ dan SIG.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) memetakan perubahan sebaran hutan mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap pada tahun 2018 dan 2023 serta (2) menganalisis luas sebaran kesehatan hutan mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap pada tahun 2018 dan perubahannya di tahun 2023. Hasil dari pemetaan kesehatan mangrove tersebut dapat dijadikan sebagai evaluasi dan pembenahan dalam pelestarian hutan mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap mengingat hutan mangrove tersebut merupakan kawasan mangrove yang paling luas di Jawa dan menjadi potensi untuk pelestarian fauna dan flora pada ekosistem mangrove. Keberadaan hutan mangrove dengan keadaan sehat tidak hanya memberikan manfaat secara ekologis, tapi juga dapat meningkatkan sektor perekonomian yang dimanfaatkan untuk kesejahteraan masyarakat (Hidayat et al., 2024; Susanto et al., 2022).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Deskripsi Wilayah Penelitian

Objek dari penelitian ini yaitu berupa hutan mangrove di Segara Anakan yang terletak di wilayah Kabupaten Cilacap. Kabupaten Cilacap merupakan daerah yang cukup luas dan letak geografis sebelah selatan berbatasan dengan Samudra Indonesia, sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Banyumas, sedangkan sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Kebumen dan sebelah barat berbatasan dengan Propinsi Jawa Barat. Kabupaten Cilacap memiliki luas 225.361 ha dengan jumlah kecamatan sebanyak 24 kecamatan.

Kondisi topografi di Kabupaten Cilacap sangat beragam mulai dari pegunungan dan perbukitan hingga dataran rendah. Kawasan pegunungan yang berada di arah barat laut Kabupaten Cilacap dengan ketinggian lebih dari 100 mdpl dan puncaknya yang berada di Gunung Subang, Kecamatan Dayeuhluhur yang ada di daerah utara Kabupaten Cilacap dengan ketinggian 1.210 mdpl. Bentang alam di bagian

tenggara Kabupaten Cilacap terbagi menjadi dua wilayah yaitu dataran miring yang menuju ke arah barat daya-selatan hingga Segara Anakan dengan elevasi kurang lebih 100 mdpl dan pegunungan di sebelah utara. Sedangkan dibagian timur dan selatan Kabupaten Cilacap memiliki topografi dataran rendah.

Letak topografi tertinggi di Kabupaten Cilacap berada di Kecamatan Dayeuhluhur dengan ketinggian 198 mdpl, sedangkan untuk daerah terendah di Kabupaten Cilacap berada di Kecamatan Kampung Laut dengan ketinggian 1 mdpl. Secara administratif, Laguna Segara Anakan dan sekitarnya terletak dalam tiga desa utama yaitu Desa Ujung Alang, Desa Panikel dan Desa Ujung Gagak. Ketiga desa tersebut dikenal oleh penduduk lokal dengan sebutan "Kampung Laut" (Dewi et al., 2016). Peta wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

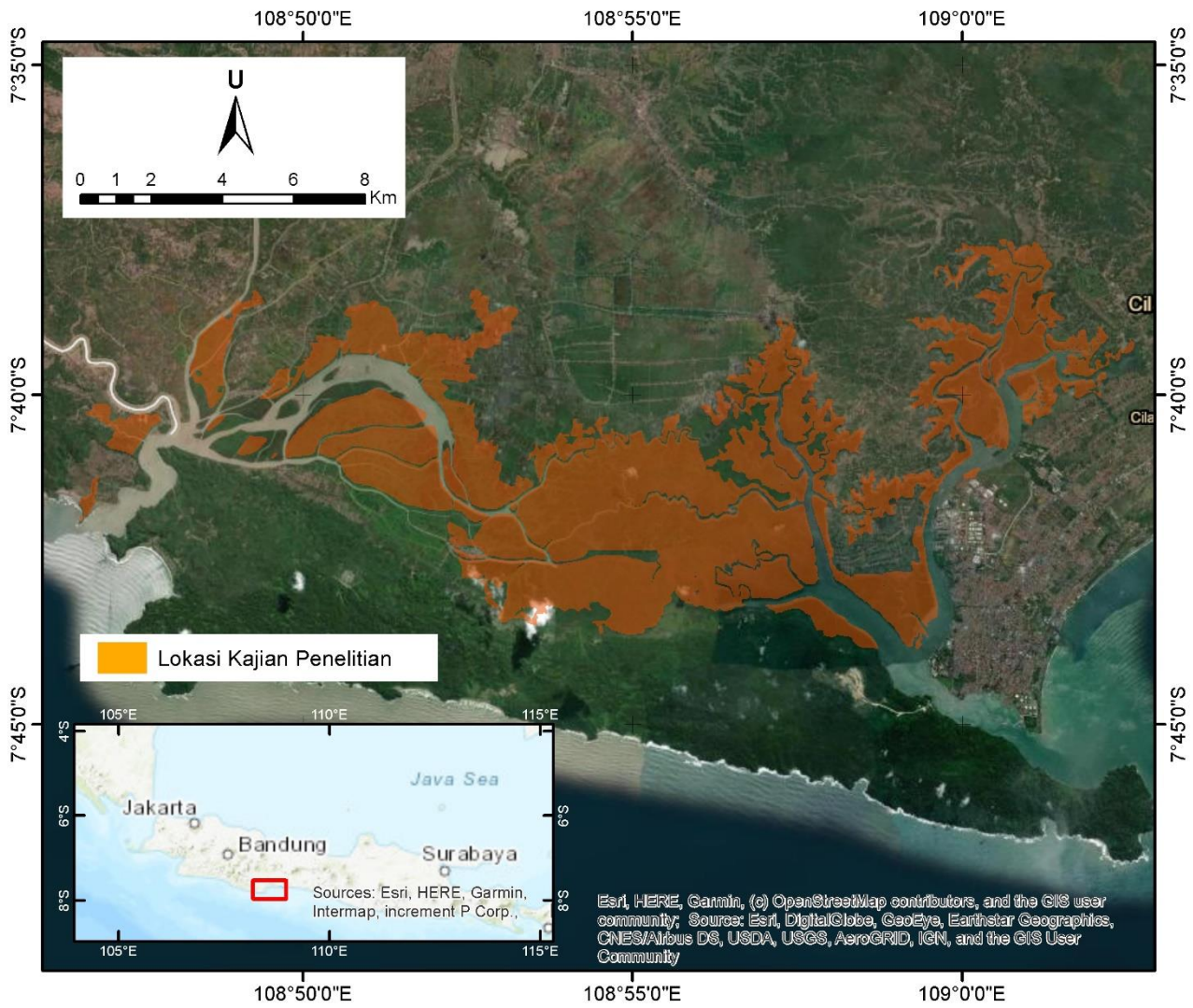
2.2. Identifikasi Sebaran Ekosistem Mangrove

Sebaran ekosistem mangrove dilakukan dengan metode *Support Vector Machine* (SVM) dengan memanfaatkan data citra Sentinel 2A tahun 2018 dan 2023. Setelah citra didapatkan, proses selanjutnya yaitu melakukan koreksi atmosferik dan geometrik pada citra sentinel 2A menggunakan perangkat lunak Quantum GIS dengan menggunakan *Plugin Semi-automatic classification*. Selanjutnya dilakukan pemotongan citra dan penentuan sebaran hutan mangrove menggunakan klasifikasi terbimbing (*supervised*). Hasil dari klasifikasi tersebut dapat menggambarkan sebaran dan luasan hutan mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap yang nantinya digunakan untuk identifikasi kesehatan hutan mangrove menggunakan formula MHI. Tahapan rinci dari pengolahan data sebagai berikut.

2.2.1. Koreksi Atmosferik

Koreksi atmosfer merupakan proses yang digunakan dalam menghilangkan kesalahan dari adanya pengaruh pada citra berupa gangguan hamburan maupun serap yang terjadi saat gelombang elektromagnetik dari matahari ke permukaan bumi dan dari objek ke sensor mengalami gangguan saat melewati atmosfer (Kristianingsih et al., 2016). Koreksi atmosferik pada citra sentinel 2A menggunakan perangkat lunak Quantum GIS dengan menggunakan *Plugin Semi-automatic classification*. Penggunaan *Plugin Semi-automatic classification* dilakukan untuk otomatisasi koreksi citra Sentinel-2A dengan menggunakan *tools Preprocessing* pada Citra Sentinel-2A dengan koreksi atmosferik DOS.

