

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KERAPATAN TAJUK MANGROVE TERHADAP KONDISI KESEHATAN HUTAN MANGROVE (STUDI KASUS: PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR)

Okta Mulya Sari, Ahmad Zakaria¹, Tika Christy Novianti², Anggun Tridawati³

Universitas Lampung; Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
Tlp. (0724) 70494/Fax. (0721) 701609

¹Jurusan Teknik Sipil FT – UNILA

^{2,3}Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika FT – UNILA

*[email korespondensi: oktamulyasari112@gmail.com](mailto:oktamulyasari112@gmail.com)

(Diterima 13 Oktober 2024, Disetujui 4 Juni 2025)

Abstrak

Hutan mangrove adalah ekosistem pesisir yang penting karena kemampuannya dalam melindungi pantai, menyimpan karbon, dan mendukung keanekaragaman hayati. Di Provinsi Lampung, khususnya Kecamatan Pasir Sakti, hutan mangrove menghadapi masalah degradasi yang mempengaruhi manfaat ekologisnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan kerapatan tajuk mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan. Metode penelitian yang digunakan untuk kerapatan tajuk mangrove adalah indeks vegetasi mRE-SR, sedangkan untuk kondisi kesehatan hutan menggunakan analisis Citra Satelit dengan metode MHI. Penelitian menggunakan data Citra Satelit Sentinel-2A MSI Level – 2A pada tahun 2019 – 2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan tajuk mangrove dan kondisi kesehatan hutan mangrove mengalami variasi dari tahun ke tahun. Uji statistik dari model linier indeks vegetasi dengan nilai kerapatan tajuk mangrove indeks vegetasi mRE – SR ($r = 0,9583$, $R^2 = 0,9183$). Uji statistik dari model regresi linier perubahan kerapatan terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove menghasilkan nilai rata-rata korelasi (r) yaitu 0,7516, dan nilai rata-rata R^2 yaitu 0,574 yang menunjukkan bahwa pengaruh kerapatan terhadap kesehatan hutan mangrove sebesar 57,4%. Perubahan kerapatan tajuk mangrove mempengaruhi perbaikan maupun penurunan kondisi kesehatan hutan mangrove.

Kata kunci: kerapatan, kesehatan, mangrove

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Hutan mangrove adalah ekosistem pantai tropis yang memiliki ciri lahan basah di zona pasang surut lingkungan pesisir laut dan tepi muara. Hutan mangrove merupakan ekosistem yang dipengaruhi oleh faktor fisik ekstrem, seperti habitat yang tergenang air bersalinitas tinggi di pantai dan sungai dengan kondisi tanah berlumpur. Ekosistem mangrove memiliki kemampuan untuk melindungi wilayah pesisir dari abrasi laut, badai, tsunami, serta menjadi salah satu ekosistem *blue carbon*. Ekosistem *blue carbon* mempunyai peran dalam upaya

mitigasi bencana alam dan adaptasi perubahan iklim global. Satu hektar hutan mangrove dapat menyimpan rata-rata 386 ton karbon [1]. Pada tahun 2021 luas mangrove eksisting seluas $\pm 3.364.080$ Ha, dan luas potensi habitat mangrove seluas ± 756.183 Ha dengan angka deforestasi hutan mangrove rata-rata seluas 19,6 ribu ha/tahun [2]. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memprediksi bahwa luas hutan mangrove di Indonesia akan mengalami penurunan berdasarkan skenario IPCC SLR 0.48m (RCP6) dan 0.63m (RCP8.5) tahun 2100 [3].

Salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki hutan mangrove yaitu Provinsi

Lampung. Provinsi Lampung terletak di sepanjang 896 km garis pantai Sumatera dari total panjang pantai sepanjang 1.105 km, dan mempunyai luas hutan mangrove ketiga terkecil di Pulau Sumatera. Hutan mangrove di pesisir Kabupaten Lampung Timur memiliki kondisi yang mengalami degradasi dan kerusakan karena berbagai sebab serta permasalahan. Kondisi tersebut mengakibatkan berkurangnya manfaat dan peranan serta fungsi dari hutan mangrove. Kecamatan Pasir Sakti merupakan satu di antara kecamatan – kecamatan Kabupaten Lampung Timur yang memiliki hutan mangrove dengan kondisi vegetasi hutan mangrove yang didominasi oleh api – api putih (*Avicennia marina*) [4].

Kecamatan Pasir Sakti saat ini berkembang dengan pesat, seiring dengan terbangunnya jalan lintas pantai timur yang menghubungkan pelabuhan bakauheni di ujung Sumatera hingga ke Provinsi Nanggroe Aceh Darusalam di ujung Sumatera yang lainnya. Perlintasan yang menjadi salah satu koridor Sumatera semakin padat dan ramai dilintasi baik menuju Jawa atau sebaliknya sehingga membuat prospek yang sangat baik dan menjanjikan baik saat ini, terlebih di saat yang akan datang [5]. Namun, hutan mangrove di wilayah Kecamatan Pasir Sakti cenderung mengalami perubahan kerapatan tajuk mangrove yang dapat mempengaruhi kondisi kesehatan hutan mangrove. Kondisi ekosistem hutan mangrove dapat dimonitoring dari beberapa parameter, yaitu keanekaragaman jenis, kerapatan vegetasi, penutupan kanopi dan biomassa [6].

Penelitian terdahulu terkait analisis perubahan kerapatan tajuk mangrove telah dilakukan menggunakan algoritma NDVI, EVI, dan mRE – SR di TAHURA Ngurah Rai Bali [7], dan di Taman Nasional Bali Barat dengan algoritma NDVI, NNIR, EVI, mRE – SR, dan NGVI [8]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya menghasilkan perhitungan yang menunjukkan bahwa mRE – SR lebih unggul dari NDVI, NNIR, EVI, NNIR, dan NGVI akan tetapi wilayah studi keduanya sama yaitu berada di Pulau Bali.

