

Review Komunikasi

Pemetaan kondisi hutan mangrove di kawasan pesisir Selat Madura dengan pendekatan *Mangrove Health Index* memanfaatkan citra satelit Sentinel-2

Zainul Hidayah^{1*}, Herlambang Aulia Rachman¹, Abd Rahman As-Syakur²

¹Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura

²Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana

* Email koresponden: zainulhidayah@trunojoyo.ac.id

Abstrak Pemetaan dan pemantauan kondisi hutan mangrove diperlukan untuk rehabilitasi dan konservasi lingkungan. *Mangrove Health Index* (MHI) menggunakan analisis citra satelit merupakan pendekatan baru yang bisa digunakan untuk mengetahui kualitas lingkungan ekosistem hutan mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui struktur komunitas hutan mangrove dan melakukan analisis spasial-temporal MHI di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo menggunakan citra satelit. Data yang digunakan untuk analisis struktur komunitas mangrove pada penelitian ini adalah hasil pengamatan lapang di 10 transek. Untuk analisis MHI menggunakan citra Sentinel 2 perekaman tahun 2015, 2018, 2021. Hasil analisis menunjukkan bahwa spesies mangrove yang paling dominan di lokasi penelitian adalah *Avicennia marina*. Analisis citra satelit mendeteksi penambahan luas mangrove yang signifikan dari tahun 2015 hingga 2021 yaitu lebih dari 500 Ha. Berdasarkan analisis MHI, terjadi perubahan positif dari kondisi hutan mangrove dominansi buruk (MHI < 33%) pada tahun 2015 menjadi sedang (33,4% < MHI < 66,67%) hingga baik (MHI > 66,68%). Pertambahan luas hutan mangrove diiringi dengan perbaikan kondisi ekosistem dengan indikator meningkatnya MHI.

Kata kunci: citra satelit; komunitas; mangrove; pemetaan; Sentinel

Abstract Mapping and monitoring the condition of mangrove forests is needed for environmental rehabilitation and conservation. *Mangrove Health Index* (MHI) using satellite image analysis is a new approach that can be used to determine the environmental quality of mangrove forest ecosystems. This study aims to determine the structure of the mangrove forest community and conduct a spatial and temporal MHI analysis in the coastal areas of Surabaya and Sidoarjo. The data used in this study were the results of field observations on 10 transects. MHI analysis using Sentinel 2 imagery recorded in 2015, 2018, 2021. The results of the analysis show that the most dominant mangrove species in the research location is *Avicennia marina*. Analysis of satellite imagery detects a significant increase in mangrove area from 2015 to 2021, which is more than 500 Ha. Based on the MHI analysis, there was a positive change from poor dominant mangrove forest conditions (MHI < 33%) in 2015 to moderate (33.4% < MHI < 66.67%) to good (MHI > 66.68%). The increase in the area of mangrove forests is accompanied by improvements in ecosystem conditions with indicators of increasing MHI.

Keywords: satellite image; community; mangrove; mapping; Sentinel

PENDAHULUAN

Hutan mangrove merupakan komunitas vegetasi pantai tropis yang umumnya tumbuh pada tanah lumpur aluvial di daerah pantai yang terlindung atau muara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut. Vegetasi mangrove memiliki daya adaptasi yang baik sehingga dapat tumbuh pada perairan payau dengan substrat lumpur yang tebal (Schaduw, 2019). Bentuk adaptasi yang ditunjukkan oleh vegetasi mangrove antara lain adalah sistem perakaran yang kuat, memiliki akar nafas (*pneumatofora*) dan struktur daun yang mampu bertahan terhadap kadar garam yang tinggi. Beberapa genus vegetasi mangrove yang dapat ditemukan di Indonesia antara lain *Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Xylocarpus*, *Lumnitzera*, *Aegiceras*, *Excoecaria*, *Aegiceras*, *Scyphophora* dan *Nypa* (Setyadi et al., 2021; Theresia et al., 2016).

Interaksi antara vegetasi hutan mangrove dengan lingkungan perairan membuat ekosistem ini memiliki fungsi ekologi dan ekonomi yang penting untuk kawasan pesisir (Alongi et al., 2016). Hutan mangrove menjadi habitat, tempat mencari makan (*feeding ground*) dan memijah (*nursery ground*) bagi berbagai jenis ikan, udang dan kepiting. Selain itu dengan kandungan bahan organik yang tinggi, hutan mangrove berperan penting dalam rantai makanan di lingkungan perairan dan pesisir (Harefa et al., 2022). Melalui sistem perakarannya

yang kuat dan ekstensif, hutan mangrove berfungsi melindungi garis pantai dari abrasi bahkan mampu menahan ancaman gelombang tsunami. Hutan mangrove juga berperan sebagai elemen penting dalam meminimalisir dampak perubahan iklim dan pemanasan global. Kemampuan hutan mangrove dalam menyerap karbondioksida (CO₂) dan melepaskan oksigen (O₂) lebih baik dibandingkan dengan tipe hutan daratan lainnya (Shiau & Chiu, 2020). Vegetasi mangrove yang beradaptasi pada lingkungan an-aerob menghasilkan kemampuan menyimpan karbon dalam jangka waktu yang panjang. Lebih lanjut, stok karbon di hutan mangrove lebih banyak terdistribusi dalam biomassa tanaman dan hanya sekitar 11% karbon yang tersimpan dalam sedimen (Li et al., 2018).

Hutan mangrove dapat ditemukan di kawasan *intertidal* daerah tropis dan sub-tropis, tersebar dari 30°Lintang Selatan hingga 30° Lintang Utara. Luas hutan mangrove di seluruh dunia pada tahun 2000 diperkirakan mencapai 13,7 juta Ha, sedangkan pada tahun 2011 luas hutan mangrove berdasarkan pengamatan citra satelit secara global bervariasi antara 11 juta – 24 juta Ha. Namun luas pasti hutan mangrove di dunia sampai dengan tahun 2021 belum tersedia (Giri et al., 2011; Giri, 2021). Sementara itu, luas hutan mangrove di Indonesia menurut Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2017 mencapai 3,36 juta Ha (Rahadian et al., 2019; KKP 2021). Kementerian

Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2021) menyebutkan bahwa menurut hasil pemutakhiran Peta Mangrove Nasional (PMN) terdapat perubahan luasan yang cukup signifikan di Indonesia. Luas eksisting mangrove nasional dari PMN 2013-2019 sebesar 3.311.245 Ha, sementara hasil pemutakhiran PMN pada tahun 2021 menjelaskan bahwa luas hutan mangrove menjadi 3.364.080 Ha. Data tersebut menunjukkan terjadinya penambahan luas hutan mangrove di Indonesia sebesar 52.835 Ha. Selanjutnya, berdasarkan data PMN luas hutan mangrove di wilayah pesisir Provinsi Jawa Timur mencapai 27.221 Ha atau \pm 48% dari total eksisting hutan mangrove di Pulau Jawa. Namun, kerusakan hutan mangrove dilaporkan terjadi di beberapa lokasi antara lain di Ujung Pangkah Gresik, pantai timur Surabaya dan muara sungai porong Sidoarjo (Prasetyo et al., 2017; Roseana & Putra, 2019; Syamsu et al., 2018). Penyebab dari kerusakan hutan mangrove di lokasi-lokasi tersebut terdiri dari beberapa faktor antara lain penebangan liar, konversi lahan menjadi tambak, tekanan lingkungan dan abrasi pantai.

Teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) memanfaatkan hasil analisa citra satelit merupakan metode yang paling efektif untuk memetakan hutan mangrove (Giri, 2021). Terlebih lagi, ketersediaan citra satelit resolusi menengah seperti Landsat 8 dan Sentinel 2 yang dapat diakses bebas dan memiliki resolusi temporal yang cukup baik membuat pemantauan kondisi dan distribusi hutan mangrove secara periodik menjadi semakin mudah. Hal tersebut antara lain dilakukan oleh Hamuna & Tanjung (2018) yang memanfaatkan citra satelit Landsat TM-5 dan Landsat 8 OLI untuk mendeteksi pengurangan luas hutan mangrove Teluk Youtefa Jayapura dari tahun 1994 hingga 2017. Penelitian sejenis dengan menggunakan kombinasi citra satelit Landsat TM-5, Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A dilakukan untuk menghitung perubahan luas hutan mangrove di pesisir Muara Gembong Bekasi dari tahun 2009 hingga 2019 (Maulani et al., 2021).

Kondisi ekosistem hutan mangrove dapat ditinjau dari beberapa parameter antara lain keanekaragaman jenis (*diversity*), kerapatan vegetasi (*density*), penutupan kanopi dan biomassa (Schaduw, 2019; Suryono et al., 2018; Suwanto et al., 2021). Sementara itu, untuk pengamatan menggunakan citra satelit, kondisi ekosistem mangrove umumnya dianalisis dengan menggunakan beberapa indeks vegetasi. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang memiliki korelasi kuat dengan kerapatan vegetasi mangrove merupakan salah satu indeks vegetasi yang paling banyak digunakan (Hidayah et al., 2015; Razali et al., 2019). Penelitian-penelitian yang lain juga memanfaatkan berbagai indeks vegetasi untuk membuat model penentuan biomassa dan stok karbon mangrove (Baloloy et al., 2020; Fikri et al., 2021; Muhsoni et al., 2018).

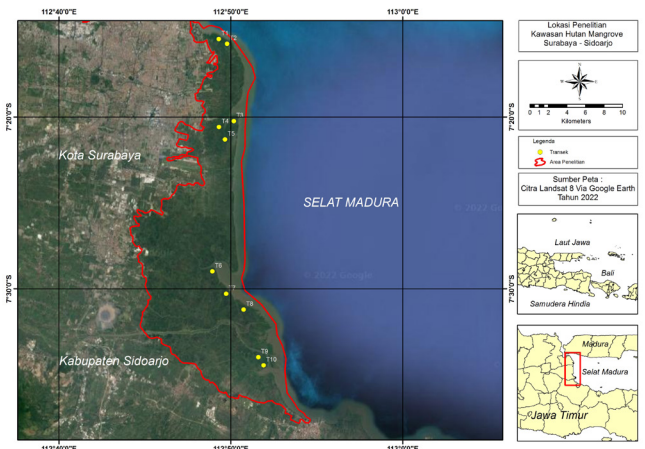
Sementara itu, analisis MHI (*Mangrove Health Index*) merupakan pendekatan baru yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan kualitas lingkungan ekosistem hutan mangrove. Secara umum perhitungan MHI dikembangkan untuk menilai kesehatan mangrove pada tingkat ekosistem berdasarkan 3 parameter utama struktur tegakan mangrove yaitu diameter batang, tutupan tajuk dan kepadatan. Nilai MHI dapat ditentukan melalui pengambilan data lapang (Schaduw et al., 2021; Setyadi et al., 2021) maupun memanfaatkan citra satelit. Beberapa penelitian yang memanfaatkan citra satelit untuk menentukan MHI berdasarkan nilai NDVI antara lain dilakukan oleh Akbar et al (2020), Maulidiyah et al (2017) serta Sukojo & Arindi (2019). Penemuan lebih lanjut menunjukkan korelasi yang kuat antara ketiga parameter tersebut dengan index vegetasi yang dapat diketahui melalui analisis citra

satelit. Sehingga nilai MHI dapat diprediksi dari beberapa nilai index vegetasi yaitu NBR (*Normalized Burn Ratio*), GCI (*Green Chlorophyll Index*), SIPI (*Structure Insensitive Pigment Index*) dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) (Nurdiansah & Dharmawan, 2021). Berdasarkan uraian diatas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan dinamika spasial dan temporal kondisi hutan mangrove dengan pendekatan MHI dan menganalisis struktur komunitas hutan mangrove di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu dasar pengambilan kebijakan untuk konservasi dan rehabilitasi ekosistem hutan mangrove.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah kawasan hutan mangrove yang berada di pesisir timur Kota Surabaya dan Sidoarjo. Kawasan ini merupakan muara dari beberapa sungai, diantaranya adalah muara Sungai Kali Mas dan Sungai Porong yang terkenal sebagai saluran pembuangan lumpur akibat bencana geologis semburan lumpur LAPINDO. Hutan mangrove di lokasi penelitian termasuk dalam kawasan konservasi yang ditetapkan dalam Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) Provinsi Jawa Timur. Secara lebih detail, lokasi geografis penelitian membentang dari $112^{\circ}47'40,08''$ BT dan $7^{\circ}14'24,74''$ LS sampai dengan $112^{\circ}54'28,85''$ BT dan $7^{\circ}37'44,44''$ LS (Gambar 1). Penelitian ini dilakukan pada tahun bulan Januari sampai dengan Maret tahun 2022 dengan menganalisis citra Sentinel 2 perekaman tahun 2015, 2018 dan 2021.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Hutan Mangrove Surabaya-Sidoarjo

Data

Data yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan data utama yaitu citra satelit Sentinel 2 level 1C perekaman tahun 2015, 2018 dan 2021 yang diunduh dari situs <https://scihub.copernicus.eu/>. Pada level 1C tersebut, citra satelit Sentinel 2 telah mengalami koreksi radiometrik. Citra Sentinel 2 sering digunakan untuk pemantauan dinamika spasial ekosistem pesisir, khususnya mangrove (Kawamuna et al, 2017; Maulidiyah et al, 2017; Wang et al, 2018). Citra Sentinel-2 memiliki 13 band terdiri dari 4 band dengan resolusi 10 meter, 6 band dengan resolusi 20 meter dan 3 band dengan resolusi 60 meter (Tabel 1).