The Dark Object Subtraction (DOS) merupakan koreksi atmosfer yang berbasis gambar. Koreksi atmosferik DOS dilakukan untuk memperbaiki citra yang diakibatkan adanya gangguan atmosfer dan memperjelas dalam mengenali objek pada saat melakukan interpretasi. (Chavez, 1996) menjelaskan bahwa di dalam citra terdapat beberapa piksel yang berada dalam bayangan lengkap dan pancarannya yang diterima di satelit disebabkan oleh hamburan atmosfer (*path radiance*).



Gambar 1. Lokasi Wilayah Penelitian di Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah

2.2.2. Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan pada tahap sebelum melakukan klasifikasi untuk mendapatkan cakupan citra sesuai dengan area kajian pada hutan mangrove di Segara Anakan. Pemotongan citra dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ENVI menggunakan *tools masking* yang disesuaikan dengan batas area kajian. Pemotongan citra ini digunakan untuk mempermudah dalam melakukan klasifikasi multispectral. Sehingga dapat memfokuskan pada area kajian supaya lebih cepat, efisien, dan memudahkan dalam distribusi saat melakukan klasifikasi.

2.2.3. Klasifikasi Supervised Support Vector Machine

Klasifikasi citra multispectral terbimbing (*supervised*) digunakan untuk identifikasi hutan mangrove. Penggunaan klasifikasi tersebut dilakukan dengan cara pengambilan sampel piksel dengan menggunakan ROI (*Region Of Interest*) yang di tentukan oleh peneliti melalui interpretasi menggunakan kombinasi saluran yang optimum untuk identifikasi hutan mangrove menggunakan

komposit 8A114. Komposit tersebut memiliki visualisasi yang sangat baik untuk mengidentifikasi dan membedakan objek hutan mangrove dari objek yang lainnya, dimana hutan mangrove ditampilkan dalam warna coklat kemerahan. Jenis klasifikasi terbimbing (*Supervised*) yang digunakan yaitu *Support Vector Machine*, hal itu dikarenakan pada klasifikasi ini melakukan identifikasi berdasarkan kelas spektral dan menganalisis tingkat hubungannya dengan masing-masing piksel. Selain itu, klasifikasi *Support Vector Machine* juga mampu menyediakan hasil yang relatif memuaskan untuk data penginderaan jauh yang kompleks dan terdapat banyak gangguan (Rahman & Herumurti, 2014).

Pembuatan training area atau ROI (*Region of Interest*) dibedakan menjadi tiga kelas yaitu mangrove, non mangrove, dan tubuh air. Masing-masing training area dilakukan menyebar pada masing-masing objek. Pengambilan training area dilakukan berdasarkan pedoman klasifikasi (LAPAN, 2015) dengan mempertimbangkan jumlah poligon minimal tiga poligon pada setiap kelas dan pada masing-masing poligon minimal terdapat sembilan piksel.

2.3. Identifikasi Kesehatan Ekosistem Mangrove

Kesehatan ekosistem mangrove dimodelkan dengan persamaan atau metode MHI. Perhitungan MHI berdasarkan kombinasi nilai indeks NBR (*Normalized Burn Ratio*); GCI (*Green Chlorophyll Index*); SIPI (*Structure Insensitive Pigment Index*) dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*). Perhitungan MHI menggunakan formula sebagai berikut.

$$MHI = 102,12NBR - 4,64GCI + 178,15SIPI + 159,53ARVI - 252,3$$

- NBR = $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$
 GCI = $(NIR / Green) - 1$
 SIPI = $(NIR - Blue) / (NIR - Red)$
 ARVI = $(NIR - 2Red + Blue) / (NIR + 2Red + Blue)$
 Keterangan:
 NIR = *Near Infrared band* (B8)
 SWIR = *Shortwave Infrared band* (B11)
 Red = B4
 Green = B3
 Blue = B2

Klasifikasi dari hasil perhitungan MHI terbagi menjadi tiga kelas yaitu buruk, sedang, dan sangat baik. Adapun klasifikasi MHI terdapat di Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi MHI

Klasifikasi	Nilai MHI
Buruk	<33,33
Sedang	33,33 - 66,67
Sangat Baik	>66,67

Sumber: (Wayan Eka Dharmawan, 2021)

2.4. Identifikasi Dinamika Spasiotemporal Kesehatan Ekosistem Mangrove

Baik sebaran ekosistem mangrove dan kesehatan mangrove dimodelkan pada dua tahun berbeda yaitu pada tahun 2018 dan 2023. Hasil pemodelan kesehatan mangrove pada dua tahun tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi dinamika perubahan kesehatan mangrove yang disebabkan karena perubahan lingkungan akibat proses alami maupun aktivitas antropogenik. Dinamika perubahan kesehatan dimodelkan dengan memanfaatkan sistem informasi geografis utamanya analisis tumpangtumpang/ *overlay*. Hasil analisis tumpangtumpang dapat memberikan gambaran sebaran spasial perubahan kesehatan mangrove di wilayah penelitian. Secara lebih lengkap tahapan metode penelitian tersaji pada Gambar 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sebaran Ekosistem Mangrove di Segara Anakan

Sebaran hutan mangrove di Segara Anakan diketahui berdasarkan klasifikasi *support vector machine* pada data citra Sentinel 2A. Klasifikasi *support vector machine* dilakukan dengan pembuatan *training area* menggunakan tiga kelas yaitu mangrove,

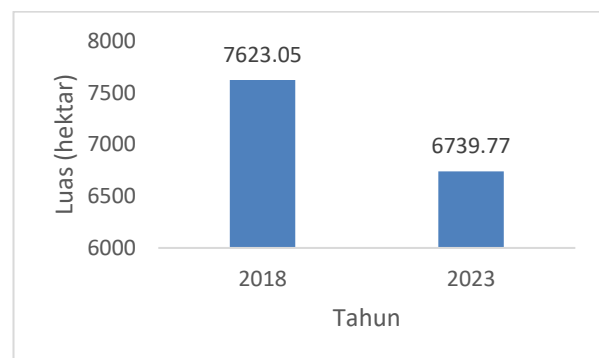
non-mangrove, dan tubuh air. Pembuatan *training area* dilakukan secara menyebar berdasarkan kelas-kelas menggunakan citra yang sudah dilakukan komposit dengan menggunakan komposit 8A114, dimana hutan mangrove memberikan visualisasi dalam warna coklat kemerahan sehingga lebih mudah untuk diidentifikasi. Diketahui sebaran hutan mangrove di Segara Anakan pada tahun 2018 dan 2023 tersebar di Kec. Bantarsari, Kec. Cilacap Selatan, Kec. Cilacap Tengah, Kec. Cilacap Utara, Jeruklegi, Kec. Kampung Laut, Kec. Kawunganten, Kec. Kesugihan, dan Kec. Patimuan.

Kecamatan dengan sebaran hutan mangrove paling luas yaitu ada di kecamatan Kampung Laut dengan luas 5.177,85 Ha pada tahun 2018 dan 4.390,33 Ha. Sedangkan hutan mangrove dengan luas paling kecil pada tahun 2018 dan 2023 berada di Kecamatan Kesugihan dengan luas 0,33 Ha dan 0,06 Ha. Penjelasan luas persebaran hutan mangrove berdasarkan kecamatan pada Tabel 2.

