

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

**(Skripsi)**

**Oleh**

**OKTA MULYA SARI**

**2015071001**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSIAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2024**

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

**Oleh**

**OKTA MULYA SARI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2024**

## **ABSTRAK**

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

Oleh

**OKTA MULYA SARI**

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  $R^2$  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

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF THE EFFECT OF CHANGES IN MANGROVE CUTTING DENSITY ON MANGROVE FOREST HEALTH (CASE STUDY: PASIR SAKTI, EAST LAMPUNG DISTRICT)**

**By**

**OKTA MULYA SARI**

Mangrove forests are important coastal ecosystems because of their ability to protect beaches, store carbon and support biodiversity. In Lampung Province, especially Pasir Sakti District, mangrove forests are facing degradation problems which affect their ecological benefits. This research aims to analyze the effect of changes in mangrove canopy density on forest health conditions. The research method used for mangrove canopy density is the mRE-SR vegetation index, while for forest health conditions using Satellite Image analysis with the MHI method. The research uses Sentinel-2A MSI Level – 2A Satellite Imagery data for 2019 – 2023. The research results show that mangrove canopy density and the health condition of mangrove forests vary from year to year. Statistical test of the linear model of vegetation index with the mangrove canopy density value mRE – SR vegetation index ( $r = 0.9583$ ,  $R^2 = 0.9183$ ). The statistical test of the linear regression model of changes in density on the health condition of mangrove forests produced an average correlation value ( $r$ ) of 0.7516, and the average  $R^2$  value showed that the effect of density on mangrove forest health was 57.4%. Changes in mangrove canopy density affect the improvement or decline of the health condition of mangrove forests.

Keywords: canopy density, health, mangrove

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

Nama Mahasiswa : Okta Mulya Sari

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015071001

Program Studi : Teknik Geodesi

Fakultas : Teknik



Ir. Ahmad Zakaria, M. T., Ph.D.  
NIP. 196705141993031002

Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng  
NIP. 199211042022032008

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fauzan'.

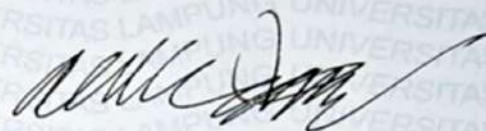
Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM  
NIP. 196410121992031002



**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

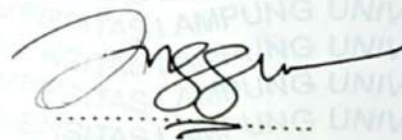
**Ketua** : Ir. Ahmad Zakaria, M. T., Ph.D.



**Sekretaris** : Tika Christy Novianti, S.T, M. Eng.



**Anggota** : Anggun Tridawati, S.T, M.T.



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** ✓  
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 25 Oktober 2024

## PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Okta Mulya Sari  
NPM : 2015071001  
Program Studi : Teknik Geodesi  
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Analisis Pengaruh Perubahan Kerapatan Tajuk Mangrove Terhadap Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove (Studi Kasus: Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur)" ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak berisi tentang karya yang telah dipublikasikan atau ditulis, kecuali sebagai kutipan atau acuan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah pada umumnya.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan saya bersedia menanggung segala akibat yang ada, apabila pernyataan ini tidak benar.

Bandar Lampung, 25 Oktober 2024



Okta Mulya Sari  
NPM. 2015071001

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir pada tanggal 02 Januari 2002 di Kotabumi, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung. Penulis adalah anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Mulyadi dan Ibu Sinariyah.

Penulis menempuh pendidikan pertama di TK Islam Ibnu Rusyd pada tahun 2007. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan di SDN 02 Tanjung Aman pada tahun 2008 – 2014. Setelah itu, penulis menempuh Pendidikan di SMPN 03 Kotabumi yang diselesaikan pada tahun 2017. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 02 Kotabumi pada tahun 2017 – 2020. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi di Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama di Universitas Lampung, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi. Penulis menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian Lampung (UKM-P) Departemen Hubungan Luar Pemberdayaan Masyarakat pada tahun 2020 – 2022. Selain itu, penulis juga aktif dalam Himpunan Mahasiswa Geodesi (Himages) sebagai Anggota Departemen Kaderisasi pada tahun 2020. Pada tahun 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bina Karya Utama, Lampung Tengah dan berhasil memperbarui Peta Batas Desa Bina Karya Utama. Setelah itu, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT PERTAMINA EP Zona 7, Jawa Barat. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.), penulis menyusun skripsi yang berjudul "Analisis Pengaruh Perubahan Kerapatan Tajuk Mangrove Terhadap Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove (Studi Kasus: Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur)" dengan bimbingan Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., dan Ibu Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng. pada tahun 2024.



## LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Karya sederhana ini penulis persembahkan untuk:

“Kepada Abi Mulyadi yang mencintaiku tanpa syarat, dan terus mendukung pilihanku bahkan saat penulis belum mengetahui impiannya yang sebenarnya serta terus meragukan dirinya sendiri. Kepada Mamak Sinariyah tersayang yang terus menyayangi penulis, dan menginginkan yang terbaik untuk penulis. Kepada kakak perempuanku yang menjadi tempat penulis bercerita, mengeluh, dan melindungi penulis selama diperantauan.”

“Kepada diri sendiri yang berhasil menyelesaikan karya ini dengan sebaik-baiknya. Terimakasih telah bertahan hingga saat ini, dan mampu tidak kehilangan dirinya sendiri. Apresiasi yang sebesar – besarnya karena berani terus melangkah di tengah ketakutan dan keraguan. Jangan pernah berhenti untuk belajar menjadi manusia yang lebih baik sehingga dapat mengalahkan diri sendiri yang kemarin.”

“Bapak Ibu Dosen Pembimbing, Penguji, Pengajar, dan Staff yang telah meluangkan waktunya, memberikan arahan, motivasi, serta dukungan kepada penulis dengan ikhlas.”

## **MOTTO**

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”  
(Q.S. Al-Baqarah Ayat 286)**

***“The true foe you face is the you of yesteryear.”***

## SANWACANA

*Alhamdulillah* *rabbi'l' alamin*, puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya berupa kesehatan, kesempatan serta pengetahuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Perubahan Kerapatan Tajuk Mangrove Terhadap Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove (Studi Kasus: Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur)”. Skripsi ini merupakan bagian dari persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir bagi mahasiswa program Studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung. Dalam proses penulisan dan penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung, sekaligus dosen pembimbing akademik.
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku Koordinator Skripsi Program Studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
4. Ibu Anggun Tridawati, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama yang memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Ir. Ahmad Zakaria., PhD selaku dosen pembimbing pertama yang memberikan arahan, dan bantuan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
6. Ibu Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng. selaku dosen Pembimbing kedua yang memberikan arahan, dan bantuan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
7. Kedua Orang tua ku tersayang, Mamak Sinariyah dan Abi Mulyadi yang secara konsisten mendoakan dan menyediakan segala kebutuhan.

8. Ayuk ku Novita Mulya Sari yang selalu mendukung, menyemangati, dan menjadi tempat penulis selalu untuk berkeluh kesah.
9. Kedua adik ku (Dewi dan Alvin) tersayang yang selalu menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Alza Abyuliani dan Hestinia Nurmita yang mendukung, menjadi tempat berkeluh kesah, menyemangati, menasehati, dan membuat perkuliahan lebih menyenangkan.
11. Tri Yulia Ningsih yang turut mendukung, menjadi tempat berkeluh kesah, dan menyemangati penulis dalam penyusunan skripsi ini.
12. Aang Ramadhan, Anas Nabila dan Winda Ardita selaku sahabat tersayang yang selalu yang mendengarkan keluh kesah, dan mendukung penulis.
13. Digdo bayu yang telah menemani penulis selama pengambilan data lapangan di Lampung Timur.
14. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung Angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dan semangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki beberapa kesalahan atau kekurangan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan lebih lanjut. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak atas perhatian dan kontribusinya.

Bandar Lampung, 25 Oktober 2024



**Okta Mulya Sari**



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>SANWACANA</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang dan Masalah .....	1
1.2. Tujuan.....	4
1.3. Manfaat.....	4
1.4. Ruang Lingkup .....	5
1.4.1. Ruang Lingkup Wilayah .....	5
1.4.2. Ruang Lingkup Materi.....	5
1.5. Hipotesis Penelitian.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Hutan Mangrove.....	7
2.2. Degradasi Hutan Mangrove.....	7
2.3. Penginderaan Jauh.....	8
2.4. <i>Google Earth Engine</i> (GEE) .....	8
2.5. Citra Satelit Sentinel - 2A MSI.....	9
2.6. Interpretasi Citra.....	10
2.6.1. Interpretasi Visual .....	10
2.6.2. Interpretasi Digital .....	11
2.6.3. Interpretasi Hibrida .....	11
2.7. Normalisasi Pengolahan Citra .....	12
2.8. Penentuan Sampel .....	12
2.9. Klasifikasi Tutupan Lahan.....	14
2.10. Indeks Vegetasi.....	15
2.10.1. <i>Enhanced Vegetation Index</i> (EVI) .....	15
2.10.2. <i>Modified Red Edge – Simple Ratio</i> (mRE – SR) .....	16
2.11. <i>Mangrove Health Index</i> (MHI).....	16
2.11.1. <i>Normalized Burn Ratio</i> (NBR) .....	17
2.11.2. <i>Green Chlorophyll Index</i> (GCI) .....	18
2.11.3. <i>Structural Insensitive Pigment Index</i> (SIPI) .....	18