Analisis MHI dilakukan melalui transformasi citra dengan kombinasi-kombinasi band untuk membuat indeks vegetasi. Indeks-indeks vegetasi yang digunakan untuk

Tabel 1. Karakteristik Citra Sentinel 2

Band	Panjang Gelombang (µm)	Resolusi Spasial (m)
Band-1 Coastal Aerosol	0,433-0,453	60
Band 2- Blue	0,458-0,523	10
Band 3- Green	0,543-0,578	10
Band 4- Red	0,650-0,680	10
Band 5- Vegetation Red Edge	0,698-0,713	20
Band 6- Vegetation Red Edge	0,733-0,748	20
Band 7- Vegetation Red Edge	0,765-0,785	20
Band 8- NIR	0,758-0,900	10
Band 8A- Vegetation Red Edge	0,855-0,875	20
Band 9- Water Vapour	0,930-0,950	60
Band 10- SWIR Cirrus	1,365-1,385	60
Band 11- SWIR	1,565-1,655	20
Band 12- SWIR	2,100-2,280	20

Sumber : Gascon *et al.*, 2017 dalam Kawamuna *et al*, 2017

formulasi MHI memanfaatkan saluran biru (band 2), hijau (band 3), merah (band 4), infra merah dekat (band 8) dan infra merah gelombang pendek (band 11). Saluran-saluran tersebut sensitif terhadap kandungan klorofil daun tanaman yang merupakan indikator penyebaran vegetasi.

Pengambilan Data Lapangan

Survey lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur komunitas hutan mangrove. Identifikasi jenis dan perhitungan jumlah tegakan dilakukan di 10 transek yang terdiri dari 3 plot pengamatan dengan ukuran masing-masing 10 x 10 meter. Lokasi transek dipilih di area yang dekat dengan perairan (5-10 meter dari garis pantai) berdasarkan keterwakilan dan keterjangkauan (Gambar 1). Plot pengamatan dibuat tegak lurus garis pantai kearah darat dengan jarak masing-masing plot 10-15 meter. Selanjutnya dilakukan analisis struktur komunitas melalui perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) untuk mengetahui peranan dan dominasi spesies mangrove tertentu di lokasi penelitian. Nilai INP setiap spesies mangrove berkisar antara 0-300 yang berasal dari perhitungan kerapatan relatif (RD_i), frekuensi relatif (RF_i) dan penutupan relatif (RC_i).

Analisis Mangrove Health Index (MHI)

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*). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nurdiansah & Dharmawan (2021) nilai piksel citra Sentinel hasil kombinasi empat index vegetasi tersebut memiliki nilai korelasi yang tinggi (r = 0,831) terhadap kondisi ekologis mangrove yang ditentukan berdasarkan parameter tutupan kanopi, kepadatan sapling dan diameter vegetasi mangrove. Formula indeks vegetasi yang digunakan serta perhitungan MHI memanfaatkan citra satelit Sentinel-2B ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut ini (Dharmawan, 2021) :

$$NBR = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \dots\dots\dots (1)$$

$$GCI = \frac{NIR}{(Green-1)} \dots\dots\dots(2)$$

$$SIPI = \frac{(NIR-Blue)}{(NIR-Red)} \dots\dots\dots(3)$$

$$ARVI = \frac{(NIR-2Red+Blue)}{(NIR+2Red+Blue)} \dots\dots\dots(4)$$

$$MHI = 102,12 NBR - 4,64 GCI + 178,15 SIPI + 159,53 ARVI - 252,39 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- NIR = Band Near Infra Red (B8)
- Green = Band Hijau (B4)
- SWIR = Band Short Wave Infra Red (B11)
- Blue = Band Biru (B2)
- Red = Band Merah (B4)

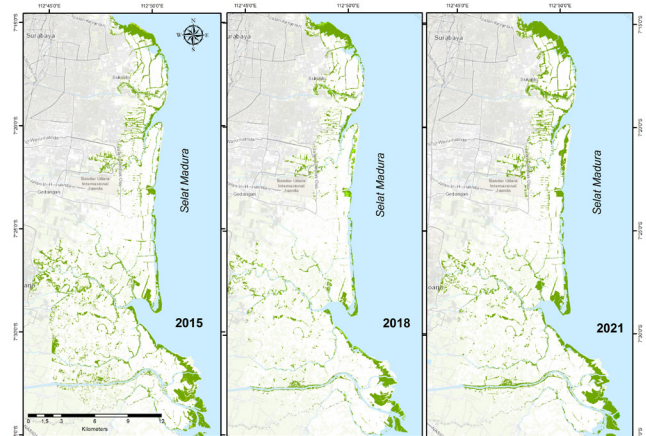
Kondisi hutan mangrove berdasarkan nilai MHI dapat dikategorikan menjadi 3 kelas yaitu buruk (MHI < 33,3%), cukup/edang (33,4 < MHI < 66,7) dan baik (MHI > 66,8). Nilai minimum MHI ditemukan pada 18% menggunakan formula asli karena jumlah yang lebih rendah tidak memiliki vegetasi lagi. Sebaliknya, nilai negatif dari MHI diinterpretasikan sebagai kolom air yang lebih dalam (Dharmawan, 2021; Nurdiansah & Dharmawan, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

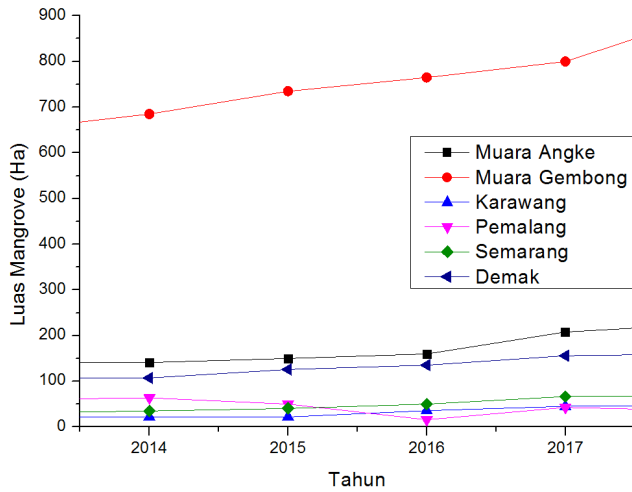
Dinamika Spasial dan Temporal Luas Hutan Mangrove

Hasil analisis citra satelit Sentinel menunjukkan terjadinya dinamika luas hutan mangrove di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo. Kecenderungan yang ditunjukkan oleh hasil analisis mengarah pada kondisi yang positif yaitu bertambahnya luasan hutan mangrove. Pada tahun 2015 luas hutan mangrove di lokasi tersebut adalah 3546,91 Ha, kemudian pada tahun 2018 luas bertambah menjadi 3717,52 Ha. Selanjutnya hasil analisis pada tahun 2021 menunjukkan pertambahan lebih dari 200 Ha, sehingga luas hutan mangrove menjadi 3956,77 Ha. Perubahan luas hutan mangrove di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo ditampilkan pada Gambar 2.