Sedangkan, untuk penelitian terdahulu tentang analisis kondisi kesehatan hutan mangrove telah dilakukan sebelumnya pada area mangrove pasca tsunami yang

dipulihkan di Pulau Biak dengan metode pemantauan kesehatan hutan mangrove menggunakan MHI yang memperoleh hasil bahwa mangrove didominasi pada tingkat sedang dengan area sedang dan sangat baik meningkat dari tahun 2015 – 2020 [9]. Analisis spasial dan temporal pada kesehatan komunitas mangrove di Pulau Liki yang menunjukkan bahwa kesehatan mangrove di Pulau Liki berada dalam kategori moderat dengan nilai MHI antara 33,33% hingga 66,57% [10]. Sebaran spasial MHI pada zona dominasi genera di Teluk Benoa yang menunjukkan bahwa hutan di Teluk Benoa berada dalam kondisi sangat baik dengan sebesar 47,44% kawasan mangrove dalam kategori kesehatan tertinggi [11]. Pemetaan kesehatan hutan mangrove menggunakan MHI yang menghasilkan informasi bahwa terjadi perubahan positif dari kondisi hutan mangrove dominansi buruk (MHI < 33%) pada 2015 menjadi sedang (33,4% < MHI < 66,67%) hingga baik (MHI < 66,68%) [12]. Penelitian terdahulu kondisi kesehatan hutan mangrove di Lampung Timur telah dilakukan menggunakan metode *Forest Health Monitoring* (FHM) yang menghasilkan informasi bahwa kondisi kesehatan hutan berada pada kategori “Sedang” [13].

Rumusan Masalah

Terdapat beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini yang diajukan sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan kerapatan tajuk mangrove menggunakan Citra Satelit Sentinel - 2A MSI dengan indeks vegetasi *Modified Red Edge – Simple Ratio* (mRE – SR)?
2. Bagaimana perubahan kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan indikator *Mangrove Health Index* (MHI)?
3. Bagaimana pengaruh perubahan kerapatan tajuk mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi terkait kerapatan tajuk mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti tahun 2019 – 2023 .

2. Memberikan informasi terkait kondisi kesehatan hutan mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti tahun 2019 – 2023.
3. Memberikan informasi pengaruh perubahan tajuk mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove.

Batasan Penelitian

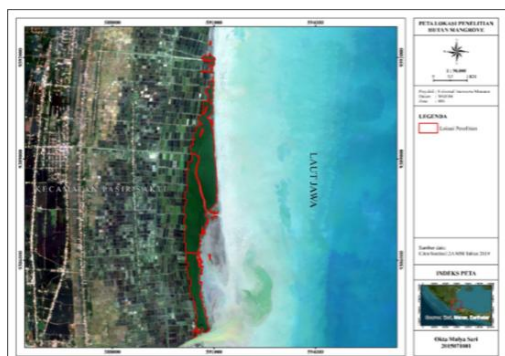
Batasan Penelitian dari tujuan penelitian ini antara lain:

1. Ruang lingkup wilayah penelitian ini yaitu di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Satelit Sentinel-2A MSI tahun 2019 – 2023 yang diperoleh dari *platform cloud Google Earth Engine (GEE)*.
3. Identifikasi mangrove pada penelitian ini menggunakan klasifikasi algoritma *random forest* untuk deliniasi mangrove yang dibantu dengan komposit *band 8, band 11, dan band 4*.
4. Transformasi indeks vegetasi kerapatan tajuk mangrove menggunakan indeks vegetasi mRE – SR. Sedangkan, analisis kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan indikator MHI.
5. Penelitian ini menggunakan uji regresi linier sederhana, uji korelasi, dan uji koefisien determinasi.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berlokasi di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Secara geografis Kecamatan Pasir Sakti terletak pada -5.55058 Lintang Selatan dan 105.77654 Bujur Timur.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat dan Bahan Penelitian

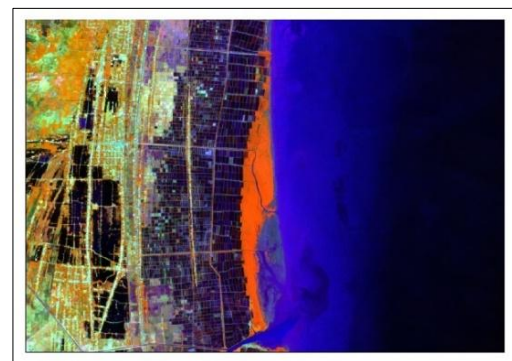
Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan perangkat keras berupa laptop yang dilengkapi dengan perangkat lunak yaitu *Google Earth Pro, Google Earth Engine (GEE), ImageJ, Microsoft Word, Microsoft Excel*, dan Pengolah Data Spasial. Data yang digunakan dalam penelitian terdiri dari data Citra Satelit Sentinel – 2A MSI Tahun 2019 – 2024, dan data administrasi Kecamatan Pasir Sakti Tahun 2024.

Pengolahan Citra

Pengolahan citra terdiri dari (1) komposit citra, (2) klasifikasi citra, (3) transformasi indeks vegetasi mRE – SR, dan (4) transformasi indeks MHI.

Komposit Band

Penyusunan komposit citra digunakan untuk mempermudah interpretasi citra secara visual. Pada penelitian ini menggunakan komposit *false colour (band 8, band 11, dan band 4)* untuk visualisasi vegetasi. Setelah penyusunan komposit *band* maka vegetasi mangrove memiliki warna jingga yang ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Komposit citra *false colour*

Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra menggunakan algoritma *random forest*. *Random forest* merupakan algoritma *machine learning* yang secara substansial dapat meningkatkan akurasi pengenalan pola dan dapat mengatasi data *training* dalam jumlah besar secara lebih efisiensi, serta efektif dalam mengurangi kesalahan klasifikasi hutan mangrove dengan tingkat yang sangat baik [14]. Seluruh proses klasifikasi dilakukan menggunakan *platform GEE* dengan pemodelan 100 pohon, dan

jumlah variabel per split diatur ke akar kuadrat dari jumlah variabel [15]. Model yang dijalankan melalui algoritma *random forest* dengan 100 pohon mampu menghasilkan performa yang baik, terutama pada data dengan kompleksitas rendah dan berjumlah sedikit [16]. Klasifikasi pada penelitian ini dibagi menjadi 2 (dua) kelas yaitu mangrove dan *non-mangrove*.