2.11.4. <i>Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)</i> .....	19
2.12. <i>Hemispherical Photography</i> .....	19
2.13. Metode Pengamatan Mangrove.....	20
2.14. Pengamatan Kerapatan Tajuk Mangrove.....	22
2.15. Perubahan Tutupan Hutan .....	23
2.16. Uji Statistika.....	23
2.16.1. Uji Akurasi .....	24
2.16.2. Uji Regresi Linier Sederhana.....	25
2.16.3. Uji Korelasi.....	26
2.16.4. Uji Koefisien Determinasi .....	28
2.17. Penelitian Terdahulu.....	28
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>34</b>
3.1. Lokasi Penelitian .....	34
3.2. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak.....	35
3.2.1. Perangkat Keras .....	35
3.2.2. Perangkat Lunak .....	35
3.2.3. Data yang Digunakan.....	36
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	36
3.4. Tahap Persiapan.....	38
3.5. Tahap Pengolahan Data .....	38
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
4.1. Hasil Identifikasi Tutupan Lahan .....	53
4.2. Hasil Delineasi .....	54
4.3. Hasil Transformasi Indeks Vegetasi EVI.....	56
4.4. Hasil Transformasi Indeks Vegetasi mRE – SR .....	61
4.5. Hasil MHI.....	65
4.6. Hasil Uji Kesesuaian Indeks Vegetasi .....	71
4.7. Hasil Uji Akurasi Indeks Vegetasi.....	74
4.8. Hasil Uji Statistika Indeks Vegetasi Terhadap Persentase Kerapatan .....	75
4.9. Hasil Uji Statistika Indeks Vegetasi Terhadap MHI.....	78
4.10. Hasil Perhitungan Perubahan Luas Tutupan Hutan.....	81
<b>V. PENUTUP .....</b>	<b>93</b>
5.1. Kesimpulan.....	93
5.2. Saran.....	95
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>96</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>100</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi metode <i>hemispherical photography</i> .....	20
2. Posisi pengambilan foto .....	21
3. Hasil pemotretan dengan lensa <i>fisheye</i> secara vertikal .....	22
4. Peta Lokasi Penelitian .....	34
5. Diagram Alir Penelitian.....	37
6. Tampilan <i>script cloud masking</i> .....	39
7. Tampilan AOI penelitian .....	39
8. Tampilan proses mengenali objek .....	40
9. Tampilan pembuatan <i>training sample</i> .....	41
10. Tampilan proses <i>crosscheck</i> terhadap komposit <i>band mangrove</i> .....	41
11. Tampilan transformasi indeks vegetasi .....	42
12. <i>Reclassify</i> nilai kerapatan tajuk .....	43
13. Hasil <i>reclassify</i> .....	44
14. Menghitung luas area (ha).....	44
15. Tampilan normalisasi MHI.....	45
16. Tampilan MHI Global dan MHI hasil pengolahan penelitian.....	45
17. Tampilan mengubah <i>type image</i> .....	47
18. Tampilan <i>adjust image</i> .....	47
19. Tampilan histogram.....	48
20. Persentase tutupan tajuk: (a) jarang (b) sedang (c) rapat .....	48
21. Tampilan <i>data analysis</i> .....	50
22. Tampilan proses pemisahan data selain kategori kondisi kesehatan.....	50
23. Tampilan <i>intersect data point</i> .....	51
24. Tampilan pengambilan titik sampel uji .....	51

25. Plot titik sampel uji .....	52
26. Tampilan <i>extract multi value to points</i> .....	52
27. Dokumentasi kondisi sungai yang tercemar .....	55
28. Dokumentasi penanaman kembali mangrove .....	55
29. Kondisi hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti Tahun 2023 .....	56
30. Hasil EVI tahun 2019 .....	57
31. Hasil EVI tahun 2020 .....	57
32. Hasil EVI tahun 2021 .....	58
33. Hasil EVI tahun 2022 .....	58
34. Hasil EVI tahun 2023 .....	59
35. Hasil mRE-SR tahun 2019 .....	61
36. Hasil mRE-SR tahun 2020 .....	62
37. Hasil mRE-SR tahun 2021 .....	62
38. Hasil mRE-SR tahun 2022 .....	63
39. Hasil mRE-SR tahun 2023 .....	63
40. Hasil MHI tahun 2019 .....	66
41. Hasil MHI tahun 2020 .....	66
42. Hasil MHI tahun 2021 .....	67
43. Hasil MHI tahun 2022 .....	67
44. Hasil MHI tahun 2023 .....	68
45. Plot GCP BPDAS Way Seputih Sekampung .....	72
46. Plot sampel uji data lapangan tahun 2024 .....	73
47. Hasil regresi linier indeks EVI terhadap persentase kerapatan .....	76
48. Hasil regresi linier indeks mRE – SR terhadap persentase kerapatan .....	76
49. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2019 .....	79
50. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2020 .....	79
51. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2021 .....	80
52. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2022 .....	80
53. Hasil regresi linier indeks vegetasi terhadap MHI tahun 2023 .....	81
54. Peta kerapatan tajuk tahun 2019 .....	84
55. Peta kerapatan tajuk tahun 2020 .....	84
56. Peta kerapatan tajuk tahun 2021 .....	85



57. Peta kerapatan tajuk tahun 2022 .....	85
58. Peta kerapatan tajuk tahun 2023 .....	86
59. Tren perubahan luas kerapatan hutan mangrove tahun 2019 – 2023 .....	87
60. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2019.....	89
61. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2020.....	90
62. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2021.....	90
63. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2022.....	91
64. Peta kondisi kesehatan hutan mangrove tahun 2023.....	91
65. Tren perubahan luas kesehatan hutan mangrove tahun 2019 – 2023 .....	92

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesifikasi Citra Sentinel – 2 .....	9
2. Spesifikasi Citra Penelitian .....	10
3. Jumlah Titik Sampel Kelas Kerapatan Berdasarkan Skala Peta .....	13
4. Perhitungan Penentuan Jumlah Sampel Penelitian .....	13
5. Klasifikasi MHI.....	17
6. Klasifikasi Kerapatan Tajuk .....	22
7. Perhitungan matriks kesalahan ( <i>confusion matrix</i> ).....	25
8. Penelitian terdahulu.....	28
9. Data Penelitian .....	36
10. Hasil Identifikasi Jenis Tutupan Lahan .....	53
11. Luas delineasi mangrove .....	54
12. Nilai indeks vegetasi metode transformasi EVI.....	60
13. Klasifikasi nilai EVI tahun 2019.....	60
14. Klasifikasi nilai EVI tahun 2020.....	60
15. Klasifikasi nilai EVI tahun 2021 .....	60
16. Klasifikasi nilai EVI tahun 2022.....	60
17. Klasifikasi nilai EVI tahun 2023.....	61
18. Nilai indeks vegetasi metode transformasi mRE - SR.....	64
19. Klasifikasi nilai mRE - SR tahun 2019.....	64
20. Klasifikasi nilai mRE - SR tahun 2020 .....	65
21. Klasifikasi nilai mRE - SR tahun 2021 .....	65
22. Klasifikasi nilai mRE - SR tahun 2022 .....	65
23. Klasifikasi nilai mRE - SR tahun 2023 .....	65
24. Nilai indeks vegetasi multivariabel metode transformasi MHI .....	68

25. Klasifikasi nilai MHI tahun 2019.....	69
26. Klasifikasi nilai MHI tahun 2020.....	69
27. Klasifikasi nilai MHI tahun 2021.....	69
28. Klasifikasi nilai MHI tahun 2022.....	69
29. Klasifikasi nilai MHI tahun 2023.....	69
30. Luas kondisi kesehatan hutan .....	70
31. Kesesuaian indeks vegetasi terhadap data GCP BPDAS tahun 2023 .....	71
32. Koordinat plot tahun 2024 .....	73
33. Kesesuaian hasil metode transformasi EVI dan mRE-SR tahun 2024 .....	74
34. Hasil perhitungan matriks konfusi metode EVI tahun 2024.....	74
35. Hasil perhitungan matriks konfusi metode mRE – SR tahun 2024 .....	75
36. Hasil uji model regresi linier indeks vegetasi .....	76
37. Luas kerapatan hutan mangrove.....	77
38. Hasil Uji Model Regresi Linier Kerapatan Tajuk Terhadap MHI.....	78
39. Hasil perhitungan perubahan kerapatan tahun 2019 – 2020 .....	81
40. Hasil perhitungan perubahan kerapatan tahun 2020 – 2021 .....	82
41. Hasil perhitungan perubahan kerapatan tahun 2021 – 2022 .....	83
42. Hasil perhitungan perubahan kerapatan tahun 2022 – 2023 .....	83
43. Hasil perhitungan perubahan kondisi kesehatan tahun 2019 – 2020 .....	87
44. Hasil perhitungan perubahan kondisi kesehatan tahun 2020 – 2021 .....	88
45. Hasil perhitungan perubahan kondisi kesehatan tahun 2021 – 2022 .....	88
46. Hasil perhitungan perubahan kondisi kesehatan tahun 2022 – 2023 .....	89

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang dan Masalah

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 (IPCC, 2014). Pada tahun 2021 luas mangrove eksisting seluas ±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 (KLHK, 2022). Menurut Lovelock dkk., (2015) skenario IPCC SLR 0.48m (RCP6) dan 0.63m (RCP8.5) tahun 2100 memprediksi bahwa luas hutan mangrove di Indonesia akan mengalami penurunan.

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 (Safe'i, 2021). Kecamatan Pasir Sakti merupakan satu di antara kecamatan – kecamatan Kabupaten Lampung Timur yang memiliki hutan mangrove. Menurut Sari dkk., (2019) kondisi vegetasi hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti didominasi oleh api – api putih (*Avicennia marina*).

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 (Sugeng dkk., 2015). 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 (*diversity*), kerapatan vegetasi (*density*), penutupan kanopi dan biomassa (Suwanto dkk., 2021)

Penelitian terdahulu terkait analisis perubahan kerapatan tajuk mangrove telah dilakukan oleh Pratama dkk., (2019) di TAHURA Ngurah Rai Bali menggunakan algoritma NDVI, EVI, dan mRE – SR dan Alam dkk., (2020) di Taman Nasional Bali Barat dengan algoritma NDVI, NNIR, EVI, mRE – SR, dan NGVI. Berdasarkan hasil penelitian dari Pratama dkk., (2019) dan Alam dkk., (2020) 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. Untuk penelitian terdahulu terkait kerapatan lahan mangrove di Lampung Timur telah dilakukan oleh Pravita dkk., (2019) menggunakan algoritma NDVI dan EVI yang menghasilkan nilai akurasi keseluruhan untuk algoritma NDVI yaitu 73.68%, dan algoritma EVI sebesar 84.21%.

Sedangkan, untuk penelitian terdahulu tentang analisis kondisi kesehatan hutan mangrove telah dilakukan sebelumnya oleh Wayan (2021) 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. Nurdiansah dan Dharmawan (2021) melakukan 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%. Sugiana dkk., (2022) melakukan penelitian terkait 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. Hidayah dkk., (2023) 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 ( $MHI < 66,68\%$ ). Penelitian terdahulu kondisi kesehatan hutan mangrove di Lampung Timur telah dilakukan oleh Safe'I (2021) menggunakan metode *Forest Health Monitoring* yang menghasilkan informasi bahwa kondisi kesehatan hutan berada pada kategori “Sedang.” Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan kerapatan tajuk mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan.

Pada penelitian ini terdapat 4 (empat) rumusan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan dari indeks vegetasi EVI dan mRE – SR yang paling sesuai untuk penentuan kerapatan tajuk mangrove di Pasir Sakti, Lampung Timur?
2. Bagaimana perubahan kerapatan tajuk mangrove menggunakan Citra Satelit Sentinel - 2A MSI dengan algoritma terbaik?
3. Bagaimana perubahan kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan indikator MHI?