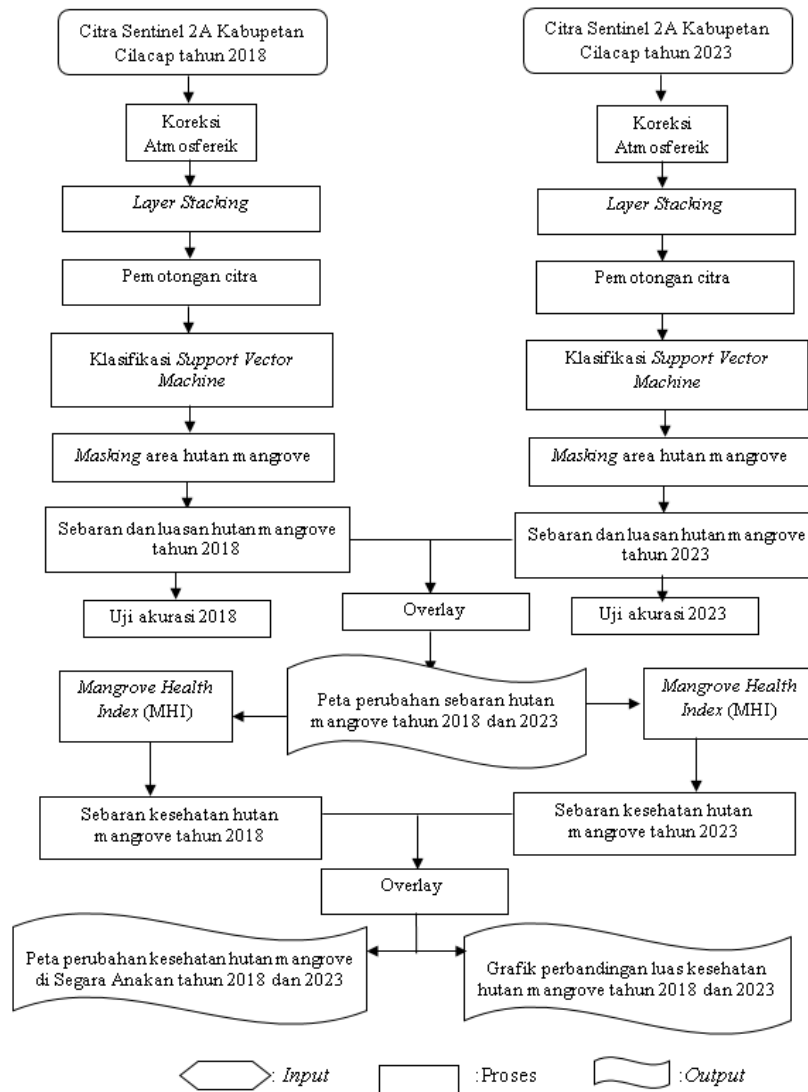
Tabel 2. Persebaran Hutan Mangrove di Segara Anakan Tahun 2018 dan 2023

Nama Kecamatan	Luas Persebaran Hutan Mangrove (Ha)	
	2018	2023
Bantarsari	0,03	2,94
Cilacap Selatan	807,33	735,56
Cilacap Tengah	1.051,97	988,09
Cilacap Utara	306,55	322,07
Jeruklegi	83,24	105,86
Kampung Laut	5.177,85	4.390,33
Kawunganten	136,62	92,42
Kesugihan	0,33	0,06
Patimuan	59,14	102,44
Total Luas	7.623,05	6.739,77

Luas hutan mangrove tahun 2018 lebih besar dibandingkan dengan luas hutan mangrove pada tahun 2023 yaitu sebesar 7.623,05 Ha. Hutan mangrove tahun 2018 hingga tahun 2023 mengalami penurunan sebesar 883, 28 Ha. Berikut grafik perbandingan luas hutan mangrove tahun 2018 dan 2023 dapat dilihat pada Gambar 3 dan sebaran hutan mangrove tahun 2018 dan 2023 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Perbandingan luas hutan mangrove tahun 2018 dan 2023



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.2. Uji Akurasi Model Sebaran Ekosistem Mangrove di Segara Anakan

Hasil dari klasifikasi *support vector machine* perlu dilakukan uji akurasi menggunakan *confusion matrix* untuk mengetahui tingkat keakuratan informasi yang disajikan. Uji akurasi pada hasil klasifikasi *support vector machine* pada tahun 2018 dilakukan dengan menggunakan citra di Google Earth dengan menggunakan bantuan *historical imagery tools* dan pada tahun 2023 dilakukan dengan melakukan pengecekan di lapangan.

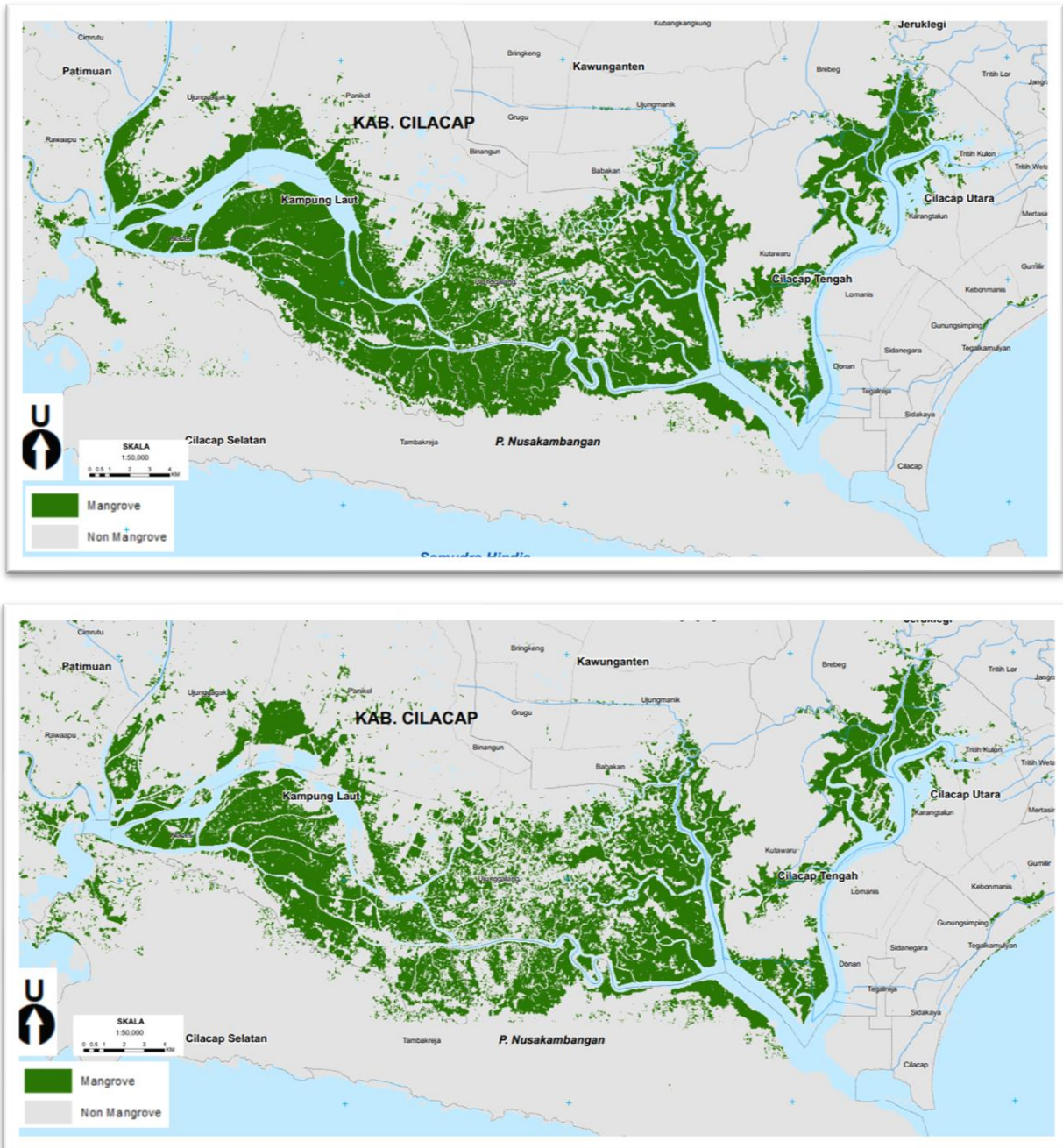
Hasil uji akurasi pada klasifikasi *support vector machine* tahun 2018 dengan jumlah sampel 132 diperoleh 78,06%, sedangkan pada tahun 2023 dengan sampel 132 diperoleh 86,39%. Hasil uji akurasi tahun 2023 lebih baik dibandingkan dengan tahun 2018 dikarenakan pengambilan sampel di lapangan dapat mengetahui kenampakan kondisinya secara real, sedangkan pada tahun 2018 dilakukan

pengambilan titik dengan keterbatasan berdasarkan pengamatan melalui perekaman citra Google Earth. Berikut hasil uji akurasi pada tahun 2018 dan 2023 pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Uji Akurasi Model SVM Tahun 2018