Salah satu faktor yang menimbulkan pertambahan luas hutan mangrove di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo adalah sedimentasi. Aliran sungai yang membawa endapan sedimen dari daratan dan dinamika proses pantai yang timbul akibat arus dan pasang surut berpengaruh besar terhadap laju sedimentasi di muara sungai. Keberadaan mangrove eksisting yang terus tumbuh menjamin ketersediaan benih secara



Gambar 2. Perubahan Luas Hutan Mangrove Hasil Analisis Citra Sentinel 2 di Kawasan Pesisir Surabaya dan Sidoarjo



Gambar 3. Perubahan Luas Hutan Mangrove di Beberapa Wilayah Pantai Utara Jawa

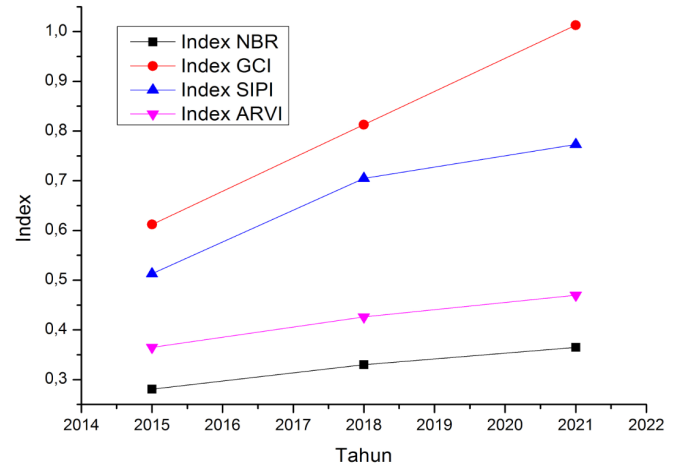
(Sumber Maulani et al., 2021; Nugroho et al., 2020; Wilujeng et al., 2022)

alami juga merupakan faktor utama bertambahnya luas hutan mangrove di lokasi penelitian. Berdasarkan analisis spasial menggunakan citra satelit Landsat dan ALOS tercatat bahwa pada tahun 2002-2009 di muara Sungai Porong Sidoarjo terjadi sedimentasi yang menyebabkan bertambahnya daratan seluas 1,07 km². Sementara itu pada tahun 2009-2013 kembali terjadi penambahan luas daratan yang mencapai hingga 11,24 km² (Fitriani & Sunarto, 2015). Jenis sedimentasi yang berlumpur dan kaya bahan organik menyebabkan vegetasi mangrove dapat tumbuh dengan baik. Hal tersebut yang menjadi pemicu bertambahnya luas hutan mangrove di lokasi studi.

Penelusuran data dari berbagai sumber menunjukkan kecenderungan penambahan luas mangrove seperti yang terjadi di Surabaya dan Sidoarjo. Contohnya antara lain dapat ditemukan di hutan mangrove Muara Angke. Menggunakan analisa citra satelit multitemporal Landsat 7 ETM dan Landsat 8, luas hutan mangrove di kawasan tersebut meningkat dari 140,95 Ha pada tahun 2013 menjadi 208,68 pada tahun 2017. Sedangkan pada tahun 2020 terdeteksi luas hutan mangrove Muara Angke Jakarta Utara menjadi 300,87 Ha (Wilujeng et al., 2022). Sementara itu, di lokasi lain yaitu Muara Gembong Bekasi terjadi pula penambahan luas hutan mangrove dari sekitar 650 Ha pada tahun 2009 menjadi 765 Ha pada tahun 2014 dan pada tahun 2019 luas hutan mangrove di lokasi tersebut meningkat menjadi 1050 Ha. Gambar 3 menunjukkan perbandingan luas hutan mangrove hasil analisis citra satelit multi temporal di beberapa lokasi di Indonesia (Maulani et al., 2021). Perluasan mangrove di lokasi lokasi tersebut menunjukkan pola yang sama yaitu terjadi di sekitar hutan mangrove yang telah ada.

Analisis Mangrove Health Index (MHI)

Perhitungan MHI pada penelitian ini menggunakan hasil analisis yang berasal dari 4 index vegetasi mangrove yaitu NBR (*Normalized Burn Ratio*); GCI (*Green Chlorophyll Index*); SIPI (*Structure Insensitive Pigment Index*) dan ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*). Analisis ke-empat index vegetasi tersebut dilakukan pada citra satelit Sentinel untuk setiap tahun pengamatan. Hasil analisis untuk setiap index vegetasi mangrove disajikan pada Tabel 3.



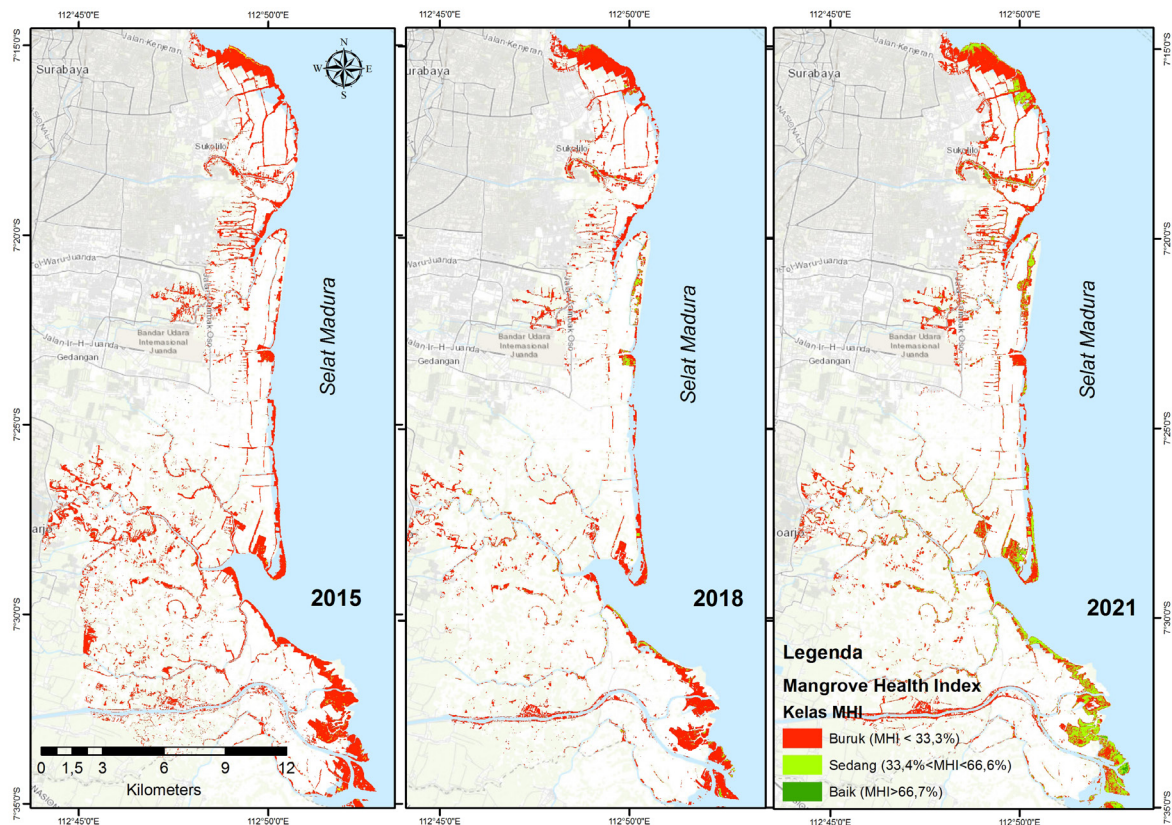
Gambar 4. Rata-rata Nilai Index Vegetasi Mangrove Hasil Analisis Citra Satelit Sentinel