4. Bagaimana pengaruh perubahan kerapatan tajuk mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove?

## **1.2. Tujuan**

Adapun tujuan yang dicapai oleh peneliti dalam melakukan penelitian ini antara lain:

1. Menentukan indeks vegetasi yang paling sesuai dalam pengamatan kerapatan tajuk mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti, Lampung Timur.
2. Melakukan analisis perubahan kerapatan tajuk mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti tahun 2019 – 2023.
3. Melakukan analisis kondisi kesehatan hutan mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti tahun 2019 – 2023.
4. Melakukan analisis pengaruh kerapatan hutan mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove.

## **1.3. Manfaat**

Manfaat yang ingin diperoleh dalam melakukan penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi indeks vegetasi terbaik dalam menentukan kerapatan tajuk mangrove pada hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti.
2. Memberikan informasi terkait kerapatan tajuk mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti tahun 2019 – 2023 .
3. Memberikan informasi terkait kondisi kesehatan hutan mangrove pada Kecamatan Pasir Sakti tahun 2019 – 2023 .
4. Memberikan informasi pengaruh perubahan tajuk mangrove terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove.
5. Dapat menjadi referensi bagi lembaga pemerintah, instansi non pemerintah, maupun kebutuhan dalam penelitian dan pendidikan sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan kebijakan dalam pemantauan serta pengelolaan mangrove.

## 1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini terbagi menjadi 2 (dua), yaitu ruang lingkup wilayah dan ruang lingkup materi.

### 1.4.1. Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup wilayah penelitian ini yaitu di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

### 1.4.2. Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Satelit Sentinel - 2A MSI tahun 2019 – 2023 yang diperoleh dari *platform* GEE.
2. Identifikasi mangrove pada penelitian ini menggunakan klasifikasi algoritma *random forest* untuk delineasi mangrove yang dibantu dengan komposit *band 8*, *band 11*, dan *band 4*.
3. Transformasi indeks vegetasi kerapatan tajuk mangrove menggunakan algoritma EVI, dan mRE – SR.
4. Analisis kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan indikator MHI.
5. Penelitian ini menggunakan uji akurasi, uji kesesuaian data, uji regresi linier sederhana, uji korelasi, dan uji koefisien determinasi.

## 1.5. Hipotesis Penelitian

Penelitian oleh Pravita dkk., (2019) di Lampung Timur dengan algoritma NDVI dan EVI yang menghasilkan nilai akurasi keseluruhan untuk algoritma NDVI yaitu 73.68%, dan algoritma EVI sebesar 84.21%. Sedangkan, penelitian Pratama dkk., (2019) dan Alam dkk., (2020) di Pulau Bali



menghasilkan perhitungan yang menunjukkan bahwa mRE – SR lebih unggul dari NDVI, NNIR, EVI, NGVI. Lalu terdapat penelitian Safe'i (2021), terkait pemantauan kesehatan hutan mangrove di Lampung Timur menggunakan *Forest Health Monitoring* yang menghasilkan informasi bahwa kondisi kesehatan hutan mangrove di pesisir pantai Lampung Timur memiliki kategori sedang. Seiring dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh pemantauan kesehatan hutan mangrove dikembangkan dengan indikator MHI yang telah digunakan oleh Wayan (2021), Nurdiansah dan Dharmawan (2021), Sugiana dkk., (2022), dan Hidayah dkk., (2023).

Maka diambil hipotesis awal bahwa penerapan indeks vegetasi algoritma mRE – SR pada penelitian ini akan menghasilkan akurasi lebih tinggi daripada indeks vegetasi algoritma EVI, pemantauan kondisi kesehatan hutan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti dapat dilakukan dengan metode MHI, dan perubahan kerapatan tajuk mangrove akan berpengaruh terhadap kondisi kesehatan ekosistem mangrove di Kecamatan Pasir Sakti.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Hutan Mangrove**

Hutan mangrove merupakan hutan yang tumbuh di daerah payau pada tanah aluvial atau pertemuan air laut dan air tawar di sekitar muara sungai. Hutan mangrove adalah hutan lahan basah pada wilayah pesisir berupa daratan yang masih dipengaruhi oleh pasang surut, berlumpur, dan berair payau (BSN, 2014b). Hutan mangrove merupakan ekosistem hutan dengan faktor fisik yang ekstrem, seperti habitat tergenang air dengan salinitas tinggi di pantai dan sungai dengan kondisi tanah berlumpur (Heriyanto dan Subiandono, 2016).

### **2.2. Degradasi Hutan Mangrove**

Degradasi hutan mangrove disebabkan oleh aktivitas manusia dan faktor alam. Aktivitas manusia menyebabkan kerusakan hutan mangrove adalah perambahan hutan mangrove secara besar-besaran untuk kehidupan atau perekonomian seperti penebangan pohon, pembuatan arang, pembukaan lahan untuk pemukiman, pertanian, dan perindustrian (Paune dkk., 2021). Hutan mangrove di pesisir Kabupaten Lampung Timur mengalami degradasi dan kerusakan yang mengakibatkan berkurangnya manfaat dan peranan serta fungsi dari hutan mangrove (Safe'i, 2021).

### 2.3. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni memperoleh informasi tentang suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh oleh perangkat yang tidak bersentuhan dengan objek, area, atau fenomena yang sedang diselidiki (Lillesand dkk., 2015). Menurut Jensen, (2015) penginderaan jauh juga merupakan sebuah seni karena dalam proses interpretasi citra, proses yang ada tidak hanya mengandalkan pengetahuan yang bersifat ilmiah, tetapi dibalik semua itu diperlukan seseorang yang berpengalaman dengan latar belakang pengetahuan interpretasi yang diperoleh selama bertahun-tahun (Widyatmanti dkk., 2020). Salah satu pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk mengidentifikasi potensi sumber daya wilayah pesisir dan lautan. Menurut Yusriyyah dkk., (2022) penginderaan jauh dapat digunakan sebagai media klasifikasi mangrove, monitoring penurunan dan perkembangan mangrove pada wilayah pesisir.

### 2.4. *Google Earth Engine (GEE)*

GEE merupakan *platform* pengolahan citra satelit berbasis komputasi awan yang dapat diskalakan dan telah menerapkan prinsip *machine learning*. GEE menyediakan akses gratis ke arsip *multi-petabyte* kumpulan data geospasial yang mencakup lebih dari 40 tahun citra pengamatan bumi (EO) historis maupun saat ini. Dengan berbagai algoritma *geoprocessing built-in* dan *Earth Engine API*, pengguna dapat langsung mengakses serta memproses efisien *petabyte* data geospasial secara paralel menggunakan sumber daya komputasi *Google* yang luas. Editor kode berbasis *web (Javascript)* GEE memungkinkan pengembangan algoritma interaktif pengguna, pembuatan *prototipe* cepat, dan visualisasi hasil (Chen dkk., 2023). *Platform* ini telah digunakan dalam berbagai studi terkait ilmu bumi, seperti pemetaan tutupan lahan, pemetaan luas mangrove, pemetaan kerapatan hutan, dan pemantauan kondisi kesehatan hutan mangrove.

Penelitian ini awalnya memuat peta vektor wilayah studi sebagai AOI, lalu memanfaatkan metode `ee.ImageCollection()` *platform* GEE untuk memuat data *raster* yang sesuai dengan tanggal, rentang, dan spesifikasi awan. Lalu dilakukan *cloud mask* < 30% menggunakan pita bitmask (QA60) untuk memperoleh citra satelit dengan tutupan awan < 30%. Selanjutnya, menggunakan algoritma mosaik untuk menggabungkan koleksi gambar menjadi 1 (satu) gambar citra.

## 2.5. Citra Satelit Sentinel - 2A MSI

Sentinel – 2 adalah misi satelit observasi bumi yang memberikan kombinasi cakupan global sistematis wilayah daratan dan pesisir, serta memiliki resolusi tinggi dengan bidang pandang seluas 295 km (Gascon dkk., 2017). Sentinel – 2 diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) melalui "Proyek Copernicus" yang terdiri dari satelit Sentinel – 2A dan Sentinel – 2B. Satelit ganda memungkinkan data MSI untuk mencakup area khatulistiwa yang sama setiap 5 hari. Sentinel – 2 mencakup 13 pita spektral yang terdiri dari 4 pita yang terlihat, 6 pita inframerah – dekat, dan 2 pita inframerah gelombang pendek dengan resolusi spasial masing-masing 10m, 20m, dan 60m.

Tabel 1. Spesifikasi Citra Sentinel – 2

<i>Sentinel 2</i> <i>Band</i>	<i>Band</i>	<i>Wavelength</i>	<i>Resolution</i>
B1	<i>Aerosols</i>	60m	443,9nm (S2A) / 442,3nm (S2B)
B2	<i>Blue</i>	10m	496,6nm (S2A) / 492,1nm (S2B)
B3	<i>Green</i>	10m	560nm (S2A) / 559nm (S2B)
B4	<i>Red</i>	10m	664,5nm (S2A) / 665nm (S2B)
B5	<i>Red Edge 1</i>	20m	703,9nm (S2A) / 703,8nm (S2B)
B6	<i>Red Edge 2</i>	20m	740,2nm (S2A) / 739,1nm (S2B)
B7	<i>Red Edge 3</i>	20m	782,5nm (S2A) / 779,7nm (S2B)
B8	<i>NIR</i>	10m	835,1nm (S2A) / 833nm (S2B)
B8A	<i>Red Edge 4</i>	20m	864,8nm (S2A) / 864nm (S2B)
B9	<i>Water vapor</i>	60m	945nm (S2A) / 943,2nm (S2B)
B10	<i>SWIR - Cirrus</i>	60m	1373,5nm (S2A) / 943,2nm (S2B)
B11	<i>SWIR 1</i>	20m	1613,7nm (S2A) / 1376,9nm (S2B)
B12	<i>SWIR 2</i>	20m	2202,4nm (S2A) / 2185,7nm (S2B)

(Sumber : ESA, 2024)

Produk Level 2A memberikan gambar reflektansi permukaan yang dikoreksi secara atmosferik dari produk Level-1C terkait. Koreksi atmosfer pada gambar Sentinel-2 meliputi koreksi hamburan molekul udara (hamburan *rayleigh*), efek penyerapan, dan hamburan gas atmosfer (SUHET., 2015). Selain itu, *European Space Agency* (ESA) secara teratur melakukan kalibrasi radiometrik sehingga Citra Sentinel – 2 MSI level 2A dapat langsung digunakan untuk pemrosesan data citra. Penelitian ini menggunakan data Sentinel – 2 MSI L2A dari tahun 2019 – 2023 yang diperoleh dari *platform* GEE. Penggunaan spesifikasi Citra Sentinel – 2 dalam penelitian ini ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Citra Penelitian

<i>Sentinel – 2A</i> <i>Band</i>	<i>Band</i>	<i>Wavelength</i>	<i>Resolution</i>
B2	<i>Blue</i>	10m	496,6nm (S2A) / 492,1nm (S2B)
B3	<i>Green</i>	10m	560nm (S2A) / 559nm (S2B)
B4	<i>Red</i>	10m	664,5nm (S2A) / 665nm (S2B)
B5	<i>Red Edge 1</i>	20m	703,9nm (S2A) / 703,8nm (S2B)
B6	<i>Red Edge 2</i>	20m	740,2nm (S2A) / 739,1nm (S2B)
B7	<i>Red Edge 3</i>	20m	782,5nm (S2A) / 779,7nm (S2B)
B8	<i>NIR</i>	10m	835,1nm (S2A) / 833nm (S2B)
B8A	<i>Red Edge 4</i>	20m	864,8nm (S2A) / 864nm (S2B)
B11	<i>SWIR 1</i>	20m	1613,7nm (S2A) / 1610,4nm (S2B)
B12	<i>SWIR 2</i>	20m	2202,4nm (S2A) / 2185,7nm (S2B)

## 2.6. Interpretasi Citra

Menurut Badan Informasi Geospasial, (2014) terdapat tiga (3) cara interpretasi citra, yaitu secara visual, digital, dan hibrida.