Penutup Lahan Tahun 2018	Kenampakan Citra Google Earth			Total
	Tubuh Air	Mangrove	Non-Mangrove	
Tubuh Air	33	4	4	41
Mangrove	4	24	5	33
Non-Mangrove	5	7	46	58
Total	42	35	55	132

$$\begin{aligned} \text{Hasil uji akurasi} &= \frac{\text{jumlah piksel yang benar}}{\text{jumlah total piksel}} \times 100\% \\ &= \frac{103}{132} \times 100\% = 78,06\% \end{aligned}$$



Gambar 4. Sebaran Ekosistem Mangrove di Segara Anakan Tahun 2018 (A) dan 2023 (B)

Tabel 4. Hasil Uji Akurasi Model SVM Tahun 2023

Klasifikasi SVM	Penutup Lahan Tahun 2023	Kenampakan Citra Google Earth			Total
		Tubuh Air	Mangrove	Non-Mangrove	
Klasifikasi SVM	Tubuh Air	35	2	2	39
	Mangrove	0	28	3	31
	Non-Mangrove	6	5	51	62
Total		41	35	56	132

$$\begin{aligned} \text{Hasil uji akurasi} &= \frac{\text{jumlah piksel yang benar}}{\text{jumlah total piksel}} \times 100\% \\ &= \frac{114}{132} \times 100\% = 86,39\% \end{aligned}$$

Hasil uji akurasi pada tahun 2018 dan 2023 menunjukkan nilai keakuratan di atas 75%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan sebaran ekosistem mangrove dengan memanfaatkan metode SVM di wilayah penelitian dapat dimanfaatkan untuk analisis selanjutnya karena nilai kesalahan berada di ambang bawah standar yaitu 25% pada penelitian lingkungan fisik.

3.3. Dinamika Spasiotemporal Ekosistem Mangrove di Segara Anakan

Berdasarkan hasil overlay dari hutan mangrove pada tahun 2018 hingga 2023, dapat diketahui perubahan penambahan dan pengurangan hutan mangrove. Dalam kurun waktu 2018 hingga 2023

diketahui total luas hutan mangrove yang mengalami pengurangan yaitu seluas 2054,64 Ha, sedangkan luas hutan mangrove yang bertambah seluas 1171,35 Ha. Sementara itu luas hutan mangrove yang tidak mengalami perubahan dari tahun 2018 hingga 2023 yaitu seluas 5.568,41 yang tersebar di Kec. Cilacap Selatan, Kec. Cilacap Tengah, Kec. Cilacap Utara, Jeruklegi, Kec. Kampung Laut, Kec. Kawunganten, dan Kec. Patimuan. Berikut tabel perubahan hutan mangrove tahun 2018 hingga 2023 berdasarkan kecamatan pada Tabel 5 dan perubahan sebaran hutan mangrove pada tahun 2018-2023 pada Gambar 5.

Penurunan luas hutan mangrove di Segara Anakan banyak disebabkan oleh adanya penebangan beberapa jenis mangrove untuk digunakan sebagai bahan baku kayu. Selain itu adanya konversi lahan mangrove menjadi lahan pertanian dan tambak secara langsung dapat mengubah pola distribusi dan populasi mangrove di wilayah penelitian. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Dwininta & Hartono, 2017) terhadap mangrove di Segara Anakan yang mengidentifikasi lahan hutan mangrove dari tahun 2000-2015 banyak yang berubah menjadi penggunaan lahan lain seluas 1.821 Ha. Hutan mangrove banyak yang berubah menjadi permukiman, tambak, dan sawah yang diakibatkan adanya sedimentasi maupun penebangan vegetasi

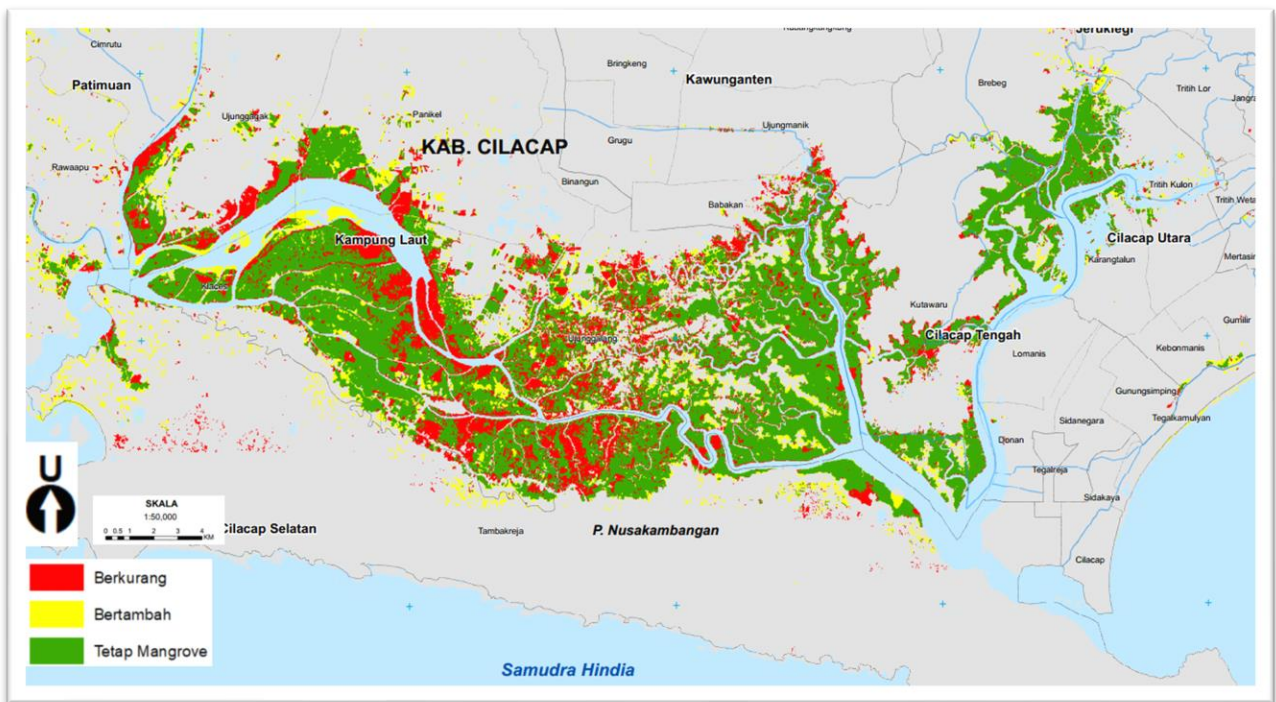
mangrove. Kondisi ini juga terjadi pada beberapa ekosistem mangrove di China (Jia et al., 2021; Kuenzer et al., 2011; Xia et al., 2021); Sierra Leone (Huber et al., 2023); dan Brazil (Oliveira et al., 2021), dimana aktivitas manusia berupa penebangan liar, perkembangan industri, dan eksploitasi besar-besaran di mangrove menjadi faktor dominan terjadinya penurunan luasan ekosistem mangrove.