Hasil analisis 4 index vegetasi menunjukkan variasi antar tahun pengamatan citra dan masing-masing index cenderung mengalami trend yang meningkat (Gambar 3). Nilai NBR mengalami sedikit peningkatan dari rata-rata $0,28 \pm 0,13$ pada tahun 2015 menjadi $0,37 \pm 0,13$ pada tahun 2021. Peningkatan yang relatif sedikit juga dapat ditemukan pada hasil analisis ARVI yaitu $0,60 \pm 0,16$ pada tahun 2015 menjadi $0,66 \pm 0,09$ pada tahun 2021. Sementara itu terjadi peningkatan yang signifikan untuk 2 index lainnya yaitu GCI yang meningkat dari $0,61 \pm 0,24$ menjadi $1,10 \pm 0,35$ dan SIPI dari $0,50 \pm 0,16$ menjadi $0,77 \pm 0,12$ pada tahun 2015 hingga 2021. Peningkatan nilai SIPI dan GCI dapat dijadikan sebagai indikator bertambahnya kerapatan kanopi mangrove (Chaube et al., 2019). Hal sejalan dengan hasil pemetaan yang menunjukkan adanya penambahan luas hutan mangrove di lokasi penelitian.

Analisis spasial MHI dilakukan dengan menggunakan kombinasi 4 index vegetasi berdasarkan persamaan yang dikembangkan oleh Nurdiansah & Dharmawan (2021). Formula perhitungan yang sama juga digunakan pada penelitian lainnya antara lain Sugiana et al (2022) dan Dharmawan (2021). Secara umum terjadi perbaikan kondisi hutan mangrove berdasarkan nilai MHI di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo. Distribusi MHI berdasarkan hasil analisis disajikan pada Gambar 5.

Tabel 3. Hasil Analisis Index Vegetasi Mangrove

No	Index Vegetasi	Tahun 2015				Tahun 2018				Tahun 2021			
		Min	Max	Mean	St Dev	Min	Max	Mean	St Dev	Min	Max	Mean	St Dev
1	<i>Normalized Burn Ratio</i> (NBR)	-0,37	0,67	0,28	0,13	-0,21	0,62	0,33	0,11	-0,39	0,68	0,37	0,13
2	<i>Green Chlorophyll Index</i> (GCI)	-1,00	2,00	0,61	0,24	-1,00	2,00	0,81	0,24	-1,00	3,00	1,10	0,35
3	<i>Structure Insensitive Pigment Index</i> (SIPI)	-0,32	1,02	0,50	0,16	-0,42	1,03	0,81	0,15	-0,52	3,32	0,77	0,12
4	<i>Atmospherically Resistant Vegetation Index</i> (ARVI)	0,03	0,60	0,37	0,11	0,09	0,63	0,43	0,09	0,06	0,66	0,47	0,09

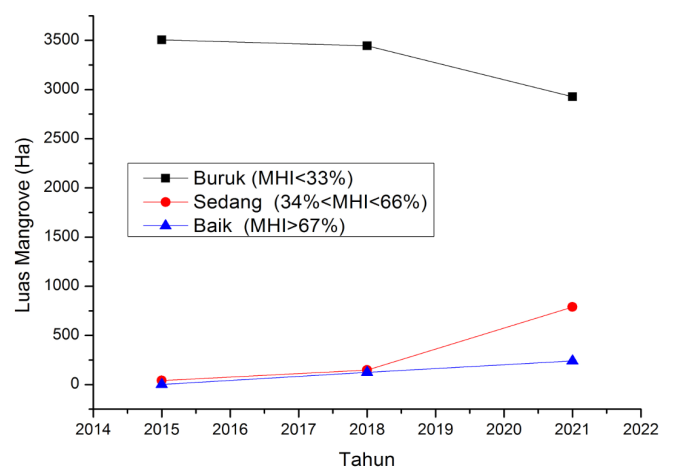


Gambar 5. Hasil Analisis MHI (*Mangrove Health Index*) Kawasan Pesisir Surabaya dan Sidoarjo berdasarkan Citra Satelit Sentinel Tahun 2015-2021

Hasil analisis pada tahun 2015 menunjukkan bahwa sebagian besar hutan mangrove di pesisir Surabaya dan Sidoarjo berada pada kondisi MHI yang buruk (Gambar 4). Kurang lebih 98% atau sekitar 3505 Ha dari total luas hutan mangrove pada tahun tersebut termasuk dalam kondisi MHI yang buruk. Sementara sisanya yaitu kurang lebih 41,51 Ha berada pada kondisi MHI sedang hingga baik. Selanjutnya berdasarkan hasil analisis pada tahun 2018, luas hutan mangrove yang berada pada kondisi MHI sedang hingga baik meningkat secara signifikan menjadi 147,93 Ha dan 123,59 Ha. Perbaikan kondisi hutan mangrove kembali meningkat tajam berdasarkan hasil analisis pada tahun 2021. Kondisi ini terjadi secara alami seiring dengan semakin tumbuh dan berkembangnya vegetasi mangrove yang tersebar di lokasi. Luas hutan mangrove yang termasuk dalam kategori MHI sedang pada periode tersebut adalah sebesar 789 Ha sedangkan kategori MHI baik mencapai 240,75 Ha. Sementara itu, luas hutan mangrove yang berada dalam kategori buruk turun hingga sekitar 15,05% atau lebih dari 500 Ha jika dibandingkan dengan kondisi periode sebelumnya. Lebih lanjut pada tahun 2021, prosentase luas hutan mangrove yang berada dalam kondisi MHI sedang hingga baik adalah sekitar 26,02% dari total luas hutan mangrove yang mencapai 3956,77 Ha (Gambar 6).