### 2.6.1. Interpretasi Visual

Interpretasi visual (manual) dari data penginderaan jauh didasarkan pada pengenalan spasial karakteristik objek. Karakteristik objek dapat dikenali berdasarkan 9 (sembilan) unsur penafsiran, yaitu bentuk, ukuran, pola, bayangan, rona/warna, tekstur, lokasi, asosiasi dan konvergensi bukti. Interpretasi visual merupakan metode manual karena interpretasi dilakukan

oleh manusia sebagai interpreter yang hasilnya sangat dipengaruhi oleh pengetahuan dan pengalaman interpreter, sehingga dimungkinkan hasil interpreter tidak konsisten dan subjektif. Dalam proses interpretasi memerlukan penyusunan komposit warna untuk mempermudah interpretasi citra inderaja.

### **2.6.2. Interpretasi Digital**

Interpretasi digital adalah klasifikasi citra piksel yang berdasarkan nilai spektralnya, dan dapat dilakukan secara statistik. Tujuan klasifikasi digital untuk mengategorikan setiap piksel secara otomatis berdasarkan informasi spektral yang sama melalui integrasi pengenalan pola spektral, pengenalan geospasial, dan pengenalan pola temporal. Pada prinsipnya, analisis citra digital melakukan operasi matematik terhadap *Digital Number* pada beberapa komponen sensor (*band*) yang berbeda sehingga menghasilkan nilai tertentu yang menggambarkan karakteristik objek. Interpretasi ini dapat dilakukan dengan berbasis piksel dan objek.

### **2.6.3. Interpretasi Hibrida**

Interpretasi hibrida merupakan gabungan antara interpretasi visual untuk delineasi objek, dan analisis digital untuk mengklasifikasikan objek. Interpretasi hibrida memperhitungkan aspek spektral dan geospasial dari objek yang dikaji. Interpretasi hibride mengoptimalkan kelebihan kelebihan dan meminimalkan kekurangan pada metode interpretasi visual maupun secara digital.

## 2.7. Normalisasi Pengolahan Citra

Normalisasi merupakan proses mentransformasikan data menjadi linier tanpa kehilangan karakteristik data tersebut dengan mengubah rentang nilai tertentu (*min*, *max*) ke rentang nilai baru yang dapat memperbaiki kualitas visual citra sehingga dapat menganalisis informasi dengan lebih baik. Formula ditampilkan pada persamaan 1.

$$I' = \frac{(I - I_{min})}{(I_{maks} - I_{min})} \times (maks_{baru} - min_{baru}) + min_{baru} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- I' = Nilai piksel baru
- I = Nilai piksel asli
- I<sub>min</sub> = Nilai minimum citra asli
- I<sub>maks</sub> = Nilai maksimum citra asli
- Min<sub>baru</sub> = Rentang nilai minimum baru
- Maks<sub>baru</sub> = Rentang nilai maksimum baru

(Sumber: Gonzalez dan Woods, 2018)

## 2.8. Penentuan Sampel

Penentuan sampel menggunakan metode *stratified random* dan proporsional *sampling*. Metode *stratified random sampling* digunakan dalam menempatkan plot penelitian di dalam tiap strata yang memisahkan populasi ke dalam kelompok tidak tumpang tindih sebagai sub populasi (strata), kemudian dari setiap strata tersebut diambil sampel secara acak (*random sampling*) sesuai tujuan penelitian. Pengambilan jumlah sampel dilakukan secara proporsional terhadap luasan hutan mangrove yang ada. Perbandingan jumlah titik sampel yang harus diambil berdasarkan skala pemetaan ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Titik Sampel Kelas Kerapatan Berdasarkan Skala Peta

Skala	Kelas Kerapatan (Kr)	Minimal Plot	Total Sampel Minimal (TSM)
1 : 25.000	5	30	50
1 : 50.000	3	20	30
1 : 250.000	2	10	20

(Sumber : BIG, 2014)

Berdasarkan ketentuan dari Peraturan BIG Nomor 3 Tahun 2014, untuk menentukan jumlah sampel minimal dalam total luas mangrove (ha) ditunjukkan pada persamaan 2, dan penentuan jumlah sampel penelitian ditampilkan pada tabel 4.

$$A = \text{TSM} + \left( \frac{\text{luas (ha)}}{1500} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

A = Jumlah sampel minimal

TSM = Total sampel minimal

Tabel 4. Perhitungan Penentuan Jumlah Sampel Penelitian

Skala	Luas (Ha)					
	500	1.000	5.000	10.000	20.000	100.000
1 : 25.000	50	51	53	57	63	117
	30	30	32	34	38	70
1 : 50.000	30	31	33	37	43	97
	18	18	20	22	26	58
1 : 250.000	20	21	23	27	33	87
	12	12	14	16	20	52

(Sumber : BIG, 2014)

Jumlah sampel plot kerapatan tajuk minimal adalah 60% dari total sampel minimal (TSM) (BIG, 2014). Titik sample minimal pada penelitian ini sejumlah 30 titik sampel. Untuk sampel kerapatan tajuk mangrove sebanyak 18 titik, sedangkan interpretasi citra sejumlah 12 titik sampel.



## 2.9. Klasifikasi Tutupan Lahan

Menurut Badan Standardisasi Nasional, (2014a) klasifikasi tutupan lahan dikelompokkan menjadi kelas tutupan hutan (mangrove) dan kelas tutupan tidak berhutan. Klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma *random forest*. *Random forest* merupakan algoritma *machine learning* (ML) 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 (Purwanto dkk., 2023).

Algoritma *random forest* telah terbukti menjadi algoritma yang efisien dalam studi pemetaan mangrove, dan dapat digunakan sebagai pendekatan untuk memetakan tutupan lahan melalui GEE. Klasifikasi *random forest* mengukur kontribusi setiap variabel terhadap *output* klasifikasi yang sangat penting dalam penilaian setiap variabel. Seluruh proses klasifikasi dilakukan menggunakan *platform* GEE dengan pemodelan 100 pohon, dan split diatur ke akar kuadrat dari jumlah variabel (Matarira dkk., 2022). Pembangunan dan penyetulan model klasifikasi didasarkan pada kode “*ee.Classifier package*”. Klasifikasi *random forest* diawali dengan pembuatan *training area* pada jenis tutupan lahan terlebih dahulu dengan bantuan visual dari komposit *band 8*, *band 11*, dan *band 4* dan di-*crosscheck* melalui *Google Earth Pro*. *Training area* adalah sampel yang menandakan jenis suatu tutupan lahan. *Training area* digunakan untuk menentukan karakteristik statistik nilai piksel tutupan lahan pada citra *multispectral*. Informasi ini kemudian digunakan untuk membangun model yang mengategorikan seluruh gambar berdasarkan jenis tutupan lahannya.

## 2.10. Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan algoritma transformasi spektral yang diterapkan pada citra *multiband* untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi atau aspek lain yang terkait dengan kerapatan, seperti *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil, dan lain sebagainya.

### 2.10.1. *Enhanced Vegetation Index* (EVI)

Indeks EVI adalah indeks vegetasi yang dirancang untuk memperoleh sensitivitas lebih baik terhadap citra daerah subur dan lebat (Hanif, 2017). EVI dinilai lebih tahan terhadap pengaruh komposisi *aerosol* atmosfer dan pengaruh variasi warna tanah. Indeks EVI memiliki kisaran antara -1 hingga 1 yang ditunjukkan pada persamaan 3 dengan memperhitungkan pengaruh atmosfer dan kemungkinan saturasi dalam nilai NDVI (Singgalen, 2023).

$$EVI = G \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1.RED - C2.BLUE + L)} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band* 8)

RED = Panjang gelombang merah (*band* 4)

BLUE = Panjang gelombang biru (*band* 2)

G = Faktor gain (nilai 2.5)

C1 = Koefisien resistansi *aerosol band* merah (nilai ketetapan 6)

C2 = Koefisien resistansi *aerosol band* biru (nilai ketetapan 7.5)

L = *Soil – adjustment factor* (nilai 1)

(Sumber: Jensen dkk., 2012)

### 2.10.2. *Modified Red Edge – Simple Ratio (mRE – SR)*

Indeks vegetasi mRE – SR merupakan indeks yang dikembangkan dari indeks SR (*Simple Ratio*). Adapun formula dari indeks vegetasi mRE – SR, yaitu sebagai berikut:

$$mRE - SR = \frac{\left(\frac{NIR}{Red\ Edge}\right)^{-1}}{\sqrt{\frac{NIR}{Red\ Edge} + 1}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band 8*)

RED Edge = Panjang gelombang merah tepi (*band 5*)

(Sumber: Zhu dkk., 2017)

Indeks vegetasi mRE – SR ditunjukkan pada persamaan 4 yang memiliki keunggulan dalam formulanya dengan menggunakan spektrum gelombang *RED – Edge* (705 nm) sebagai modifikasi dari indeks *Simple Ratio*. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang 705 nm dan 750 nm memiliki sensitivitas yang baik pada setiap klorofil vegetasi (Pratama dkk., 2019).

### 2.11. *Mangrove Health Index (MHI)*

Analisis MHI merupakan pendekatan baru menggunakan indeks vegetasi multivariabel untuk mengetahui kondisi dan kualitas lingkungan, serta kesehatan ekosistem hutan mangrove. Menurut Nurdiansah dan Dharmawan, (2021) dalam Hidayah dkk., (2023), nilai piksel Citra Sentinel hasil kombinasi dari NBR, GCI, SIPI, dan ARVI memiliki nilai korelasi yang tinggi ( $r = 0,831$ ) terhadap kondisi ekologis mangrove. Formula analisis MHI ditunjukkan pada persamaan 5, dan untuk nilai dari analisis MHI akan diklasifikasikan sesuai dengan tabel 5.