3.4. Sebaran Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan

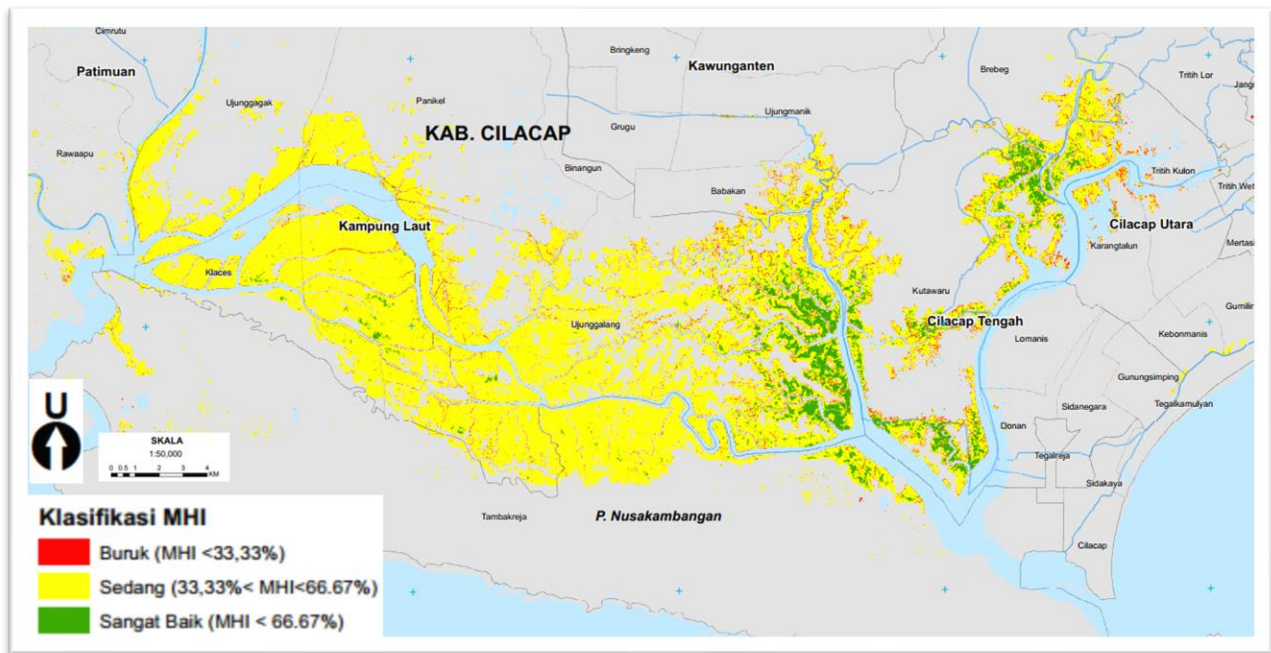
Berdasarkan pemodelan *Mangrove Health Index* (MHI) menggunakan hasil analisis menggunakan empat indeks vegetasi yakni NBR (*Normalized Burn Ratio*); GCI (*Green Chlorophyll Index*); SIPI (*Structure Insensitive Pigment Index*) dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) dapat diketahui kondisi kesehatan hutan mangrove. Hasil analisis *Mangrove Health Index* (MHI) pada tahun 2018 menunjukkan bahwa sebagian besar hutan mangrove di Segara Anakan dalam kondisi sedang. Kurang lebih 88,07% atau 6765,52 Ha dari total luas hutan mangrove pada tahun tersebut dalam kondisi kesehatan sedang. Sementara 5,03% atau 386,32 Ha hutan mangrove di Segara Anakan dalam keadaan buruk dan sisanya 6,90% atau 529,73 Ha dalam kondisi kesehatan sangat baik. Sebaran kondisi kesehatan mangrove Tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 5. Perubahan Luasan Ekosistem Mangrove Tahun 2018-2023

Kriteria	Perubahan Luasan Ekosistem Mangrove Tiap Kecamatan (hektar)									
	Bantarsari	South Cilacap	Central Cilacap	Cilacap North	Jeruklegi	Sea Village	Kawunganten	Kesugihan	Patimuan	Total
Berkurang	0.03	291.50	152.25	33.38	12.42	1466.93	60.54	0.33	36.76	(-) 2054.64
Bertambah	2.94	219.73	88.37	49.40	35.04	679.41	16.34	0.06	80.06	(+) 1171.35
Tetap	0.00	515.83	899.72	272.67	70.82	3710.92	76.08	0.00	22.38	5568.41



Gambar 5. Sebaran Perubahan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan Tahun 2018-2023



Gambar 6. Sebaran Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan pada Tahun 2018

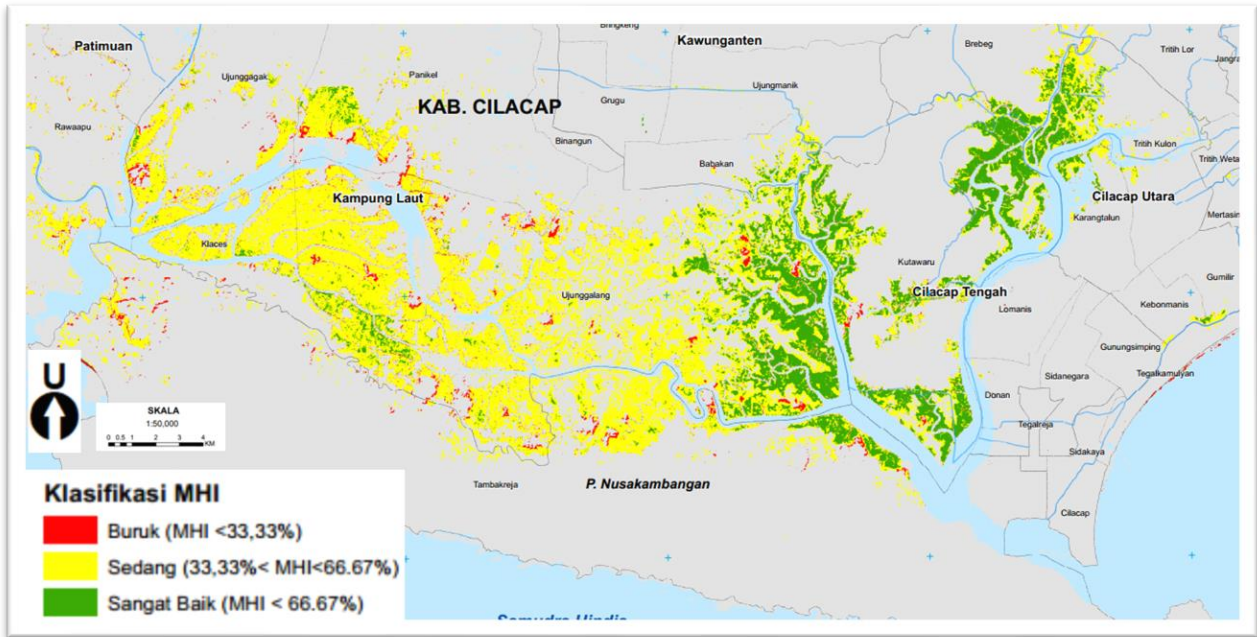
Selanjutnya berdasarkan hasil analisis *Mangrove Health Index* (MHI) pada tahun 2023 luas hutan mangrove di Segara Anakan dengan kondisi sangat baik meningkat secara signifikan menjadi 21,53% atau 1478,96 Ha dari total luas hutan mangrove pada tahun tersebut. Sebaran kondisi kesehatan mangrove Tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 7. Sedangkan kelas kesehatan sedang pada tahun 2023 memiliki luas 74,63% atau 5058,36 Ha dari total luas hutan mangrove. Kondisi hutan mangrove buruk pada tahun 2023 mengalami penurunan luasan menjadi 4,84% atau 332,20 Ha dari total luas hutan mangrove. Hasil perbandingan luas kondisi kesehatan hutan mangrove di Segara Anakan pada tahun 2018 dan 2023 tersaji pada Gambar 8.

Hasil identifikasi kesehatan ekosistem mangrove di Segara Anakan dengan metode MHI menunjukkan nilai kesehatan sedang. Hal ini selaras dengan hasil penelitian sebelumnya di Segara Anakan dengan menggunakan metode Mangrove Index (MI) dan NDVI (Winarso et al., 2023). Salah satu temuan menarik yaitu kondisi ekosistem mangrove di Segara Anakan pada rentang tahun 2018-2023 mengalami penurunan luasan ekosistem mangrove, tetapi dari sisi kesehatan justru mengalami perbaikan kesehatan ekosistem mangrove. Hal ini menunjukkan bahwa kesehatan ekosistem mangrove tidak hanya dipengaruhi oleh luasannya, tetapi juga faktor lain baik alami ataupun intervensi manusia.

Hasil pemetaan dinamika kesehatan di Segara Anakan menunjukkan bahwa peningkatan kesehatan banyak terjadi di Kecamatan Cilacap Tengah yang

dekat dengan Kota Cilacap. Hal ini terjadi karena pada wilayah tersebut terdapat beberapa aktivitas rehabilitasi yang dilakukan oleh masyarakat dan pihak swasta, seperti pada Desa Ujung Alang pada kawasan mangrove Kolak Sekancil. Adanya kegiatan rehabilitasi ini dapat meningkatkan kondisi kesehatan mangrove secara signifikan. Hal lain yang diindikasikan menyebabkan kondisi kesehatan mangrove di Kecamatan Cilacap Utara yaitu terkait kondisi lingkungan fisik utamanya pasang surut dan laju sedimentasi. Letak ekosistem mangrove yang cukup jauh dengan lautan menyebabkan perubahan akibat pasang surut menjadi lebih kecil. Kondisi pasang surut yang tidak terlalu besar menjadikan ekosistem mangrove sangat cocok untuk hidup pada lingkungan tersebut. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Kurniawansyah et al., 2023) dimana degradasi ekosistem mangrove banyak terjadi pada lingkungan yang memiliki pasang surut tinggi.