Struktur Komunitas Mangrove

Hasil pengambilan data lapang yang dilakukan di 10 transek pengamatan menemukan 7 spesies mangrove yang tersebar di sepanjang wilayah studi. Spesies mangrove tersebut adalah *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Excoecaria agallocha*. Mangrove jenis *Avicennia marina*, *Avicennia alba* dan *Bruguiera gymnorrhiza* memiliki nilai kerapatan relatif tertinggi ($RDi > 95$) dibandingkan



Gambar 6. Luas Hutan Mangrove Pesisir Surabaya dan Sidoarjo Berdasarkan MHI Tahun 2015-2021

dengan jenis mangrove lainnya. Sementara itu untuk nilaiutupan relatif (RCi) dan frekuensi relatif (RFi), jenis *Avicennia marina* dan *Avicennia alba* juga memiliki nilai yang tinggi. Sebaran jenis *Avicennia marina*, *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* cukup mendominasi dan hampir dapat ditemukan pada setiap transek pengamatan. Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan INP dapat dijelaskan bahwa mangrove dari jenis *Avicennia marina* memiliki rata-rata INP tertinggi dibandingkan dengan spesies mangrove lainnya yaitu $270,37 \pm 26,78$. Hal ini menjelaskan bahwa mangrove jenis *Avicennia marina* secara ekologis memiliki peranan dan berpengaruh dalam ekosistem hutan mangrove di pesisir Surabaya dan Sidoarjo. Tabel 2 menjelaskan hasil perhitungan INP setiap spesies pada seluruh transek pengamatan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan INP.

No Transek	Spesies Mangrove	RDi	RCi	RFi	INP
1	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	96,87	50,00	82,53	229,39
	<i>Rhizophora mucronata</i>	1,88	10,00	1,39	13,27
	<i>Sonneratia alba</i>	1,25	40,00	16,08	57,33
2	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	98,11	71,43	97,80	267,34
	<i>Rhizophora mucronata</i>	1,26	14,29	2,12	17,66
	<i>Sonneratia alba</i>	0,63	14,29	0,08	14,99
3	<i>Avicennia alba</i>	80,00	62,50	90,92	233,42
	<i>Rhizophora mucronata</i>	18,82	25,00	2,87	46,70
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	1,18	12,50	6,20	19,88
4	<i>Avicennia alba</i>	86,96	62,50	97,02	246,48
	<i>Rhizophora mucronata</i>	13,04	37,50	2,98	53,52
5	<i>Avicennia marina</i>	94,12	83,33	99,01	276,46
	<i>Rhizophora mucronata</i>	5,88	16,67	0,99	23,54
6	<i>Avicennia marina</i>	100,00	100,00	100,00	300,00
7	<i>Avicennia alba</i>	91,00	55,56	84,85	231,40
	<i>Excoecaria agallocha</i>	6,00	22,22	0,65	28,87
	<i>Rhizophora mucronata</i>	3,00	22,22	14,50	39,73
8	<i>Avicennia marina</i>	96,21	83,33	90,28	269,83
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	3,79	16,67	9,72	30,17
9	<i>Rhizophora mucronata</i>	98,96	83,33	99,91	282,20
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	1,04	16,67	0,09	17,80
10	<i>Avicennia marina</i>	87,88	55,56	91,77	235,20
	<i>Excoecaria agallocha</i>	4,55	22,22	1,88	28,65
	<i>Rhizophora mucronata</i>	7,58	22,22	6,36	36,15

Jenis mangrove dari genus *Avicennia* dikenal sebagai vegetasi pionir yang dapat tumbuh pada habitat pasang surut di daerah pantai yang terlindungi dengan arus laut yang lemah atau gelombang yang kecil. Jenis ini memiliki tipe akar nafas (*pneumatofore*) berbentuk seperti pensil atau kerucut yang menghadap keatas. Ketinggian vegetasi mangrove jenis *Avicennia* dapat mencapai hingga 30 meter dan umumnya ditemukan membentuk suatu kelompok pada habitat tertentu. Sementara itu, jenis mangrove dari genus *Rhizophora* dapat tumbuh pada pantai dengan substrat berlumpur halus, dalam dan tergenang pada saat pasang. Jenis ini memiliki sistem perakaran yang ekstensif mencuat dari batang pohon dan dahan paling bawah serta memanjang ke luar dan menuju ke permukaan tanah (Noor et al., 2007).

Persebaran jenis mangrove *Avicennia* dan *Rhizophora* sangat luas dan dapat ditemukan di seluruh Indonesia, daratan Benua Asia, Australia hingga Afrika. Sesuai dengan sebaran zonasi mangrove, kedua jenis ini menempati zona terdepan dan paling dekat dengan laut. Tipe akar pada *Avicennia* dan *Rhizophora* dapat mengikat sedimen serta mempercepat proses pembentukan tanah timbul (Halidah, 2014; Noor et al., 2007). Kedua jenis mangrove tersebut juga dikenal memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap polutan khususnya logam berat (Subiandono et al., 2013).

Analisis MHI merupakan salah satu cara untuk menentukan kondisi hutan mangrove. Penentuan MHI melalui pengamatan lapang dilakukan dengan menghitung kerapatan pohon, prosentaseutupan kanopi, keanekaragaman jenis mangrove, keberadaan anakan dan semai serta beberapa data pendukung lainnya antara lain keberadaan sampah plastik dan tipe sedimen. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu melalui pengambilan data lapang (Prasetya et al., 2017; Schaduw et al., 2021) dapat dikenali beberapa faktor yang berpengaruh terhadap klasifikasi MHI. Faktor-faktor tersebut berasal dari kondisi alam (badai, ombak besar, abrasi pantai) maupun

akibat antropogenik seperti pembalakan liar dan timbulan sampah. Keberadaan sampah plastik yang tersangkut dan menutupi akar-akar selain mengganggu dari aspek estetika ternyata juga berdampak negatif terhadap pertumbuhan regenerasi vegetasi mangrove karena menghambat penyerapan oksigen (Schaduw et al., 2021). Kondisi ini juga ditemukan di hutan mangrove pesisir Surabaya dan Sidoarjo dimana timbulan sampah plastik tampak di beberapa titik lokasi pengamatan. Meskipun begitu, dalam proses perhitungan MHI yang terdiri dari multi parameter, timbulan sampah bukan parameter yang berpengaruh besar terhadap keseluruhan nilai MHI. Perhitungan MHI melalui survey lapang menitikberatkan pada empat parameter utama yaitu tinggi hutan mangrove, tutupan kanopi, densitas anakan mangrove dan diameter batang pohon mangrove. Sementara itu kondisi lingkungan sekitar hutan mangrove seperti jenis sedimen, timbulan sampah dan pembalakan liar digunakan sebagai informasi pendukung deskripsi lokasi (Nurdiansyah & Darmawan, 2021).