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

Keterangan :

- NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band 8*)  
 GREEN = Panjang gelombang hijau (*band 3*)  
 SWIR = Panjang gelombang *Short Wave Infra Red* (*band 11*)  
 BLUE = Panjang gelombang biru (*band 2*)  
 RED = Panjang gelombang merah (*band 4*)

(Sumber: Wayan dan Ihya, 2020)

Tabel 5. Klasifikasi MHI

Kategori	Klasifikasi
Buruk	< 33,33%
Sedang	$33,33\% \leq MHI < 66,67\%$
Baik	$\geq 66,67\%$

(Sumber : Wayan dan Ihya, 2020)

### 2.11.1. *Normalized Burn Ratio* (NBR)

NBR menggunakan data reflektansi spektral inframerah-dekat dan inframerah gelombang pendek untuk menyoroti perbedaan antara vegetasi yang sehat dan area yang terbakar (Lee dkk., 2024). Perhitungan nilai NBR ditunjukkan pada persamaan 6 yang berkisar antara -1 hingga 1. Nilai NBR yang tinggi menunjukkan vegetasi sehat dan nilai rendah menunjukkan adanya lahan kosong dan area yang terbakar (Heidari dan Arfania, 2022).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

- NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band 8*)  
 SWIR = Panjang gelombang *Short Wave Infra Red* (*band 11*)

### 2.11.2. *Green Chlorophyll Index (GCI)*

GCI merupakan indeks vegetasi untuk mengukur kehijauan dan menentukan kepadatan vegetasi yang dihitung dengan persamaan 7. Indeks GCI memiliki rentang yang lebih dinamis untuk tutupan kanopi lebat dengan memanfaatkan reflektansi hijau karena lebih responsif terhadap klorofil daun dibandingkan reflektansi merah yang lebih umum digunakan (Habibullah dkk., 2023).

$$GCI = \left( \frac{NIR}{GREEN} \right) - 1 \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band 8*)

GREEN = Panjang gelombang hijau (*band 3*)

### 2.11.3. *Structural Insensitive Pigment Index (SIPI)*

Indeks SIPI menggunakan pita biru dan merah yang sensitif terhadap perubahan pigmen karotenoid dan klorofil (Sun dkk., 2014). Indeks SIPI memaksimalkan sensitivitas terhadap karotenoid dan meminimalkan sensitivitas terhadap variasi struktur tajuk. Formula SIPI ditunjukkan pada persamaan 8.

$$SIPI = \frac{(NIR-Blue)}{(NIR-Red)} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band 8*)

BLUE = Panjang gelombang biru (*band 2*)

RED = Panjang gelombang merah (*band 4*)

#### 2.11.4. *Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)*

Indeks vegetasi ARVI merupakan pengembangan dari indeks vegetasi NDVI untuk koreksi pantulan cahaya dari tanah Hanif (2017). Indeks vegetasi ARVI menggunakan persamaan 9 yang dapat mengurangi pengaruh atmosfer dengan menggunakan pita biru dalam membuat koreksi atmosfer pada pita merah. Nilai indeks berkisar dari -1 hingga 1 dengan nilai piksel yang lebih tinggi sesuai dengan kesehatan dan kehijauan vegetasi.

$$ARVI = \frac{(NIR - 2Red + Blue)}{(NIR + 2Red + Blue)} \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :

NIR = Panjang gelombang inframerah dekat (*band 8*)

BLUE = Panjang gelombang biru (*band 2*)

RED = Panjang gelombang merah (*band 4*)

#### 2.12. *Hemispherical Photography*

*Hemispherical photography* merupakan metode tidak langsung yang digunakan untuk mengukur transmisi cahaya. *Hemispherical photography* adalah metode fotografi untuk menghitung luasan tutupan kanopi mangrove atau tutupan kanopi hutan darat menggunakan kamera *handphone* (HP) dari bawah. Menurut Purnama dkk., (2020) metode *hemispherical photography* akan menghasilkan data yang lebih akurat dikarenakan luas wilayah yang ditangkap dengan kamera lebih spesifik sehingga menggambarkan tutupan kanopi yang sebenarnya. Analisis tutupan kanopi mangrove dilakukan dengan menghitung persentase jumlah piksel tutupan vegetasi mangrove dalam analisis gambar *binner* (Chianucci and Cutini, 2012) dalam Purnama dkk., (2020). Hasil pengambilan foto lapangan dianalisa menggunakan

*ImageJ* dengan formula persamaan 10. Nilai piksel yang dihasilkan dari pengolahan *ImageJ* kemudian dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ tutupan (cover) mangrove} = \frac{P_{255}}{\sum P} \times 100\% \dots \dots \dots (10)$$

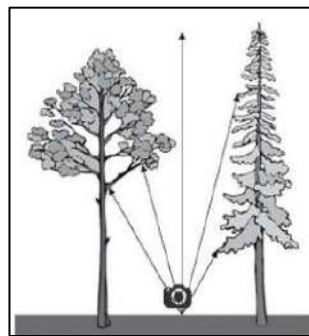
Keterangan :

$P_{255}$  = Jumlah piksel yang bernilai 255 sebagai interpretasi tutupan kanopi mangrove;

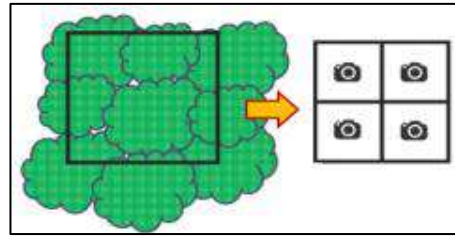
$\sum P$  = Jumlah seluruh piksel.

### 2.13. Metode Pengamatan Mangrove

Menurut Dharmawan dan Pramudji, (2017) perhitungan persentase tutupan mangrove menggunakan metode *hemispherical photography* (gambar 1). Metode *hemispherical photography* membutuhkan kamera dengan lensa *fisheye* dengan sudut pandang  $180^\circ$  pada satu titik pengambilan foto.



Gambar 1. Ilustrasi metode *hemispherical photography*  
(Sumber: Korhonen dkk., 2008; Jenning dkk., 1999 dalam Dharmawan dan Pramudji, 2017)



Gambar 2. Posisi pengambilan foto  
(Sumber: Dharmawan dan Pramudji, 2017)

Adapun teknik pelaksanaannya menurut Dharmawan dan Pramudji, (2017) sebagai berikut:

1. Setiap plot 10m x 10m dibagi menjadi 4 (empat) plot kecil yang berukuran 5m x 5m (gambar 2).
  - Mangrove dengan kanopi yang rapat, menutupi seluruh plot, kondisi masih sangat alami dan tegakan pohon yang tinggi, dilakukan pengambilan foto sebanyak 4 (empat) foto pada setiap plot.
  - Mangrove dengan kanopi yang tinggi, kondisi ada beberapa penebangan atau kondisi tutupan yang tidak sempurna menutup seluruh plot, maka dilakukan pengambilan foto sebanyak 5 (lima) foto pada setiap plot.
  - Apabila pohon rendah, atau tutupan kanopi tidak beraturan, atau banyak penebangan, maka pengambilan foto dilakukan sebanyak 9 (sembilan) kali dalam setiap plot.
2. Penempatan titik pengambilan foto disekitar pusat plot kecil; harus berada diantara satu pohon dengan pohon lainnya; serta hindarkan pemotretan tepat disamping batang satu pohon
3. Posisi kamera disejajarkan dengan tinggi dada peneliti, serta tegak lurus/menghadap lurus ke langit.
4. Dihindarkan pengambilan foto ganda pada setiap kuadran untuk mencegah kebingunan dalam analisis data.



## 2.14. Pengamatan Kerapatan Tajuk Mangrove

Tajuk merupakan seluruh bagian tanaman di atas tanah, terutama pohon, semak, atau liana yang menempel pada batang utama. Tajuk adalah bagian penyusun dari kanopi yang bertautan sehingga membentuk kesinambungan dan menjadi atap hutan. Dalam penelitian ini, pengambilan sampel pengamatan kerapatan tajuk mangrove menggunakan metode *hemispherical photography*. Pengamatan dilakukan dengan mengambil foto kerapatan mangrove secara vertikal menggunakan lensa *fish eye* pada satu titik pengambilan foto yang ditampilkan pada gambar 3, dan untuk menentukan klasifikasi kerapatan tajuk berdasarkan skala peta ditampilkan pada tabel 6.



Gambar 3. Hasil pemotretan dengan lensa *fish eye* secara vertikal

Tabel 6. Klasifikasi Kerapatan Tajuk

Skala	Klasifikasi
1 : 250.000	– Mangrove – Non-mangrove
	Penutupan Tajuk (%)
1 : 50.000	– Mangrove lebat (70 – 100) – Mangrove sedang (50 – 69) – Mangrove jarang (<50) – Non-mangrove
1 : 25.000	– Mangrove sangat lebat (>90) – Mangrove lebat (70 – 90) – Mangrove sedang (50 – 69) – Mangrove jarang (30 – 49) – Mangrove sangat jarang (<30) – Non-mangrove

(Sumber : BSN, 2011)

### 2.15. Perubahan Tutupan Hutan

Perhitungan perubahan luas dan kondisi kesehatan hutan mangrove akan dilakukan pada setiap kelas yang mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) 8033 : 2014 tentang metode penghitungan perubahan tutupan hutan berdasarkan hasil penafsiran citra penginderaan jauh optik secara visual. Perhitungan perubahan luas tutupan hutan (kerapatan dan kondisi kesehatan hutan mangrove) dari waktu awal pengamatan ( $T_0$ ) ke waktu akhir pengamatan ( $T_1$ ) menggunakan rumus persamaan 11.

$$PTH = \frac{(A_1 - A_0)}{(T_1 - T_0)} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan :

- PTH = Perubahan tutupan hutan per tahun pada periode tertentu, dinyatakan dalam luas per tahun (ha/tahun);
- $A_0$  = Luas hutan pada waktu pengamatan awal, dinyatakan dalam hektar (ha);
- $A_1$  = Luas hutan pada waktu pengamatan akhir, dinyatakan dalam hektar (ha);
- $T_0$  = Tahun pengamatan awal;
- $T_1$  = Tahun pengamatan akhir.

### 2.16. Uji Statistika

Uji statistika adalah proses analisis data yang digunakan untuk menguji perbedaan antara 2 (dua) atau lebih kelompok data signifikan. Pengujian menggunakan metode statistik yang sesuai dengan data uji. Dalam penelitian ini dilakukan uji akurasi, uji regresi, uji korelasi, dan uji determinasi.