Kerapatan Tajuk Mangrove

Indeks vegetasi mRE-SR merupakan pengembangan dari indeks SR (*Simple Ratio*) yang memiliki keunggulan dalam formulanya dengan menggunakan spektrum gelombang *RED - Edge* (705 nm) [17]. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang 705 nm dan 750 nm memiliki sensitivitas yang baik pada setiap klorofil vegetasi. Berikut formula dari indeks vegetasi mRE - SR.

$$mRE - SR = \frac{\left(\frac{NIR}{Red\ Edge}\right)^{-1}}{\sqrt{\frac{NIR}{Red\ Edge} + 1}} \quad (1)$$

Dimana NIR = saluran inframerah dekat (*band 8* pada citra Sentinel-2A), *Red Edge* = saluran merah tepi (*band 5* pada citra Sentinel-2A).

Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove

MHI adalah pendekatan baru yang terdiri dari indeks NBR, GCI, SIPI, dan ARVI. Analisis MHI untuk mengetahui kondisi dan kualitas lingkungan, serta kesehatan ekosistem hutan mangrove.

$$MHI = 102,12NBR - 4,64GCI + 178,15SIPI + 159,53ARVI - 252,3 \quad (2)$$

Dimana NIR = saluran inframerah dekat (*band 8* pada citra Sentinel-2A), *GREEN* = saluran hijau (*band 3* pada citra Sentinel-2A), *SWIR* = saluran inframerah gelombang pendek (*band 11* pada citra Sentinel-2A), *BLUE* = saluran biru (*band 2* pada citra Sentinel-2A), *RED* = saluran merah (*band 4* pada citra Sentinel-2A).

Normalized Burn Ratio (NBR)

NBR merupakan indeks vegetasi yang menggunakan data reflektansi spektral inframerah-dekat dan inframerah gelombang

pendek untuk menyoroti perbedaan antara vegetasi sehat dan area terbakar [18].

$$NBR = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \quad (3)$$

Dimana NIR = saluran inframerah dekat (*band 8* pada citra Sentinel-2A), *SWIR* = saluran inframerah gelombang pendek (*band 11* pada citra Sentinel-2A).

Green Chlorophyll Index (GCI)

GCI adalah indeks vegetasi untuk mengukur kehijauan dan menentukan kepadatan vegetasi. Indeks GCI memiliki rentang lebih dinamis untuk tutupan kanopi lebat dengan memanfaatkan reflektansi hijau karena lebih responsif terhadap klorofil daun dibandingkan reflektansi merah yang lebih umum digunakan [19].

$$GCI = \left(\frac{NIR}{GREEN}\right) - 1 \quad (4)$$

Dimana NIR = saluran inframerah dekat (*band 8* pada citra Sentinel-2A), *GREEN* = saluran hijau (*band 3* pada citra Sentinel-2A)

Structural Insensitive Pigment Index (SIPI)

Indeks SIPI menggunakan pita biru dan merah yang sensitif terhadap perubahan pigmen karotenoid dan klorofil [20]. Indeks SIPI memaksimalkan sensitivitas terhadap karotenoid dan meminimalkan sensitivitas terhadap variasi struktur tajuk.

$$SIPI = \frac{(NIR-Blue)}{(NIR-Red)} \quad (5)$$

Dimana NIR = NIR = saluran inframerah dekat (*band 8* pada citra Sentinel-2A), *BLUE* = saluran biru (*band 2* pada citra Sentinel-2A), *RED* = saluran merah (*band 4* pada citra Sentinel-2A).

Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)

Indeks vegetasi ARVI merupakan pengembangan dari indeks vegetasi NDVI untuk koreksi pantulan cahaya dari tanah [21]. Indeks vegetasi ARVI dapat mengurangi pengaruh atmosfer dengan menggunakan pita biru dalam membuat koreksi atmosfer pada pita merah.

$$ARVI = \frac{(NIR-2RED+BLUE)}{(NIR+2RED+BLUE)} \quad (6)$$

Dimana NIR = saluran inframerah dekat (*band* 8 pada citra Sentinel-2A), BLUE = saluran biru (*band* 2 pada citra Sentinel-2A), RED = saluran merah (*band* 4 pada citra Sentinel-2A).

Analisis Data

Hasil pengolahan digital dari citra satelit kemudian diklasifikasikan berdasarkan ketentuan dari pada tabel 1, sedangkan tingkat kondisi kesehatan hutan ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 1. Klasifikasi Kerapatan Tajuk Mangrove

Skala	Klasifikasi
1 : 50.000	– Mangrove lebat (70 – 100) – Mangrove sedang (50 – 69) – Mangrove jarang (<50) – Non-mangrove

Tabel 2. Klasifikasi MHI

Kategori	Klasifikasi
Buruk	< 33,33%
Sedang	33,33% ≤ MHI < 66,67%
Baik	≥ 66,67%

Uji Regresi Linier

Uji regresi linier sederhana untuk mengukur ada atau tidaknya hubungan variabel bebas terhadap variabel terikat.

$$Y = a + bX \quad (7)$$

Dimana Y = subjek variabel terikat yang diprediksi, a = bilangan konstanta regresi, X = 0 (nilai Y pada saat X 0), b = koefisien arah regresi.

Penentuan jumlah pengambilan sampel pada uji regresi menggunakan rumus slovin, yaitu sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N.e^2} \quad (8)$$

Dimana n = ukuran sampel minimum, N = ukuran populasi, e = *margin of error*.

Dalam penelitian ini populasi adalah jumlah koordinat hasil *intersect point* dari data *point* MHI tahun 2019 – 2023 dengan batas toleransi (*margin of error*) 0,05.