Selain itu, sedimentasi yang tidak terlalu tinggi pada wilayah Kecamatan Cilacap Tengah dan Cilacap Utara menjadikan ekosistem mangrove lebih terjaga dan cocok untuk tumbuh dan berkembang. Hal inilah yang menyebabkan pertumbuhan ekosistem mangrove lebih baik dan ditinjau dari sisi kesehatannya tentu akan masuk ke dalam kriteria sangat baik. Kondisi kesehatan mangrove yang dipengaruhi oleh sedimentasi ini juga ditemukan pada hasil kajian (Hanggara et al., 2021; Hidayat et al., 2024; Listyaningsih et al., 2013) dimana pada ekosistem mangrove dengan habitat sedimentasi tinggi memiliki laju degradasi yang tinggi pula.



Gambar 7. Sebaran Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan pada Tahun 2023



Gambar 8. Perbandingan Kesehatan Mangrove di Segara Anakan Tahun 2018 dan 2023

3.5. Dinamika Spasiotemporal Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan

Perubahan kesehatan hutan mangrove tahun 2018 dan 2023 diketahui berdasarkan overlay hasil analisis *Mangrove Health Index* (MHI) pada masing-masing tahun. Perubahan luasan paling besar terjadi terhadap kelas sedang menjadi kelas sangat baik seluas 1.1011,92 Ha, sedangkan perubahan paling kecil terjadi pada kelas sangat baik menjadi kelas buruk dengan luasan 8,93 Ha. Sedangkan hutan mangrove dalam kurun waktu 2018 hingga 2023 dengan kelas kesehatan hutan mangrove sedang tetap dominan yaitu dengan luasan 6.696,45 Ha. Berikut tabel perubahan luasan kesehatan hutan mangrove

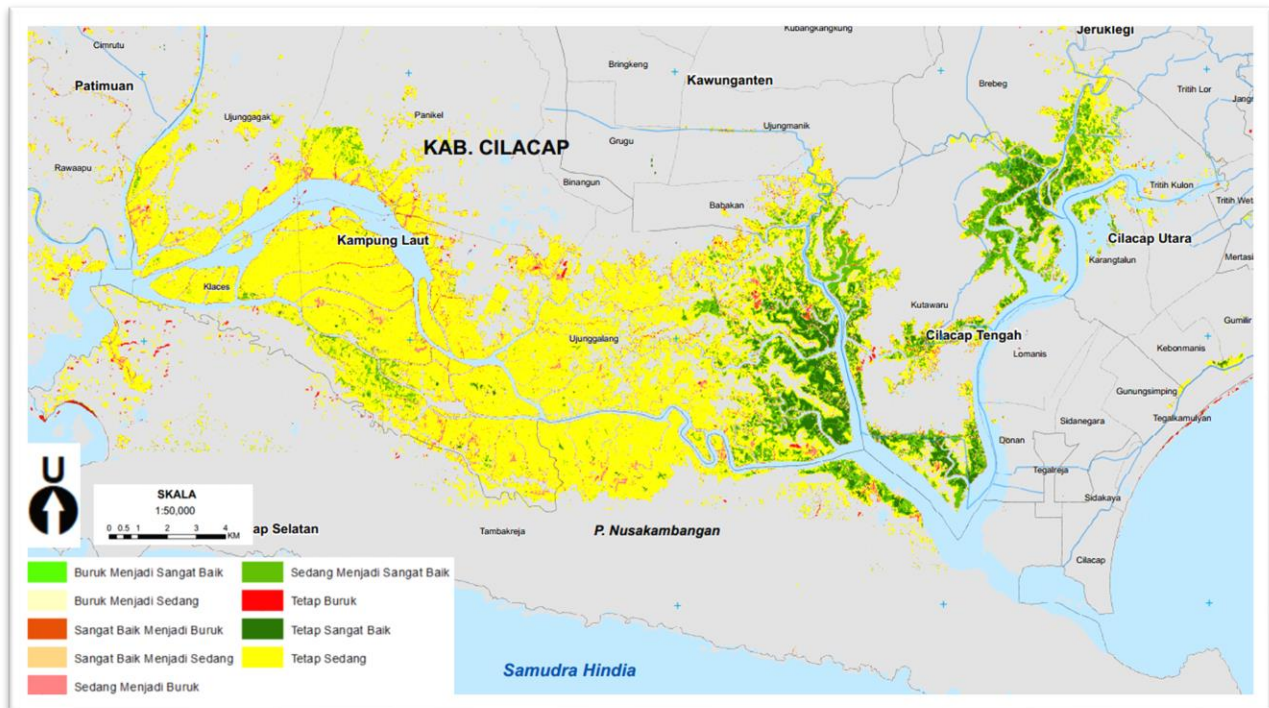
tahun 2018-2023 pada Tabel 6 dan perubahan kesehatan hutan mangrove tahun 2018 -2023 pada Gambar 9.

Tabel 6. Perubahan luasan kesehatan hutan mangrove tahun 2018-2023

Perubahan	Luas (Ha)
Buruk Menjadi Sangat Baik	19,82
Buruk Menjadi Sedang	149,48
Sangat Baik Menjadi Buruk	8,93
Sangat Baik Menjadi Sedang	67,22
Sedang Menjadi Buruk	158,01
Sedang Menjadi Sangat Baik	1.011,92
Tetap Buruk	352,48
Tetap Sangat Baik	486,38
Tetap Sedang	6.696,45

Kondisi kesehatan hutan mangrove di Segara Anakan dengan kelas sedang pada tahun 2018 dominan berada di sisi barat dari sebaran hutan mangrove pada tahun tersebut, sedangkan untuk kelas kondisi kesehatan hutan mangrove sangat baik berada di sisi timur. Begitupun dengan kondisi kesehatan hutan mangrove pada tahun 2023, mangrove dengan kondisi kesehatan hutan mangrove sedang banyak tersebar di sisi barat dari sebaran

hutan mangrove pada tahun tersebut. Kesehatan hutan mangrove dengan kelas sangat baik pada tahun 2023 banyak didominasi oleh vegetasi mangrove dengan jenis *Sonneratia* dan *Rhizophora* yang memiliki kerapatan yang cukup tinggi. Sementara itu, kondisi kesehatan hutan mangrove dengan kelas kondisi kesehatan hutan mangrove sedang dan buruk didominasi oleh *Nypa fruticans* dan beberapa campuran *Avicennia marina*.



Gambar 9. Perubahan Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan Tahun 2018 – 2023

Kesehatan hutan mangrove pada kelas sedang dari tahun 2018 hingga 2023 mengalami penurunan, hal itu dikarenakan sudah adanya rehabilitasi hutan mangrove dengan penanaman bibit mangrove. Meskipun begitu, masih banyak tanaman mangrove yang ditemui saat di lapangan mengalami kerusakan yang serius. Kerusakan tersebut dilihat dari mangrove yang mengalami kekeringan hingga daun berwarna kuning kecoklatan dan beberapa banyak yang mati. Banyaknya hutan mangrove yang mengalami kekeringan dipengaruhi oleh adanya pemanfaatan hutan mangrove secara berlebih yang digunakan sebagai bahan rumah tangga, serta adanya sedimentasi yang tinggi. Sedimentasi tersebut dapat mempengaruhi klorofil untuk pertumbuhan mangrove dengan menipisnya oksigen terhadap penyerapan melalui sistem akar akan mengurangi fungsi ekosistem mangrove dan jasa, termasuk habitat, karbon, dan kerugian keanekaragaman hayati (Sugiana et al., 2022). Meskipun luas hutan mangrove dari tahun 2018 hingga tahun 2023 mengalami penurunan yang signifikan. Namun, status kesehatannya dengan kelas sangat baik mengalami peningkatan dengan berkurangnya kategori

mangrove buruk dan sedang karena pengembangan bibit-anakan dan beberapa program rehabilitasi.