Pada penelitian ini, uji regresi, uji korelasi, dan uji determinasi dilakukan 2 (dua) kali, yaitu sebagai berikut:

1. Pada indeks vegetasi (EVI dan mRE – SR) sebagai variabel bebas X terhadap nilai persentase kerapatan mangrove di lapangan yaitu variabel terikat Y.
2. Pada data hasil kerapatan yang sebelumnya telah di klasifikasikan dengan indeks vegetasi (variabel bebas x) terbaik terhadap hasil analisis MHI (variabel terikat y).

### 2.16.1. Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan berdasarkan perbandingan terhadap data survey (uji) lapangan. Uji akurasi untuk verifikasi kebenaran hasil klasifikasi kerapatan tajuk mangrove dengan keadaan di lapangan yang sebenarnya. Besarnya ketelitian seluruh hasil interpretasi dapat dihitung menggunakan persamaan 12.

$$A = ((\sum_{i=1}^r X_{ii})/N) \times 100\% \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan :

A = Akurasi total

$X_{ii}$  = Jumlah sampel benar

N = Total sampel

Uji akurasi dilakukan setelah survey lapangan yang menggunakan dasar acuan keakurasian hasil interpretasi minimal sebesar 70% untuk hasil interpretasi lahan maupun kerapatan tajuk (BIG, 2014). Pengujian terhadap hasil klasifikasi dilakukan untuk memperoleh data dengan tingkat ketelitian (akurasi) tertentu. Dalam melakukan uji akurasi hasil interpretasi, seluruh sampel populasi melalui proses uji terhadap data dari survey (uji) lapangan dengan menyusun matriks kesalahan (*confusion matrix*).

Uji akurasi hasil interpretasi dilakukan terhadap sampel yang mewakili objek tertentu dalam suatu objek *polygon* dengan koordinat lokasi yang sama dilapangan. Selanjutnya, sampel yang diperoleh dari (uji) lapangan dibandingkan dengan kelas objek hasil klasifikasi. Tujuan dari uji akurasi untuk mengetahui tingkat kesalahan yang terjadi pada klasifikasi wilayah sampel sehingga dapat melakukan perhitungan persentase ketelitian pemetaan. Tingkat akurasi dalam pemetaan ditentukan dengan membuat matriks kesalahan (*confusion matrix*) yang ditampilkan pada tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan matriks kesalahan (*confusion matrix*)

Hasil klasifikasi	Survey (uji) lapangan				Total Kolom	Ketelitian Produser
	A	B	C	D		
A	$X_{ii}$				$X_{i+}$	$X_{ii}/X_{i+}$
B						
C						
D				$X_{ii}$		
Total Kolom	$X_{i+}$					
Akurasi	$X_{ii}/$					
Pengguna	$X_{i+}$					

Keterangan :

$X_{ii}$  = Nilai diagonal matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

$X_{i+}$  = Jumlah piksel dalam baris ke-i

$X_{+i}$  = Jumlah piksel dalam kolom ke-i

### 2.16.2. Uji Regresi Linier Sederhana

Uji regresi linier sederhana pada penelitian ini digunakan untuk mengukur ada atau tidaknya korelasi (hubungan variabel bebas terhadap variabel terikat). Uji regresi linier sederhana dilakukan menggunakan persamaan 13.

$$Y = a + bX \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan :

- Y = Variabel dependen  
 a = Konstanta  
 X = Variabel independen  
 b = Koefisien variabel X

Penentuan jumlah pengambilan sampel pada uji regresi kerapatan tajuk mangrove terhadap MHI menggunakan rumus slovin yang ditampilkan pada persamaan 14.

$$n = \frac{N}{1+N.e^2} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

- n = Jumlah sampel minimum  
 N = Total piksel  
 e = *margin of error* (batas toleransi kesalahan)

Dalam penelitian ini populasi adalah jumlah koordinat hasil *intersect point* dari data *point* MHI tahun 2019 – 2023 dengan batas toleransi 0,05. Adapun perhitungan ditunjukkan dibawah ini.

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

Jadi, uji regresi kerapatan tajuk mangrove terhadap MHI memerlukan 393 titik koordinat untuk melakukan uji regresi linier sederhana.

### 2.16.3. Uji Korelasi

Uji korelasi adalah teknik statistik untuk menilai hubungan antara nilai piksel/spektral vegetasi hasil transformasi indeks vegetasi dengan kerapatan tajuk mangrove di lapangan, dan mengidentifikasi arah

hubungan kedua variabel. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui keeratan hubungan antara 2 (dua) variabel tanpa memperhatikan variabel yang dipengaruhi ataupun mempengaruhi dan seberapa besar pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain. Uji korelasi dalam penelitian ini menggunakan koefisien korelasi pearson. Koefisien korelasi pearson adalah ukuran kekuatan hubungan antar variabel yang umum digunakan (Asra dan Rudiansyah, 2014). Adapun rumus dalam perhitungan koefisien korelasi pearson, yaitu sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}} \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan :

- $n$  = 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

Persamaan 15 mengukur tingkat hubungan garis lurus yang ada antara variabel X dan Y. Besarnya hubungan antara dua variabel dapat dikuantifikasi dengan nilai numerik yang dikenal sebagai koefisien korelasi. Koefisien korelasi memiliki nilai yang berkisar antara -1 sampai dengan 1. Korelasi positif (+) menunjukkan adanya hubungan sempurna antara variabel X dan Y yang berarti jika variabel X bertambah besar maka variabel Y juga bertambah besar. Korelasi negatif (-) yang berarti jika variabel X bertambah besar maka variabel Y akan bertambah kecil ataupun sebaliknya. Sedangkan, koefisien korelasi yang mendekati 0 atau memiliki nilai 0 menunjukkan tidak adanya hubungan antara variabel yang diuji. Sifat korelasi akan menentukan arah dari korelasi. Pada penelitian ini nilai korelasi berkisar dari 0 hingga 1.

#### 2.16.4. 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 antara 0 (nol) hingga 1 (satu) menggunakan persamaan 16. Nilai  $R^2$  yang kecil atau mendekati nol berarti menunjukkan kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan variasi – variabel 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 (Alam dkk., 2020). Berikut rumus untuk menghitung nilai koefisien determinasi (Mairing (2017) dalam Alam dkk., (2020)):

$$R^2 = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)^2}{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan :

x = Nilai indeks vegetasi (variabel bebas)

y = Nilai kerapatan tajuk mangrove (variabel terikat)

#### 2.17. Penelitian Terdahulu

Penulis menggunakan refrensi dari beberapa penelitian terdahulu dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

Tabel 8. Penelitian terdahulu

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil
1.	Pravita dkk., (2019)	Perbandingan Algoritma <i>Transformasi Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) dan <i>Enhanced Vegetation</i>	Indeks Vegetasi NDVI dan EVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nilai indeks vegetasi NDVI berkisar antara 0,19 hingga 0,76, sedangkan nilai EVI berkisar antara -0,11 hingga 1,03.</li> <li>• Berdasarkan perhitungan <i>confusion matrix</i>, nilai akurasi</li> </ul>

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil
		<i>Index</i> (EVI) Untuk Analisis Kerapatan Lahan Mangrove (Studi Kasus: Hutan Mangrove Lampung Timur)		untuk algoritma NDVI adalah 73,68%, sedangkan untuk algoritma EVI adalah 84,21%.
2.	Pratama dkk., (2019)	Distribusi Spasial Kerapatan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel- 2A di TAHURA Ngurah Rai Bali	Indeks NDVI, EVI, dan mRE- SR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uji statistik menunjukkan model linier indeks vegetasi dengan nilai kepadatan kanopi mangrove: NDVI (<math>r = 0,8165</math>, <math>R^2 = 0,6667</math>, <math>RMSE = \pm 8,1508</math>), EVI (<math>r = 0,8597</math>, <math>R^2 = 0,7390</math>, <math>RMSE = \pm 7,8117</math>), dan mRE-SR (<math>r = 0,9277</math>, <math>R^2 = 0,8607</math>, <math>RMSE = \pm 4,9571</math>).</li> <li>• Distribusi spasial mangrove yang dihasilkan dari model mRE-SR adalah 1002,22 ha, dengan kategori kepadatan: sangat tinggi (3,24 ha), tinggi (94,82 ha), sedang (333 ha), rendah (402,38 ha), dan sangat rendah (168,76 ha).</li> </ul>
3.	Alam dkk., (2020)	Uji Akurasi Beberapa Indeks Vegetasi dalam Mengestimasi Kerapatan Hutan Mangrove dengan Citra Sentinel-2A di Taman Nasional Bali Barat	Indeks Vegetasi NDVI, NNIR, EVI, mRE – SR, dan NDVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indeks vegetasi mRE – SR menunjukkan hasil terbaik pada semua parameter akurasi yang diuji dengan nilai <math>R^2</math> tertinggi yaitu 0,909 dan 0,935.</li> <li>• Indeks vegetasi mRE – SR juga memiliki deviasi terendah dari nilai estimasi dengan nilai SE pada dua hubungan linier masing – masing 1,592 dan 0,999.</li> </ul>



No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nilai P (<math>T \leq t</math>) dua sisi dari indeks mRE-SR lebih besar dari tingkat signifikansi (0,05) menunjukkan bahwa kedua nilai variabel yang diuji tidak berbeda secara signifikan.</li> <li>• Luas total mangrove di TNBB adalah 409,21 ha, dengan kelas kepadatan mangrove hanya terdistribusi dalam kelas kepadatan sedang dan padat.</li> </ul>
4.	Hanan dkk., (2020)	Analisa Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove di Desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong	Indeks Vegetasi NDVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribusi vegetasi mangrove di Desa Pantai Mekar tersebar di area ekowisata, daerah aliran sungai, muara sungai, dan kolam budidaya dengan total luas 377,06ha.</li> <li>• Hasil klasifikasi luas mangrove terdiri dari hutan lebat seluas 81,53ha (21,62%), hutan sedang seluas 77,1ha (20,45%), dan hutan jarang seluas 218,42ha (57,93%).</li> </ul>
5.	Safe'I, (2021)	Tingkat Kesehatan Hutan Mangrove Dalam Hubungannya Dengan Perubahan Iklim (Studi Kasus Mangrove Pesisir Timur Kabupaten Lampung Timur)	Metode pemantauan kesehatan hutan mangrove menggunakan <i>Forest Health Monitoring</i>	Kondisi kesehatan hutan mangrove di pesisir pantai Lampung Timur memiliki kategori yang sedang.
6.	Wayan (2021)	<i>Mangrove health index distribution on</i>	Metode pemantauan kesehatan	• Area mangrove di Laguna mengalami penurunan seluas