Adapun perhitungannya, yaitu sebagai berikut:

$$n = \frac{21385}{1 + 21385.(0,05)^2} = 392,65$$

Uji Korelasi

Uji korelasi untuk menilai hubungan antara nilai piksel/spektral vegetasi hasil transformasi indeks vegetasi dengan kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan indikator MHI, dan mengidentifikasi arah hubungan kedua variabel. Uji korelasi dalam penelitian ini menggunakan koefisien korelasi pearson dengan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}} \quad (9)$$

Dimana n = jumlah pasangan data X_i dan Y_i , $\sum_{i=1}^n X_i$ = total jumlah variabel X, $\sum_{i=1}^n Y_i$ = total jumlah variabel Y, $\sum_{i=1}^n X_i^2$ = kuadrat dari total jumlah variabel X, $\sum_{i=1}^n Y_i^2$ = kuadrat dari total jumlah variabel Y, $\sum_{i=1}^n X_i Y_i$ = hasil perkalian dari total jumlah variabel X dan variabel Y.

Uji Koefisien Determinasi

Uji koefisien determinasi (R^2) untuk mengukur seberapa jauh kemampuan variabel bebas X dalam menerangkan variasi variabel terikat Y yang nilainya berkisar antar 0 – 1. Nilai R^2 yang kecil atau mendekati nol menunjukkan kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan variasi terikat sangat terbatas. Sebaliknya, nilai yang tinggi atau mendekati satu menunjukkan variabel bebas dapat memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi – variabel terikat.

$$R^2 = \frac{((n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y))^2}{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)} \quad (10)$$

Dimana x = nilai indeks vegetasi (variabel bebas), y = nilai kerapatan tajuk mangrove (variabel terikat).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 3 terjadi fluktuasi dalam perubahan kerapatan tajuk hutan mangrove dari tahun 2019 – 2023. Pada kelas

“Lebat” menunjukkan fluktuasi dengan luas tertinggi pada tahun 2020 sebesar 224,441 Ha dan terendah pada tahun 2021 sebesar 136,464 Ha. Luas kerapatan hutan mangrove menunjukkan variasi antar tahun dalam berbagai kelas. Pada tahun 2019 – 2020 kelas “Non-vegetasi” terdapat peningkatan dari 0,009 Ha menjadi 0,251 Ha yang selanjutnya mengalami penurunan kembali pada tahun 2022 – 2023. Kelas “Jarang” menunjukkan pertumbuhan dengan luas tertinggi yaitu sebesar 89,184 Ha pada tahun 2021, setelah mengalami peningkatan dari 38,436 Ha pada tahun 2019, kemudian stabil di sekitar 70 Ha pada tahun 2022 dan 2023. Selanjutnya, kelas “Sedang” mengalami fluktuasi dengan luas tertinggi sebesar 205,506 Ha pada tahun 2021

yang selanjutnya mengalami penurunan menjadi 169,637 Ha pada tahun 2023. Pada tahun 2020, kelas “Lebat” mencatat luas tertinggi yaitu sebesar 224,441 Ha, namun mengalami penurunan kembali hingga 188,020 Ha pada tahun 2023. Secara keseluruhan, meskipun terdapat fluktuasi dalam luas hutan mangrove di berbagai kelas. Pada tahun 2023 menunjukkan stabilitas dan sedikit perbaikan di kelas “Jarang” dan “Lebat.” Namun, penurunan yang terjadi pada kelas “Sedang” perlu menjadi perhatian lebih lanjut untuk mengetahui penyebabnya yang dapat diakibatkan oleh berkurangnya kerapatan hutan mangrove ataupun peningkatan kerapatan dalam kelas “Lebat.”

Tabel 3. Hasil Luasan Kerapatan Tajuk Mangrove

Kelas	Luas (Ha)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Non-vegetasi	0,009	0,251		0,055	0,029
Jarang	38,436	86,141	89,184	70,053	70,771
Sedang	146,570	153,564	205,506	174,216	169,637
Rapat	205,731	224,441	136,464	200,086	188,020
Total	390,746	464,397	431,154	444,41	428,457

Berdasarkan pada tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan perubahan luasan kerapatan tajuk mangrove pada tahun 2019 – 2020 mengalami penambahan luas mangrove pada semua kelas kerapatan dengan peningkatan terbesar pada kelas “Jarang” yaitu 47,705 Ha. Pada tahun 2020 – 2021 hutan mangrove terjadi peningkatan terbesar kelas “Sedang” sebesar 51,942 Ha, namun diikuti dengan degradasi terbesar pada kelas “Lebat” yaitu 87,977 Ha yang terjadi dalam kurun 5 (lima) tahun pengamatan. Pada tahun 2021 – 2022

hutan mangrove kembali mengalami degradasi pada kelas “Jarang” dan “Sedang” yang dapat mengindikasikan adanya degradasi hutan mangrove, tetapi terdapat peningkatan kerapatan pada kelas “Lebat” yaitu sebesar 63,622 Ha. Pada tahun 2022 – 2023 hutan mangrove mengalami degradasi kembali dengan adanya penurunan kerapatan pada kelas “Non-vegetasi”, “Sedang”, dan “Lebat”, meskipun adanya peningkatan pada kelas “Jarang” yaitu 0,718 Ha.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Perubahan Luasan Kerapatan Tajuk Mangrove

Kelas	Perubahan Luas Mangrove (Ha)								
	2019-2020		2020-2021		2021-2022		2022-2023		
	+	-	+	-	+	-	+	-	
Non-vegetasi	0,242			0,251	0,055				0,026
Jarang	47,705		3,043			19,131	0,718		
Sedang	6,994		51,942			31,29			4,579
Lebat	18,71			87,977	63,622				12,066
Jumlah	73,651		54,985	88,228	63,677	50,421	0,718		16,671
Perubahan	73,651		-33,243		13,256		-15,953		