Untuk mengetahui distribusi MHI secara spasial, pemanfaatan citra satelit seperti yang didemonstrasikan pada penelitian ini bisa dijadikan alternatif utama, terutama apabila ingin mengetahui perubahan secara temporal. Namun keterbatasan dalam pemanfaatan citra satelit perlu dipertimbangkan oleh para peneliti. Keterbatasan tersebut antara lain adalah rapatnya kanopi vegetasi mangrove membuat sulit sensor untuk mendeteksi keberadaan sampah yang menempel pada sistem perakaran. Selain itu, sensor satelit juga tidak dapat mendeteksi kondisi perairan dan sedimen yang sangat menentukan kualitas lingkungan dan kemampuan vegetasi mangrove untuk tumbuh. Oleh karena itu, penggunaan citra satelit dalam penentuan MHI memerlukan dukungan data lapang dan data ekologis untuk mendapatkan hasil yang lebih valid dan komprehensif. Indeks MHI yang digunakan pada penelitian ini disusun dari kombinasi indeks-indeks vegetasi yang telah diuji dengan data lapang dan memiliki nilai korelasi yang tinggi ($r = 0.83$) (Nurdiansyah & Darmawan, 2021). Meskipun begitu untuk analisis lebih mendalam, disarankan agar perhitungan MHI melalui analisis citra satelit dilengkapi dengan data lapang antara lain berupa struktur komunitas vegetasi mangrove dan kondisi lingkungan sekitarnya.

Hasil analisis MHI di pesisir Surabaya dan Sidoarjo mengungkapkan adanya perbaikan kondisi hutan mangrove secara alami. Secara gradual terlihat bahwa luasan MHI pada kelas sedang hingga baik terus meningkat. Salah satu indikator yang dapat diamati adalah semakin tinggi prosentaseutupan kanopi dan kerapatan vegetasi mangrove. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya luas hutan diiringi pula oleh perkembangan dan pertumbuhan vegetasi mangrove yang baik. Tidak adanya ancaman pembalakan liar, konversi lahan dan reklamasi pantai memungkinkan hutan mangrove tumbuh semakin luas. Jika dibandingkan dengan penelitian serupa yang dilakukan di Teluk Benoa Bali (Sugiana et al., 2022) dapat dinyatakan bahwa berdasarkan perhitungan MHI, maka kondisi hutan mangrove di pesisir Surabaya dan Sidoarjo menunjukkan trend yang lebih baik. Penurunan kualitas hutan mangrove di Teluk Benoa terpantau dari semakin bertambahnya luasan dengan kelas MHI buruk. Kondisi tersebut diperkirakan akibat fenomena *dieback*. Fenomena ini adalah kematian massal vegetasi mangrove secara gradual yang ditandai dengan menurunnya prosentaseutupan kanopi akibat gugurnya daun mangrove dalam jumlah yang besar (Nguyen et al., 2021; Sugiana et al., 2022). Tingginya sedimentasi akibat reklamasi pantai menjadi penyebab utama fenomena tersebut.

Hasil analisis MHI dapat dimanfaatkan sebagai informasi penting dalam pengelolaan dan perlindungan kawasan konservasi mangrove. Melalui analisis ini, dapat diketahui sebaran lokasi-lokasi yang berpotensi sebagai titik rehabilitasi melalui penanaman bibit mangrove. Monitoring secara spasial juga memungkinkan bagi pengelola kawasan konservasi mangrove untuk merencanakan skenario-skenario perbaikan di lokasi yang telah ditentukan untuk selanjutnya secara berkala dapat diukur kembali menggunakan pendekatan MHI. Hal ini tentu saja bermanfaat dalam monitoring keberhasilan program rehabilitasi mangrove.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa temporal citra satelit Sentinel 2, luas hutan mangrove di pesisir Surabaya dan Sidoarjo mengalami pertambahan yang signifikan dari 3546,91 Ha pada tahun 2015 menjadi 3956,77 Ha pada tahun 2021. Pertambahan luas hutan mangrove sebesar 409,86 Ha ini disebabkan oleh tingginya sedimentasi yang kaya bahan organik dan membentuk lahan untuk pertumbuhan mangrove. Seiring dengan pertambahan luas hutan mangrove, hasil penelitian ini menunjukkan terjadi perbaikan kesehatan mangrove yang dijelaskan melalui nilai MHI. Prosentase luas hutan mangrove yang berada pada kelas MHI sedang hingga baik pada tahun 2015 hanya sekitar 2%. Sedangkan pada tahun 2021 prosentase luas hutan mangrove yang berada pada kelas MHI sedang hingga baik meningkat secara signifikan hingga mencapai 26,02%. Penelitian ini juga berhasil mengidentifikasi tujuh spesies mangrove yang berada di kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo. Mangrove dari jenis *Avicennia marina* secara ekologis memiliki peranan terbesar dengan nilai INP tertinggi dibandingkan spesies mangrove lainnya.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendisain metode penelitian, melakukan pengambilan data, menganalisis citra dan membuat naskah publikasi. Penulis kedua melakukan pengambilan data dan melakukan analisis MHI. Penulis ketiga melakukan review terhadap naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- 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 classification method on sentinel-2 image data case study: Segara Anakan, Kabupaten Cilacap. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 584(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/584/1/012069>
- Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C. E., Howard, J., Herr, D., Fortes, M., Pidgeon, E., & Wagey, T. (2016). Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecology and Management*, 24(1), 3–13. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9446-y>
- Baloloy, A. B., Blanco, A. C., Raymund Rhommel, R. R. C., & Nadaoka, K. (2020). Development and application of a new Mangrove Vegetation Index (MVI) for rapid and accurate mangrove mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166(1), 95–117. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001>
- Chaube, N. R., Lele, N., Misra, A., Murthy, T. V. R., Manna, S., Hazra, S., ... & Samal, R. N. (2019). Mangrove species discrimination and health assessment using AVIRIS-NG hyperspectral data. *Curr. Sci*, 116(1136), 1136–1142.
- Dharmawan, I. W. (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), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012007>
- Fikri, A. S., Setiawan, F., Violando, W. A., Muttaqin, A., & Rahmawan, F. (2021). Analisis Penutupan Lahan menggunakan Google Earth Engine (GEE) dengan Metode Klasifikasi Terbimbing (Studi kasus: Wilayah Pesisir Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur). *Prosiding Forum*, 1(1), 89–98. <http://eprints.itn.ac.id/1418/>
- Fitriani, A. K. N., & Sunarto, S. (2015). Kajian Karakteristik Sedimen Di Muara Sungai Porong, Sidoarjo Terhadap Perkembangan Ekosistem Mangrove. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(2), 53–62.
- 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/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Giri, C. (2021). Recent advancement in mangrove forests mapping and monitoring of the world using earth observation satellite data. *Remote Sensing*, 13(4), 1–6. <https://doi.org/10.3390/rs13040563>
- Halidah. (2014). *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh Jenis Mangrove Yang Kaya Manfaat. *Info Teknis Eboni*, 11(No. 1), 37–44. http://balihutmakassar.org/wp-content/uploads/2014/11/04_Avicennia-Marina_Halidah.pdf
- Hamuna, B., & Tanjung, R. H. R. (2018). Deteksi Perubahan Luasan Mangrove Teluk Youtefa Kota Jayapura Menggunakan Citra Landsat Multitemporal. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(2), 115. <https://doi.org/10.22146/mgi.33755>
- Harefa, M. S., Nasution, Z., Mulya, M. B., & Maksum, A. (2022). Mangrove species diversity and carbon stock in silvofishery ponds in Deli Serdang District, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(2), 655–662. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230206>
- Hidayah, Z., Rosyid, D. M., & Armono, H. D. (2015). GIS application in monitoring distribution of mangrove ecosystem of Southern Madura. *Ecology, Environment and Conservation*, 21(1), 487–493.
- Kawamuna, A., Suprayogi, A., & Wijaya, A. P. (2017). Analisis Kesehatan Hutan Mangrove Berdasarkan Metode Klasifikasi NDVI pada Citra Sentinel 2. *Jurnal Geodesi*, 6(2), 277–284.
- Li, S. B., Chen, P. H., Huang, J. S., Hsueh, M. L., Hsieh, L. Y., Lee, C. L., & Lin, H. J. (2018). Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems. *Global Change Biology*, 24(9), 4195–4210. <https://doi.org/10.1111/gcb.14322>
- Maulani, A., Taufiq-SPJ, N., & Pratikto, I. (2021). Perubahan Lahan Mangrove di Pesisir Muara Gembong, Bekasi, Jawa Barat. *Journal of Marine Research*, 10(1), 55–63. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.28396>
- Maulidiyah, R., Cahyono, B. E., & Nuhroho, A. T. (2017). Analisis Kesehatan Mangrove di Probolinggo Menggunakan Data Sentinel-2A. *Natural*, 5(2), 42–47.
- Muhsoni, F. F., Sambah, A. B., Mahmudi, M., & Wiadnya, D. G. R. (2018). Comparison of Different Vegetation Indices