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil
		<i>the restored post – tsunami mangrove area in Biak Island, Indonesia</i>	hutan mangrove menggunakan MHI	<p>33,53ha dari tahun 2015 – 2020.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berdasarkan nilai MHI, mangrove didominasi pada tingkat sedang dengan area sedang dan sangat baik meningkat dari tahun 2015 – 2020.</li> <li>• Area mangrove yang buruk berkurang akibat hilangnya mangrove yang mati, penempatan alami bibit, dan kegiatan rehabilitasi.</li> <li>• Terdapat 144,39ha area Laguna pada Citra tahun 2020 yang berpotensi untuk area rehabilitasi di masa depan, meskipun perlu konfirmasi terkait pengaturan lingkungan dan masalah kepemilikan lahan.</li> </ul>
7.	Nurdiansah dan Dharmawan (2021)	<i>Spatial and Temporal Analysis For Mangrove Community Healthiness In Liki Island, Papua-Indonesia</i>	Metode pemantauan kesehatan hutan mangrove menggunakan MHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasil studi menunjukkan bahwa kesehatan mangrove di Pulau Liki berada dalam kategori moderat dengan nilai MHI antara 33,33% hingga 66,67%.</li> <li>• Area dengan MHI moderat mendominasi sekitar 42%, sedangkan area yang sangat baik hanya sekitar 33%.</li> <li>• Mangrove di Pulau Liki mengalami tren penurunan dalam kategori sangat baik sejak tahun 2016 yaitu mencapai area terendahnya pada tahun 2018. Namun, area yang sangat baik</li> </ul>

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil
				secara bertahap meningkat 57,68% dari MHI hutan dalam empat tahun terakhir.
8.	Sugiana dkk., (2022)	<i>Spatial Distribution Of Mangrove Health Index On Three Genera Dominated Zones In Benoa Bay, Bali, Indonesia</i>	Metode pemantauan kesehatan hutan mangrove menggunakan MHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akurasi keseluruhan dan koefisien kappa menunjukkan akurasi klasifikasi hutan yang tinggi masing-masing sebesar 97% dan 0,94.</li> <li>• Sebesar 47,44% kawasan mangrove dapat diklasifikasikan ke dalam kategori kesehatan tertinggi yang menunjukkan bahwa hutan mangrove di Teluk Benoa berada dalam kondisi sangat baik.</li> <li>• Zona <i>Rhizophora</i> memberikan kontribusi signifikan terhadap keseluruhan kondisi hutan mangrove karena sekitar 73,80% cakupan kategori sangat baik di zona ini.</li> </ul>
9.	Hasrul dkk., (2023)	Pemetaan Dinamika Perubahan Tutupan Kawasan Mangrove Berbasis Pendekatan Komputasi Awan di Teluk Pacitan	Indeks Vegetasi NDVI, MNDWI, NDMI, SR, dan GCVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luasan mangrove yang diekstraksi adalah 0,57ha pada tahun 2016 dan meningkat menjadi 2,2ha pada tahun 2022.</li> <li>• Hasil perhitungan akurasi validasi menunjukkan nilai ekstraksi tahun 2016 mencapai 0,996 dan untuk tahun 2022 mencapai 0,966.</li> </ul>
10.	Hidayah dkk., (2023)	Pemetaan Kondisi Hutan Mangrove di Kawasan Pesisir Selat Madura Dengan Pendekatan	Metode pemetaan kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan MHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spesies mangrove yang paling dominan adalah <i>Avicennia Marina</i>.</li> <li>• Pertambahan luas mangrove signifikan dari tahun 2015 hingga</li> </ul>

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil
		<i>Mangrove Health Index</i> Memanfaatkan Citra Satelit Sentinel-2		2021 yaitu lebih dari 500ha. • Berdasarkan analisis MHI, 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%).
11.	Sari, Okta Mulya (2024)	Analisis Pengaruh Perubahan Kerapatan Tajuk Mangrove Terhadap Kondisi Hutan Mangrove (Studi Kasus: Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur)	• Indeks vegetasi EVI dan mRE – SR • Metode pemantauan kesehatan hutan mangrove menggunakan MHI	

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berlokasi di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Secara geografis terletak pada -5,55058 Lintang Selatan dan 105,77654 Bujur Timur. Kecamatan Pasir Sakti memiliki batas wilayah utara yang berbatasan dengan Kecamatan Gunung Pelindung dan Kecamatan Labuhan maringgai, selatan yang berbatasan dengan Kabupaten Lampung Selatan, timur yang berbatasan dengan Laut Jawa, dan barat yang berbatasan dengan Kecamatan Jabung.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

## 3.2. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak dalam setiap tahapan penelitian. Berikut perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan penulis dalam penelitian ini.

### 3.2.1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Handphone Samsung Galaxy A15*
2. *Lensa fisheye*
3. Tali 10m x 10m
4. Sepatu karet
5. Laptop *Asus i7 -11800H RAM 8 GB*

### 3.2.2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. *Google Earth Engine (GEE)*
2. *Google Earth PRO*
3. *Mobile Topographer*
4. *Microsoft Word 2021*
5. *Microsoft Excel 2021*
6. *ImageJ*
7. *ArcGIS versi 10.8*

### 3.2.3. Data yang Digunakan

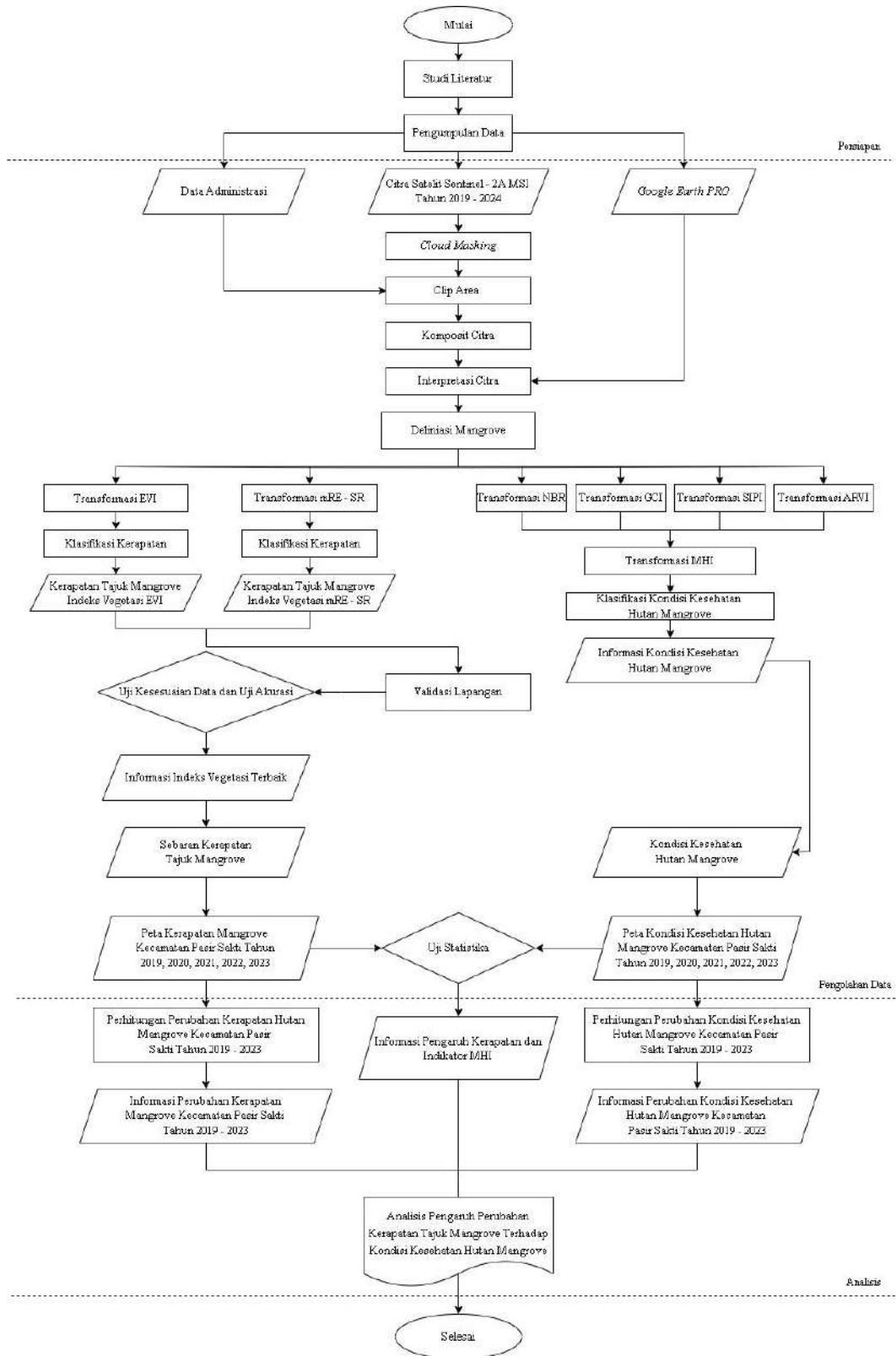
Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data administrasi wilayah, data citra satelit, data *eksisting*, dan data koordinat GCP.

Tabel 9. Data Penelitian

No.	Data	Format	Sumber Data
1.	Data Administrasi Kecamatan Pasir Sakti Tahun 2024	<i>Vektor</i>	<i>Website</i> Tanah Air Indonesia <a href="https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/">https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/</a>
2.	Citra Satelit Sentinel – 2A MSI Tahun 2019 – 2024	<i>Raster</i>	Laman <a href="https://code.earthengine.google.com/">https://code.earthengine.google.com/</a>
3.	Data Eksisting Mangrove Tahun 2019 – 2022	<i>Vektor</i>	BPDAS Way Seputih Sekampung
4.	Koordinat GCP Kerapatan Mangrove Tahun 2023	<i>CSV</i>	BPDAS Way Seputih Sekampung

### 3.3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam 3 (tiga) tahapan, yaitu tahap persiapan yang terdiri dari studi literatur dan *download* data, tahap pengolahan data yang terdiri dari *cropping* data, interpretasi citra, transformasi indeks vegetasi, transformasi MHI, klasifikasi, dan uji data, serta tahapan terakhir yaitu tahap analisis terhadap perubahan luas hingga *layout* peta. Tahap-tahap tersebut digambarkan dalam diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian



### 3.4. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan, peneliti melakukan studi literatur pada penelitian-penelitian terdahulu untuk mendapatkan *gap* penelitian. *Gap* tersebut terdiri dari metode yang digunakan, data yang digunakan, dan *software* yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan data Citra Satelit Sentinel – 2A MSI tahun 2019 – 2023 dengan bantuan *platform* pengolahan data GEE. Metode penelitian menggunakan indeks vegetasi EVI dan mRE – SR serta indeks multivariabel MHI.