Dimana *Plus* (+) = Luas bertambah, *Minus* (-) = Luas berkurang

Berdasarkan tabel 5 luas kondisi kesehatan hutan mangrove berdasarkan kategori dari tahun 2019 – 2023 berubah setiap tahunnya dengan total luas terbesar berada pada tahun 2020 yaitu 449,393 Ha. Luas hutan pada kategori “Buruk” bervariasi, pada tahun 2019 dan tahun 2023 memiliki luas yang kecil, masing – masing 23,353 Ha dan 23,858 Ha. Sedangkan, tahun 2022 mencatat luas terbesar dari kategori “Buruk” yaitu 60,077 Ha yang menunjukkan kondisi kesehatan hutan mangrove mengalami penurunan tertinggi dibandingkan dengan tahun – tahun lainnya. Pada tahun 2022 hutan mangrove dalam kategori “Sedang” berada

pada angka tertinggi yaitu 161,323 Ha, namun pada tahun 2023 hutan mangrove kategori “Sedang” mengalami penurunan menjadi 110,469 Ha. Pada tahun 2021 hutan mangrove dengan kategori “Baik” memiliki luas terbesar yaitu 280,863 Ha, sementara tahun 2022 mengalami penurunan menjadi 149,117 Ha. Namun, tahun 2023 menunjukkan pemulihan dengan luas terbesar dalam kategori “Baik” yang mencapai 293,743 Ha. Secara keseluruhan, meskipun ada perubahan dalam kondisi kesehatan hutan setiap tahun, namun terdapat perbaikan pada tahun 2023.

Tabel 5. Hasil Luasan Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove

Kategori	Luas (Ha)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Buruk	23,353	47,588	26,072	60,077	23,858
Sedang	105,323	146,338	120,932	161,323	110,469
Baik	253,782	255,468	280,863	149,117	293,743
Total	382,458	449,394	427,867	370,517	428,07

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan bahwa hutan mangrove pada tahun 2019 – 2020 mengalami penambahan luas mangrove pada semua kategori kondisi kesehatan dengan peningkatan terbesar pada kategori “Sedang” yang mengalami peningkatan sebesar 41,015 Ha. Pada tahun 2020 – 2021 terjadi degradasi kategori “Buruk” dan “Sedang” yang diiringi dengan peningkatan luas kategori “Baik” sebesar 25,395 Ha. Pada tahun 2021 – 2022 hutan mangrove

mengalami peningkatan dalam kategori “Buruk” dan “Sedang”, namun juga terjadi degradasi kategori “Baik” yaitu sebesar 131,746 Ha. Pada tahun 2022 – 2023 hutan mangrove mengalami penurunan kembali pada kategori “Buruk” dan “Sedang”, tetapi penurunan tersebut juga dapat mengindikasikan perubahan kondisi kesehatan hutan menjadi kategori “Baik” karena terjadi peningkatan sebesar 144,625 Ha.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Perubahan Luasan Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove

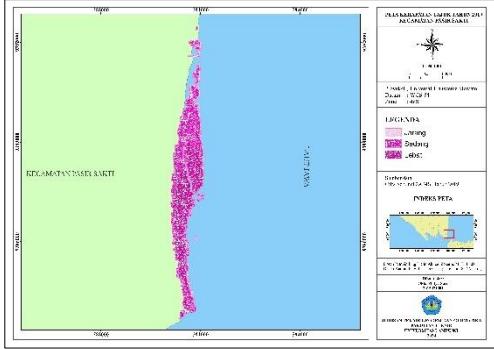
Kategori	Perubahan Luas Hutan Mangrove (Ha)							
	2019-2020		2020-2021		2021-2022		2022-2023	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Buruk	24,234		21,515		34,004			36,219
Sedang	41,015		25,405		40,391			50,854
Baik	1,686		25,395			131,746	144,625	
Jumlah	66,935		25,395	46,92	74,395	131,746	144,625	87,073
Perubahan	66,935		-21,525		-57,351		57,552	

Dimana *Plus* (+) = Luas bertambah, *Minus* (-) = Luas berkurang

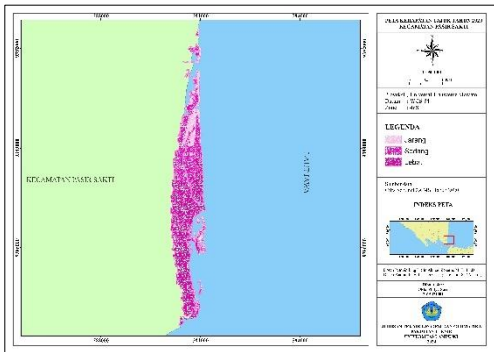
Pemetaan Kerapatan Tajuk Mangrove

Pada penelitian ini diperoleh peta kerapatan tajuk mangrove dengan 3 (tiga)

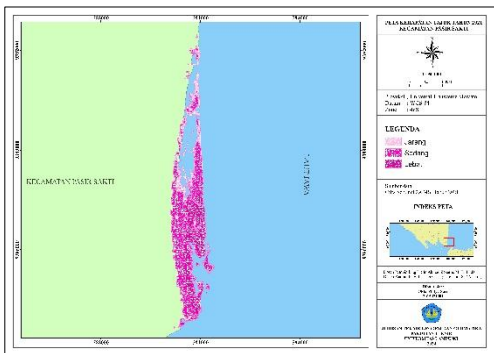
kelas kerapatan, yaitu mangrove kelas “Jarang”, “Sedang”, dan “Rapat” pada tahun 2019 – 2023 yang ditampilkan pada gambar 19 – 23.