Hasil dari penelitian secara umum menunjukkan bahwa hasil pemetaan luasan dan kesehatan ekosistem mangrove dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dinilai efektif dan efisien. Hal ini terlihat dari nilai uji akurasi pemodelan yang mencapai nilai di atas 76% baik pada pemodelan tahun 2018 dan 2023 dimana nilai tersebut berada di atas ambang batas ketelitian pada penelitian abiotik sebesar 75%. Oleh karena itu, penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk melakukan monitoring kondisi ekosistem mangrove baik luasan maupun kesehatan utamanya pada area dengan cakupan luas. Efektivitas pengamatan kondisi ekosistem mangrove dengan memanfaatkan penginderaan jauh juga telah banyak diteliti oleh (Perdana et al., 2022; Priyono et al., 2022; Winarso et al., 2023)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan diketahui sebaran hutan mangrove tersebar di Kecamatan Bantarsari, Cilacap Selatan, Cilacap Tengah, Cilacap Utara, Jeruklegi, Kampung Laut, Kawunganten, Kesugihan,

dan Patimuan. Dinamika luasan hutan mangrove di Segara Anakan terus berubah setiap tahunnya. Berdasarkan hasil pengolahan diketahui hutan mangrove pada tahun 2018-2023 mengalami penurunan 883,28 Ha. Perubahan hutan mangrove pada tahun 2018-2023 banyak terjadi di Kecamatan Kampung laut yang disebabkan karena adanya aktivitas pembukaan lahan tambak.

Kondisi kesehatan hutan mangrove di Segara Anakan pada tahun 2018 dan 2023 didominasi oleh kelas sedang dengan luas 73 - 88%. Kesehatan hutan mangrove sedang pada tahun 2018 dan 2023 dominan berada di sisi barat Segara Anakan, sedangkan untuk kelas kesehatan sangat baik berada di sisi timur yang berdekatan dengan permukiman. Kesehatan hutan mangrove sangat baik meningkat karena adanya berbagai macam konservasi yang ada di daerah timur seperti di Kecamatan Cilacap Tengah, Cilacap Utara, dan Kecamatan Selatan berupa pengembangan bibit-anakan dan beberapa program rehabilitasi.

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi penginderaan jauh sangat efektif digunakan untuk monitoring perubahan kesehatan ekosistem mangrove dengan cakupan luas seperti pada wilayah penelitian. Hasil pemodelan yang menunjukkan angka keakuratan di atas 76% menjadi indikator bahwa pemantauan dengan penginderaan jauh mendekati kondisi asli luasan dan kesehatan mangrove. Oleh karena itu, pemantauan kesehatan pada ekosistem mangrove dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dapat dilakukan pada ekosistem mangrove di lokasi lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan skema pendanaan penelitian fundamental II RISETMU tahun 2024 melalui nomor kontrak penelitian 0258.010/L.3/D/2024. Ucapan terima kasih disampaikan peneliti kepada Majelis Diktilitbang PP Muhammadiyah yang telah memberikan pendanaan untuk pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adinegoro, R., Putra, I. N. N., & Putra, I. G. (2022). Pemetaan Perubahan Luasan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Pasca Kematian Mangrove di Denpasar-Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 8(1), 66-77.

Akbar, M. R., Arisanto, P. A. A., Sukirno, B. A., Merdeka, P. H., Priadhi, M. M., & Zallesa, S. (2020). Mangrove vegetation health index analysis by implementing NDVI (normalized difference vegetation index) classification method on sentinel-2 image data case study: Segara Anakan, Kabupaten Cilacap. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 584(1), 12069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/584/1/012069>

Ardli, E. R., Yuwono, E., & Purwanto, A. D. (2022). Land Cover Changes and Impacts of Massive Siltation on the Mangrove Segara Anakan Lagoon System, Cilacap Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 23(7),

29-41.
<https://doi.org/10.12911/22998993/149821>

Bunting, P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R. M., Thomas, N., Tadono, T., Worthington, T. A., Spalding, M., & Murray, N. J. (2022). Global Mangrove Extent Change 1996 - 2020: Global Mangrove. *Remote Sensing*, 14(3657), 1-32.

Chavez, P. S. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:3119191>

Dewi, R., Zainuri, M., Anggoro, S., & Winanto, T. (2016). Analisis Perubahan Lahan Kawasan Laguna Segara Anakan Selama Periode Waktu (1978-2016) Menggunakan Satelit Landsat Multitemporal. *Omni Akuatik, Journal of Fisheries and Marine Research*, 12(3), 144-150. <https://ojs.omniakuatika.net/index.php/joa/article/view/209>

Direktorat Konservasi Tanah dan Air. (2022). *Peta Mangrove Nasional Tahun 2021*.

Dwininta, A. C., & Hartono. (2017). Perubahan Hutan Mangrove Tahun 2000-2015 Di Segara Anakan Kab. Cilacap Jawa Tengah Menggunakan Citra Landsat 7 Etm+ Dan 8 OLI. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(1), 1-10.

Everitt, J. H., & Judd, F. W. (1989). Using Remote Sensing Techniques to Distinguish and Monitor Black Mangrove (Avicennia Germinans). *Journal of Coastal Research*, 5(4), 737-745. <http://www.jstor.org/stable/4297605>

Flores De Santiago, F., Kovacs, J. M., & Lafrance, P. (2013). An object-oriented classification method for mapping mangroves in Guinea, West Africa, using multipolarized ALOS PALSAR L-band data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(2), 563-586. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.715773>

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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>

Hanggara, B. B., Murdiyarto, D., Rs, Y., Widha, Y. L., Panjaitan, G. Y., & Lubis, A. A. (2021). Estuarine , Coastal and Shelf Science Effects of diverse mangrove management practices on forest structure , carbon dynamics and sedimentation in North Sumatra , Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 259, 107467. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107467>

Hidayah, Z., Rachman, H. A., & As-Syakur, A. R. (2023). Pemetaan kondisi hutan mangrove di kawasan pesisir Selat Madura dengan pendekatan Mangrove Health Index memanfaatkan citra satelit Sentinel-2. *Majalah Geografi Indonesia*, 37(1), 84. <https://doi.org/10.22146/mgi.78136>

Hidayat, A., Budiastuti, M. T. S., Trihatmoko, E., Danardono, D., & Ainurrohman, D. (2024). The potential of community-based ecotourism development with an ecosystem service approach: a case study of Kaliwlingi Village, Brebes, Indonesia. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04380-w>

Hilmi, E., Sari, L. K., Mahdiana, A., Junaidi, T., Muslih, M., Samudra, S. R., Prayogo, N. A., Baedowi, M., Cahyo, T.