- for Assessing Mangrove Density Using Sentinel-2 Imagery. *International Journal of GEOMATE*, 14(45), 42–51. <https://doi.org/10.21660/2018.45.7177>
- Nguyen, H. T. T., Hardy, G. E. S. J., Van Le, T., Nguyen, H. Q., Le, D. H., Van Nguyen, T., & Dell, B. (2021). Mangrove Dieback and Leaf Disease in *Sonneratia apetala* and *Sonneratia caseolaris* in Vietnam. *Forests*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/f1209127>
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. (2007). *Guidebook for the Introduction of Mangroves in Indonesia* (Second, Issue May). Wetlands International Indonesia Programme.
- Nugroho, P. E. R., Suryanti, & Purnomo, P. W. (2020). Analysis of Changes in Mangrove Area in The North Coast of Central Java Province Indonesia. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 16(3), 208–218.
- 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). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/944/1/012017>
- Prasetya, J. D., Ambariyanto, Supriharyono, & Purwanti, F. (2017). Mangrove Health Index as Part of Sustainable Management in Mangrove Ecosystem at Karimunjawa National Marine Park Indonesia. *Advanced Science Letters*, 23(4), 3277–3282. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.9155>
- Prasetyo, A., Santoso, N., & Prasetyo, L. B. (2017). Kerusakan Ekosistem Mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Silviculture Tropika*, 8(2), 130–133. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.8.2.130-133>
- Rahadian, A., Prasetyo, B., Setiawan, Y., Dan,), & Wikantika, K. (2019). Tinjauan Historis Data dan Informasi Luas Mangrove Indonesia. *Media Konservasi*, 24(2), 163–178.
- 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>
- Roseana, B., & Putra, M. (2019). Analisis Kerapatan dan Perubahan Luas Lahan Mangrove Kabupaten Sidoarjo 2013-2017. *Jurnal Geomaritim Indonesia*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>
- Schaduw, J. N. W. (2019). Struktur Komunitas dan Persentase Penutupan Kanopi Mangrove Pulau Salawati Kabupaten Kepulauan Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Majalah Geografi Indonesia*, 33(1), 26–34. <https://doi.org/10.22146/mgi.34745>
- Schaduw, J. N. W., Bachmid, F., Reinhart, G., Lengkong, E. M., Maleke, D. C., Upara, U., Lasut, H. E., Mamesah, J., Azis, A., Tamarol, Y. L., Sulastri, H., Puteri, S. M. A., & Saladi, J. D. (2021). Mangrove Health Index and Carbon Potential of Mangrove Vegetation in Marine Tourism Area of Nusantara Dian Center Molas Village, Bunaken District, North Sulawesi Province. *Spatial : Wahana Komunikasi Dan Informasi Geografi*, 21(2), 9–15.
- 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>
- Shiau, Y. J., & Chiu, C. Y. (2020). Biogeochemical Processes of C and N in The Soil of Mangrove Forest Ecosystems. *Forests*, 11(5), 1–15. <https://doi.org/10.3390/F11050492>
- Subiandono, E., Bismark, M., Heriyanto, N. M., Guneng, J., No, B., Box, P. O., & Bogor, F. (2013). Kemampuan *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* dalam Penyerapan Polutan Logam Berat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10(1), 93–102. http://balithutmakassar.org/wp-content/uploads/2014/11/04_Avicennia-Marina_Halidah.pdf
- Sugiana, I. P., Agung, A., Andiani, E. K. A., Ayu, I. G., Pradnyandari, I., Gede, I. W., Karang, A., As-syakur, A. B. D. R., & Dharmawan, I. W. E. K. A. (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>
- Sukojo, B. M., & Arindi, Y. N. (2019). Analisa Perubahan Kerapatan Mangrove Berdasarkan Nilai Normalized Difference Vegetation Index Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Pesisir Utara Surabaya). *Geoid*, 14(2), 1. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v14i2.3874>
- Suryono, S., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, E. F. (2018). Estimasi Kandungan Biomassa dan Karbon di Hutan Mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i1.19036>
- Suwanto, A., Takarina, N. D., Koestoer, R. H., & Frimawaty, E. (2021). Diversity, Biomass, Covers, and NDVI of Restored Mangrove Forests In Karawang and Subang Coasts, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(9), 4115–4122. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220960>
- Syamsu, I. F., Nugraha, A. Z., Nugraheni, C. T., & Wahwakhi, S. (2018). Kajian Perubahan Tutupan Lahan di Ekosistem Mangrove Pantai Timur Surabaya. *Jurnal Media Konservasi*, 23(2), 122–131.
- Theresia, Boer, M., & Pratiwi, N. T. (2016). Sustainability Status of Mangrove Ecosystem Management in Sembilang National Park, Banyuasin Regency, South Sumatera Province. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(2), 703–714. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v7i2.11120>
- Wang, D., Wan, B., Qiu, P., Su, Y., Guo, Q., Wang, R., ... & Wu, X. (2018). Evaluating the Performance Of Sentinel-2, Landsat 8 And Pléiades-1 In Mapping Mangrove Extent and Species. *Remote Sensing*, 10(9), 2-27.
- Wilujeng, A. D., Firdaus, H. G., Arianti, I., Armelita, A., Studi, P., Informasi, S., Indonesia, U. P., No, J. S., Bandung, K., & Barat, J. (2022). Analisis Perubahan Luasan Vegetasi Mangrove Berdasarkan Penginderaan Jauh di Kawasan Muara Angke Indonesia *Pena Akuatika*, 21(1), 53–64.