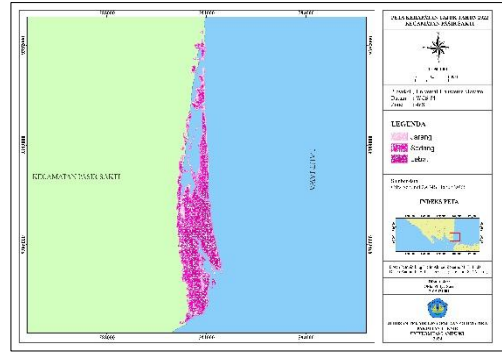
Gambar 3. Peta kerapatan tajuk tahun 2019



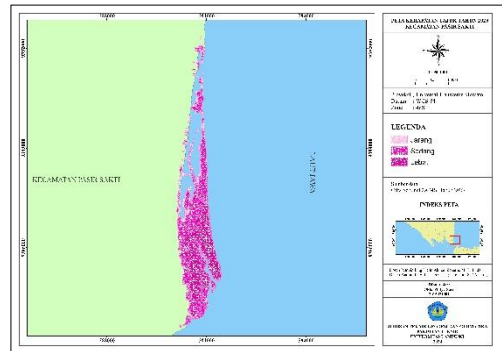
Gambar 4. Peta kerapatan tajuk tahun 2020



Gambar 5. Peta kerapatan tajuk tahun 2021



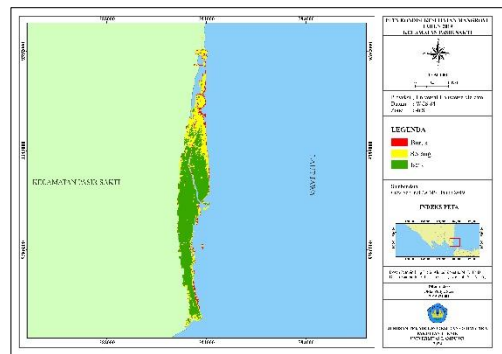
Gambar 6. Peta kerapatan tajuk tahun 2022



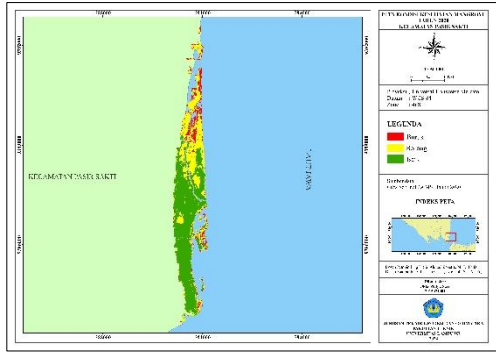
Gambar 7. Peta kerapatan tajuk tahun 2023

Pemetaan Kondisi Kesehatan Mangrove

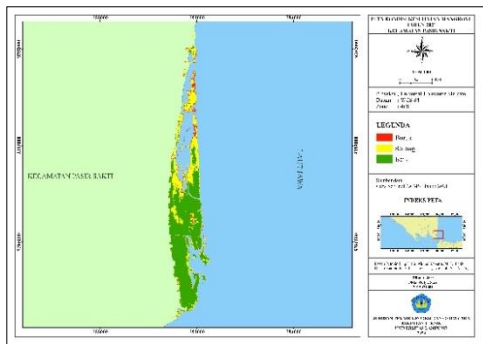
Penelitian ini memperoleh peta kondisi kesehatan mangrove dengan 3 (tiga) kategori, yaitu “Buruk”, “Sedang”, dan “Baik” pada tahun 2019 – 2023 yang ditampilkan pada gambar 8 – 12.



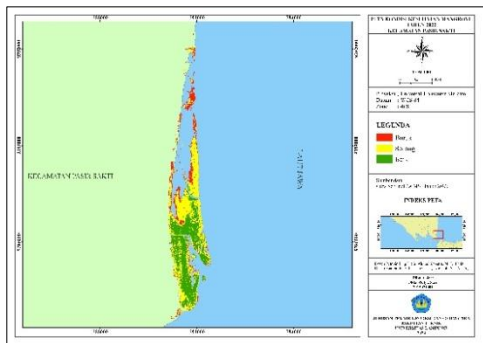
Gambar 8. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2019



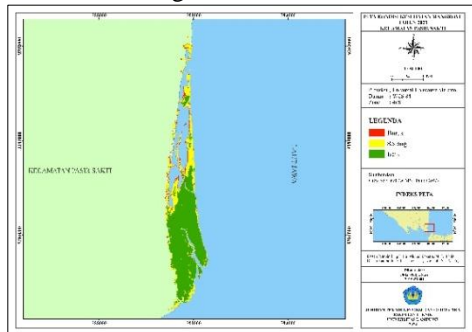
Gambar 9. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2020



Gambar 10. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2021



Gambar 11. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2022



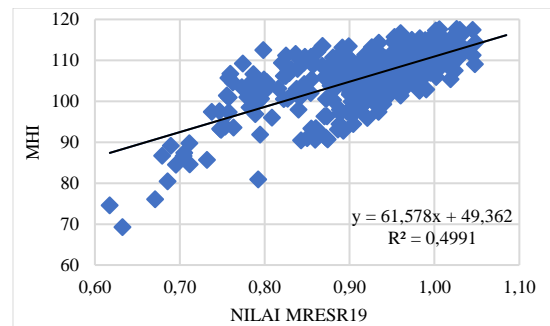
Gambar 12. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2023

Analisis Regresi

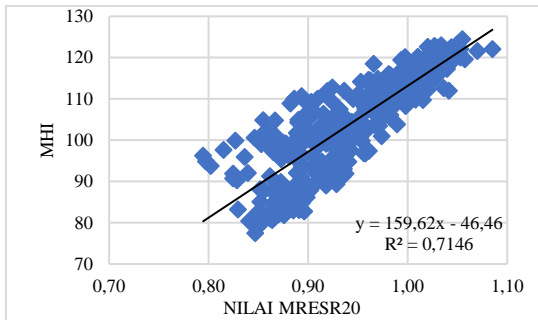
Berdasarkan tabel 7 terdapat fluktuasi dalam hubungan antara x dan y dari tahun ke tahun. Pada tahun 2020 dan 2023 menunjukkan model yang sangat baik dengan R² di atas 0,71 dan tahun 2021 memiliki model dengan nilai terendah yaitu 0,34. Sedangkan, untuk koefisien tertinggi berada pada tahun 2022 yang menunjukkan pengaruh dari variabel independen x terhadap y. Hasil uji statistik dari model linier menunjukkan nilai rata-rata korelasi (r) yaitu 0,7516, dan nilai rata-rata R² yaitu 0,574.