- Danardono, Mulyani, N. F., Wibowo, A. A., dan Arijuddin, B. I. (2025). Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Monitoring Dinamika Spasiotemporal Kesehatan Ekosistem Mangrove di Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 923-936. doi:10.14710/jil.23.4.923-936
- N., Putra, R. R. D., & Sari, F. A. (2022). Mapping of Mangrove Ecosystem In Segara Anakan Lagoon using Normalized Different Vegetation Index and Dominant Vegetation Index. *Omni-Akuatika*, 18(2), 165. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2022.18.2.926>
- Huber, L. C., Sainge, M. N., Feka, Z. N., Kamara, R. A., Kamara, A., Sullivan, M., & Cuni-Sanchez, A. (2023). Human-driven degradation impacts on mangroves in southern Sierra Leone. *Trees, Forests and People*, 14, 100445. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100445>
- Ishtiaque, A., Shrestha, M., & Chhetri, N. (2017). Rapid Urban Growth in the Kathmandu Valley, Nepal: Monitoring Land Use Land Cover Dynamics of a Himalayan City with Landsat Imageries. In *Environments* (Vol. 4, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/environments4040072>
- Ismail, Sulistiono, Hariyadi, S., & Madduppa, H. (2019). Correlation Between Mangrove Degradation in Segara Anakan and Production of Crab (*Scylla* sp.) in Cilacap Regency, Central Java Province. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(3), 179–187. <https://doi.org/10.18343/jipi.24.3.179>
- Jia, M., Wang, Z., Mao, D., Ren, C., Wang, C., & Wang, Y. (2021). Rapid, robust, and automated mapping of tidal flats in China using time series Sentinel-2 images and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 255, 112285. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112285>
- Kovacs, J. M., Liu, Y., Zhang, C., Flores-Verdugo, F., & de Santiago, F. F. (2011). A field based statistical approach for validating a remotely sensed mangrove forest classification scheme. *Wetlands Ecology and Management*, 19(5), 409–421. <https://doi.org/10.1007/s11273-011-9225-3>
- Kovacs, J. M., Lu, X. X., Flores-Verdugo, F., Zhang, C., Flores de Santiago, F., & Jiao, X. (2013). Applications of ALOS PALSAR for monitoring biophysical parameters of a degraded black mangrove (*Avicennia germinans*) forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, 102–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.05.004>
- Kristianingsih, L., Wijaya, A. P., & Sukmono, A. (2016). Analisis Pengaruh Koreksi Atmosfer Terhadap Estimasi Kandungan Klorofil-A Menggunakan Citra Landsat 8. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4), 56–62.
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. In *Remote Sensing* (Vol. 3, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/rs3050878>
- Kurniawansyah, A., Susiloningtyas, D., Dwi, M., & Manessa, M. (2023). Suitability of Mangrove Tourism Areas in Cilamaya Wetan District, Karawang Regency. *Forum Geografi*, 37(1), 10–23. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v37i1.19852>
- LAPAN. (2015). *Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 Untuk Mangrove*. LAPAN.
- Li, Q., Lu, W., Chen, H., Luo, Y., & Lin, G. (2014). Differential responses of net ecosystem exchange of carbon dioxide to light and temperature between spring and neap tides in subtropical mangrove forests. *TheScientificWorldJournal*, 2014, 943697. <https://doi.org/10.1155/2014/943697>
- Listyaningsih, D. D., Yulianda, F., & Ardli, E. R. (2013). Kajian degradasi ekosistem mangrove terhadap populasi polymesoda erosa di segara anakan, cilacap. *Forum Geografi*, 27(1), 1–10.
- Lorenzo, E. N., Jesus Jr, B. D., & Jara, R. S. (1979). Assessment of mangrove forest deterioration in Zamboanga Peninsula, Philippines using Landsat MSS data. *Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 23–27.
- Majid, I., Al Muhdar, M. H. I., Rohman, F., & Syamsuri, I. (2016). *Konservasi Hutan Mangrove Di Pesisir Pantai Kota Ternate Terintegrasi Dengan Kurikulum Sekolah*. 4(2).
- Neres, J. N., Strenzel, G. M. R., Mielke, M. S., & Barros, F. (2024). Mangrove forest health condition from space and the use of in situ data. *Marine Environmental Research*, 201, 106704. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106704>
- Nurdiansah, D., & Dharmawan, I. W. E. (2021). Spatial and temporal analysis for mangrove community healthiness in Liki Island, Papua-Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 944(1), 12017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/944/1/012017>
- Oliveira, T. S., Xavier, D. de A., Santos, L. D., Passos, T. U., Sanders, C. J., França, E. J., Camargo, P. B., Penny, D., & Barcellos, R. L. (2021). Reconstructing the history of environmental impact in a tropical mangrove ecosystem: A case study from the Suape port-industrial complex, Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101747. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101747>
- Onrizal, O. (2010). Permasalahan Mangrove Pantai Timur Sumatera Utara Periode 1977-2006. *Jurnal Biologi Indonesia*, 6(2), 163–172.
- Perdana, P., Wiguna, K., Wayan, N., Sutari, S., Febriarta, E., & Permata-, A. L. (2022). *Spatial Analysis of Mangrove Distribution Using Landsat 8 Oli in Badung Regency and Denpasar City, Bali Province, Indonesia*. 21–29. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v36i1.14711>
- Prabakaran, C., Singh, C. P., & Panigrahy, S. (2014). Assessment of the health status of Indian mangrove ecosystems using multi temporal remote sensing data. *Tropical Ecology*, 2, 245–253.
- Pratama, W. L., & Isdianto, A. (2017). Pemetaan kerapatan hutan mangrove di segara anakan, Cilacap, Jawa Tengah menggunakan citra landsat 8 di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Jakarta. *Jurnal J. Floratek*, 12(1), 57–61.
- Priyono, K. D., Saifuddin, A., Nugroho, F. S., & Jumadi, J. (2022). Identification of Mangrove Changes in the Mahakam Delta in 2007-2017 Using Alos / Palsar and Landsat. *International Journal of GEOMATE*, 23(96), 77–84.
- Rahman, A. N., & Herumurti, S. (2014). Studi Perbandingan Klasifikasi Multispektral Maximum Likelihood dan Support Vector Machine untuk Pemetaan Penutup Lahan. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(4), 1–7.
- Razali, S. M., Nuruddin, A. A., & Lion, M. (2019). Mangrove vegetation health assessment based on remote sensing indices for Tanjung Piai, Malay peninsular. *Journal of Landscape Ecology(Czech Republic)*, 12(2), 26–40. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2019-0008>
- Setyadi, G., Pribadi, R., Wijayanti, D. P., & Sugianto, D. N. (2021). Mangrove diversity and community structure of mimika District, Papua, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(8), 3562–3570.

- <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D220857>
- Song, C., White, B. L., & Heumann, B. W. (2011). Hyperspectral remote sensing of salinity stress on red (*Rhizophora mangle*) and white (*Laguncularia racemosa*) mangroves on Galapagos Islands. *Remote Sensing Letters*, 2(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.514305>
- Su, J., Friess, D. A., & Gasparatos, A. (2021). A meta-analysis of the ecological and economic outcomes of mangrove restoration. *Nature Communications*, 12(1), 5050. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25349-1>
- Sugiana, I. P., Andiani, A. A. E., Pradnyandari Dewi, I. G. A. I., Astawa Karang, I. W. G., As-Syakur, A. R., & Dharmawan, I. W. E. (2022). Spatial distribution of mangrove health index on three genera dominated zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(7), 3407–3418. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230713>
- Susanto, A., Khalifa, M. A., Munandar, E., Nurdin, H. S., Supadminingsih, F. N., Hasanah, A. N., Ayi, B., Irnawati, R., Rahmawati, A., Putra, A. N., & Alansar, T. (2022). Kondisi kesehatan ekosistem mangrove sebagai sumber potensial pengembangan ekonomi kreatif pesisir Selat Sunda. *Leuit (Journal of Local Food Security)*, 3(1), 172–181.
- Trégarot, E., Caillaud, A., Cornet, C. C., Taureau, F., Catry, T., Cragg, S. M., & Failler, P. (2021). Mangrove ecological services at the forefront of coastal change in the French overseas territories. *Science of The Total Environment*, 763, 143004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143004>
- Utami, F. P., Sukmono, A., & Prasetyo, Y. (2016). Analisis Spasial Perubahan Luasan Mangrove Akibat Pengaruh Limpasan Sedimentasi Tersuspensi dengan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Segara Anakan Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 305–315. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/10602>
- Wang, Y.-S., & Gu, J.-D. (2021). Ecological responses, adaptation and mechanisms of mangrove wetland ecosystem to global climate change and anthropogenic activities. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 162, 105248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105248>
- Wayan Eka Dharmawan, I. (2021). Mangrove health index distribution on the restored post-tsunami mangrove area in Biak Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), 12007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012007>
- Wibowo, K., & Handayani, T. (2006). Pelestarian Hutan Mangrove Melalui Pendekatan Mina Hutan (Silvofishery). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(3), 227–233.
- Winarso, G., Kamal, M., Rosid, S., Asriningrum, W., & Supriyatna, J. (2020). Correlation analysis of satellite-based mangrove index and mangrove forest health at Segara Anakan Cilacap, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 500(1), 12050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012050>
- Winarso, G., Rosid, M. S., Kamal, M., Asriningrum, W., Margules, C., & Supriyatna, J. (2023). Comparison of Mangrove Index (MI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the detection of degraded mangroves in Alas Purwo Banyuwangi and Segara Anakan Cilacap, Indonesia. *Ecological Engineering*, 197, 107119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107119>
- Xia, Q., Jia, M., He, T., Xing, X., & Zhu, L. (2021). Effect of tide level on submerged mangrove recognition index using multi-temporal remotely-sensed data. *Ecological Indicators*, 131(August 2020), 108169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108169>