Tabel 7. Hasil Uji Model Regresi Linier Kerapatan Tajuk Terhadap MHI

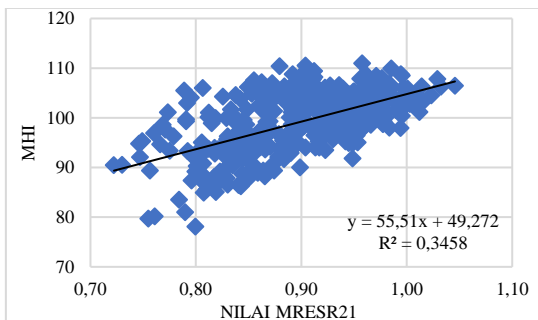
Tahun	Regresi Linier	r	R ²
2019	$y = 61,578x + 49,362$	0,7064	0,4991
2020	$y = 159,62x - 46,46$	0,8453	0,7146
2021	$y = 55,51x + 49,272$	0,5880	0,3458
2022	$y = 297,3x - 138,22$	0,7733	0,5981
2023	$y = 128,31x + 8,3544$	0,8454	0,7147
Mean		0,7516	0,5744



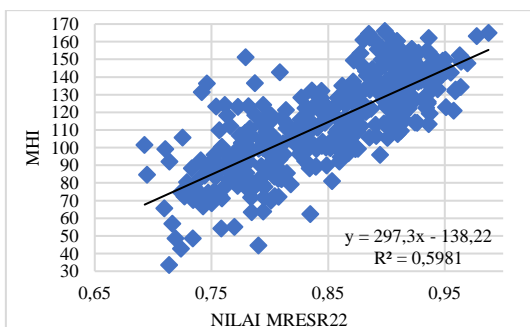
Gambar 13. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2019



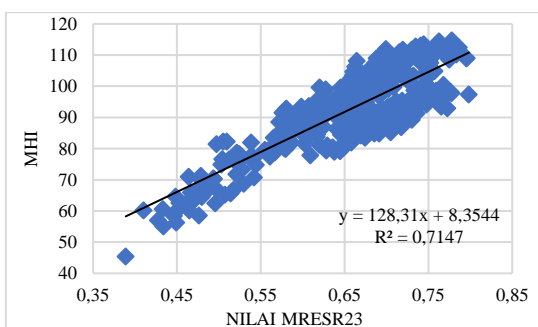
Gambar 14. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2020



Gambar 15. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2021



Gambar 16. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2022



Gambar 17. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2023

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Terjadi fluktuasi dalam perubahan kerapatan tajuk hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti dari tahun 2019 – 2023. Pada kelas “Rapat” menunjukkan fluktuasi dengan luas tertinggi pada tahun 2020 sebesar 224,441 Ha dan terendah pada tahun 2021 sebesar 136,464 Ha. Luas kerapatan hutan mangrove menunjukkan variasi antar tahun dalam berbagai kelas. Pada tahun 2019 – 2020 kelas "Non-vegetasi" terdapat peningkatan dari 0,009 Ha menjadi 0,251 Ha yang selanjutnya mengalami penurunan kembali pada tahun 2022 – 2023. Kelas "Jarang" menunjukkan pertumbuhan dengan luas tertinggi yaitu sebesar 89,184 Ha pada tahun 2021, setelah mengalami peningkatan dari 38,436 Ha pada tahun 2019, kemudian stabil di sekitar 70 Ha pada tahun 2022 dan 2023. Selanjutnya, kelas "Sedang" mengalami fluktuasi dengan luas tertinggi sebesar 205,506 Ha pada tahun 2021 yang selanjutnya mengalami penurunan menjadi 169,637 Ha pada tahun 2023. Pada tahun 2020, kelas "Rapat" mencatat luas tertinggi yaitu sebesar 224,441 Ha, namun mengalami penurunan kembali hingga 188,020 Ha pada tahun 2023. Secara keseluruhan, meskipun terdapat fluktuasi dalam luas hutan mangrove di berbagai kelas. Pada tahun 2023 menunjukkan stabilitas dan sedikit perbaikan di kelas "Jarang" dan "Rapat." Namun, penurunan yang terjadi pada kelas "Sedang" perlu menjadi perhatian lebih lanjut untuk mengetahui penyebabnya yang dapat diakibatkan oleh berkurangnya kerapatan hutan mangrove ataupun peningkatan kerapatan dalam kelas “Lebat.”
2. Perubahan kondisi kesehatan hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti berdasarkan kategori dari tahun 2019 – 2023 terjadi secara fluktuatif. Luas kondisi kesehatan hutan mangrove berdasarkan kategori dari tahun 2019 – 2023 berubah setiap tahunnya dengan total luas terbesar berada pada tahun 2020 yaitu 449,393 Ha. Luas hutan pada kategori “Buruk” bervariasi, pada tahun 2019 dan tahun 2023 memiliki luas yang

- kecil, masing – masing 23,353 Ha dan 23,858 Ha. Sedangkan, tahun 2022 mencatat luas terbesar dari kategori “Buruk” yaitu 60,077 Ha yang menunjukkan kondisi kesehatan hutan mangrove mengalami penurunan tertinggi dibandingkan dengan tahun – tahun lainnya. Pada tahun 2022 hutan mangrove dalam kategori “Sedang” berada pada angka tertinggi yaitu 161,323 Ha, namun pada tahun 2023 hutan mangrove kategori “Sedang” mengalami penurunan menjadi 110,469 Ha. Pada tahun 2021 hutan mangrove dengan kategori “Baik” memiliki luas terbesar yaitu 280,863 Ha, sementara tahun 2022 mengalami penurunan menjadi 149,117 Ha. Namun, tahun 2023 menunjukkan pemulihan dengan luas terbesar dalam kategori “Baik” yang mencapai 293,743 Ha. Secara keseluruhan, meskipun ada perubahan dalam kondisi kesehatan hutan setiap tahun, namun terdapat perbaikan pada tahun 2023.
3. Berdasarkan hasil uji statistik dari model regresi linier menunjukkan nilai rata-rata korelasi (r) yaitu 0,7516 yang menunjukkan adanya hubungan positif kuat antara kedua variabel. Sedangkan, nilai rata-rata R^2 yaitu 0,574 yang mengindikasikan bahwa sebesar 57,4% variasi dalam kondisi kesehatan hutan mangrove dapat dijelaskan oleh perubahan kerapatan tajuk mangrove, tetapi 42,6% variasi lainnya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak termasuk dalam penelitian.
- DAFTAR PUSTAKA**
- 1 IPCC. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Wetlands. Hiraishi T, Krug T, Tanabe K, Srivastava N, Jamsranjay B, Fukuda M, dkk., editor. Switzerland: The Intergovernmental Panel on Climate Change; 2014.
 - 2 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Rencana Operasional Indonesia’s FOLU Net Sink 2030. 2022.
 - 3 Lovelock CE, Cahoon DR, Friess DA, Guntenspergen GR, Krauss KW, Reef R, dkk. The Vulnerability of Indo-Pacific Mangrove Forests to Sea-Level Rise. *Nature*. 22 Oktober 2015;526(7574):559–63.
 - 4 Sari RN, Safe’i R, Iswandaru D. Biodiversitas Fauna Sebagai Salah Satu Indikator Kesehatan Hutan Mangrove Fauna. *PERENNIAL*. 31 Oktober 2019;15(2):62.
 - 5 Sugeng PH, Dewi BS, Wicaksono MD. Mangrove Pesisir Lampung Timur Upaya Rehabilitasi dan Peran Serta Masyarakat. Cetakan Pertama. Yogyakarta: Plantaxia; 2015.
 - 6 Suwanto A, Takarina ND, Koestoer RH, Frimawaty E. Diversity, biomass, covers, and ndvi of restored mangrove forests in karawang and subang coasts, west java, indonesia. *Biodiversitas*. 1 September 2021;22(9):4115–22.
 - 7 Pratama IGMY, Karang IWGA, Suteja Y. Distribusi Spasial Kerapatan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Di TAHURA Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 15 Januari 2019;5(2):192.
 - 8 Alam MIF, Nuarsa IW, Puspitha NLPR. Uji Akurasi Beberapa Indeks Vegetasi Dalam Mengestimasi Kerapatan Hutan Mangrove Dengan Citra Sentinel-2A di Taman Nasional Bali Barat. *JMRT*. 2020;3:59–67.
 - 9 Wayan Eka Dharmawan I. Mangrove Health Index Distribution On The Restored Post-Tsunami Mangrove Area In Biak Island, Indonesia. Dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd; 2021.
 - 10 Nurdiansah D, Dharmawan IWE. Spatial and Temporal Analysis for Mangrove Community Healthiness In Liki Island, Papua-Indonesia. Dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd; 2021.

- 11 Sugiana IP, Andiani AAE, Pradnyandari Dewi IGAI, Astawa Karang IWG, As-Syakur AR, Dharmawan IWE. Spatial Distribution Of Mangrove Health Index On Three Genera Dominated Zones In Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*. 2022;23(7):3407–18.
- 12 Hidayah Z, Rachman HA, As-Syakur AR. Pemetaan Kondisi Hutan Mangrove di Kawasan Pesisir Selat Madura Dengan Pendekatan Mangrove Health Index Memanfaatkan Citra Satelit Sentinel-2. *Majalah Geografi Indonesia*. 2 Maret 2023;37(1):84.
- 13 Safe'i R. Tingkat Kesehatan Hutan Mangrove Dalam Hubungannya Dengan Perubahan Iklim (Studi Kasus Mangrove Pesisir Timur Kabupaten Lampung Timur). *Jurnal Hutan Tropis*. November 2021;9(3).
- 14 Purwanto AD, Wikantika K, Deliar A, Darmawan S. Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia. *Remote Sens (Basel)*. 1 Januari 2023;15(1):3.
- 15 Matarira D, Mutanga O, Naidu M. Google Earth Engine for Informal Settlement Mapping: A Random Forest Classification Using Spectral and Textural Information. *Remote Sens (Basel)*. 1 Oktober 2022;14(20):8.
- 16 Suardana AAMAP, Angraini N, Nandika MR, Aziz K, As-Syakur AR, Ulfa A, dkk. Estimation and Mapping Above-Ground Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2 Data Derived Vegetation Indices in Benoa Bay of Bali Province, Indonesia. *Forest and Society*. 1 April 2023;7(1):116–34.
- 17 Zhu Y, Liu K, Liu L, Myint SW, Wang S, Liu H, dkk. Exploring The Potential of World View-2 Red-Edge Band-Based Vegetation Indices for Estimation of Mangrove Leaf Area Index With Machine Learning Algorithms. *Remote Sens (Basel)*. 1 Oktober 2017;9(10).
- 18 Lee K, van Leeuwen WJD, Gillan JK, Falk DA. Examining the Impacts of Pre-Fire Forest Conditions on Burn Severity Using Multiple Remote Sensing Platforms. *Remote Sens (Basel)*. 1 Mei 2024;16(10).
- 19 Habibullah I, Sanjaya H, Putra ING. Utilization of the Indices to Detect and Monitor the Landcover Changes of Mangroves. Dalam: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics; 2023.
- 20 Sun P, Wahbi S, Tsonev T, Haworth M, Liu S, Centritto M. On the use of Leaf Spectral Indices to Assess Water Status and Photosynthetic Limitations in *Olea Europaea L.* During Water-Stress and Recovery. *PLoS One*. 19 Agustus 2014;9(8).
- 21 Hanif M. Bahan Pelatihan Penginderaan Jauh Tingkat Lanjut [Internet]. Edisi Revisi. Padang; 2017. Tersedia pada: <http://nasa.gov>