Pada penelitian ini data yang dikumpulkan terdiri dari Batas Administrasi Kecamatan Pasir Sakti yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) berupa format *vektor* sebagai *clip* data sesuai lokasi penelitian, dan didukung dengan data *eksisting* mangrove tahun 2019 – 2022, serta data GCP dari BPDAS Way Seputih Sekampung.

### 3.5. Tahap Pengolahan Data

Terdapat beberapa tahapan pengolahan data dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. *Cloud Masking*

Pada tahapan ini dilakukan proses menghilangkan tutupan awan dengan *band QA60* yang terdapat dalam Citra Sentinel. Proses tersebut dilakukan menggunakan bantuan *platform* GEE yang ditunjukkan pada gambar 6. Pada penelitian ini nilai *cloud masking* berkisar dari 10% – 29%.

```

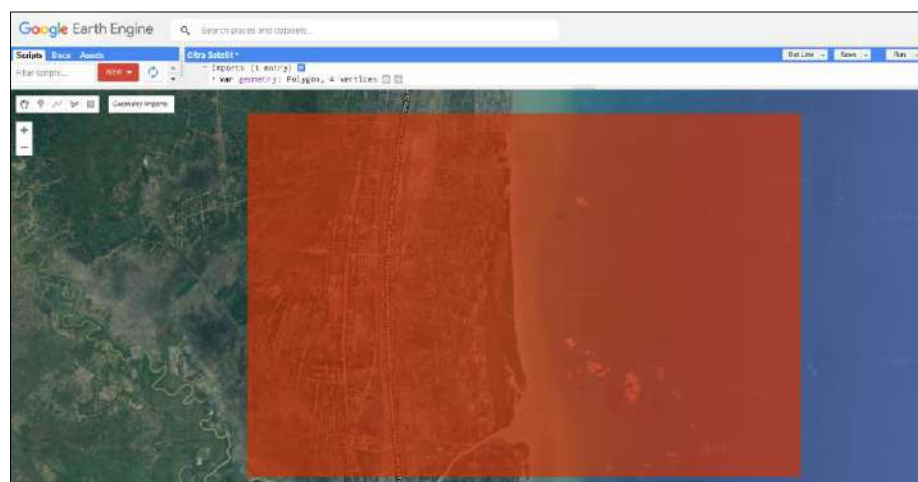
1 // ***** Image Mosaic & Cloud Masking *****
2
3 var sentinel2_mask = function(image) {
4
5 // Memilih band QA_PIXEL dari citra
6   var qa = image.select('QA60');
7
8 // Bitmask untuk awan
9   var cloudsBitMask = (1 << 10);
10
11 // Bitmask untuk bayangan awan
12   var cirrusBitMask = (1 << 11);
13
14 // Piksel tanpa bayangan awan
15   var mask = qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0)
16
17 // Piksel tanpa awan
18   | .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
19
20   return image.updateMask(mask);
21 };

```

Gambar 6. Tampilan *script cloud masking*

## 2. *Cropping* Citra Satelit Sentinel – 2A MSI

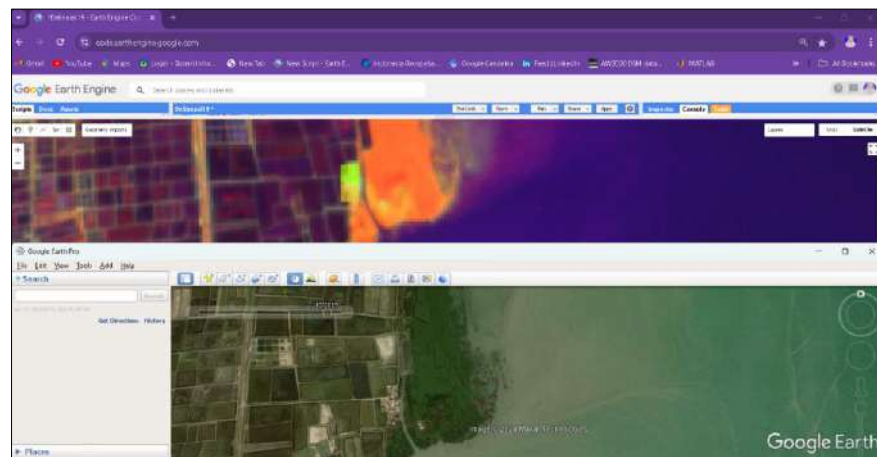
Pada tahapan ini dilakukan *clip* area berdasarkan batas penelitian yang sebelumnya telah ditentukan untuk mendapatkan daerah kajian. Batas *clip* berupa poligon yang mencakup area mangrove dengan batas administrasi Kecamatan Pasir Sakti.



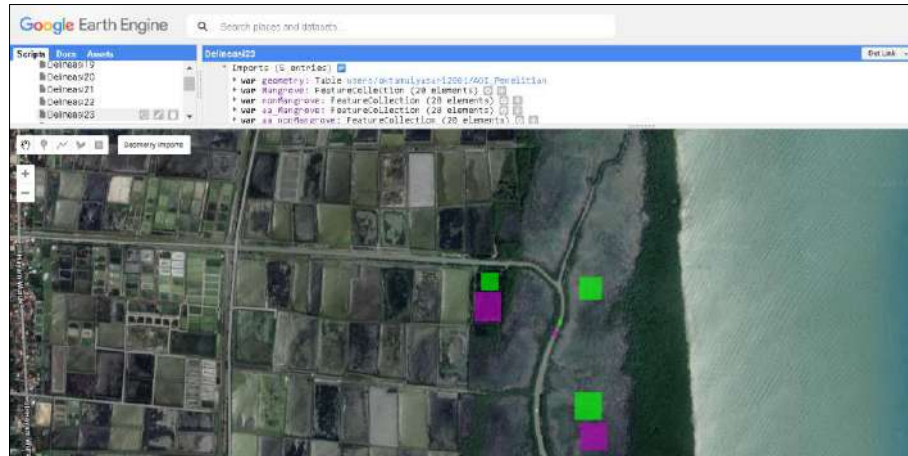
Gambar 7. Tampilan AOI penelitian

### 3. Interpretasi Citra

Tahapan ini merupakan proses mengenali objek pada citra dengan bantuan visual dari komposit *band* 8, 11, dan 4 untuk memudahkan peneliti membedakan daerah vegetasi mangrove dan non-mangrove. Interpretasi citra ini juga perlu di-*crosscheck* terlebih dahulu menggunakan *Google Earth Pro* yang ditampilkan pada gambar 8. Hal tersebut untuk memastikan interpretasi peneliti sesuai dengan kenyataan di lapangan. Setelah kelas ditentukan pada suatu area, maka peneliti mengklasifikasikan objek tersebut dengan klasifikasi *random forest* menjadi 2 (dua) kelas, yakni kelas tutupan hutan (mangrove) dan kelas tutupan tidak berhutan (non-mangrove). Interpretasi citra diawali dengan pembuatan *training sample* yang ditampilkan pada gambar 9. Pembuatan *training sample* pada kelas mangrove dan non-mangrove dengan masing-masing 20 titik sampel. Pembuatan *training sample* untuk pengujian hasil penelitian juga dilakukan sebanyak 20 titik pada masing-masing kelas mangrove dan non-mangrove. Hasil dari interpretasi citra dalam format *raster* selanjutnya di-*convert* ke dalam format *vektor* yang dapat dilakukan di *software* pengolah data spasial menggunakan *tools Raster to Vector* pada menu *toolboxes*. Hasil interpretasi dengan format *polygon* yang akan digunakan sebagai deliniasi mangrove.



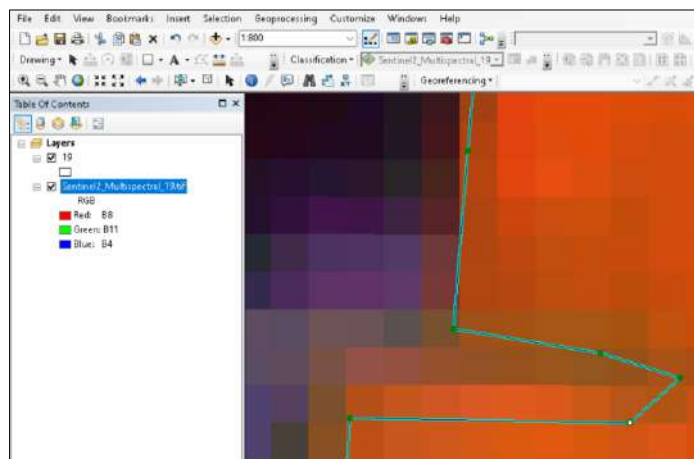
Gambar 8. Tampilan proses mengenali objek



Gambar 9. Tampilan pembuatan *training sample*

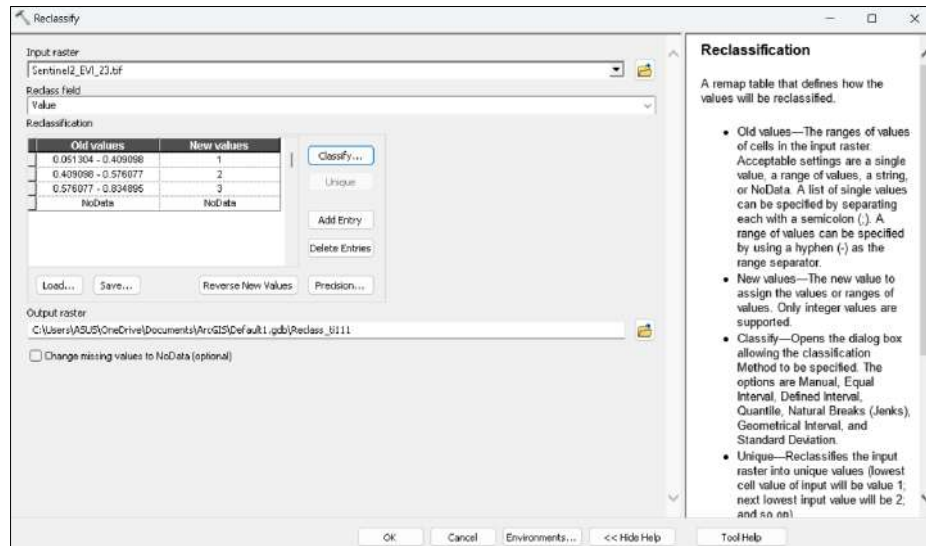
#### 4. Delineasi Mangrove

Hasil interpretasi yang telah di-convert ke dalam format *polygon* akan melalui proses *editing* untuk memastikan kesesuaian data *polygon* terhadap visual komposit *band 8, band 11, dan band 4* yang ditunjukkan pada gambar 10. Data *polygon* tersebut akan di-*input* kembali ke dalam *platform* GEE sebagai AOI sehingga AOI tahap berikutnya akan dibatasi hanya mencakup daerah mangrove.



Gambar 10. Tampilan proses *crosscheck* terhadap komposit *band* mangrove

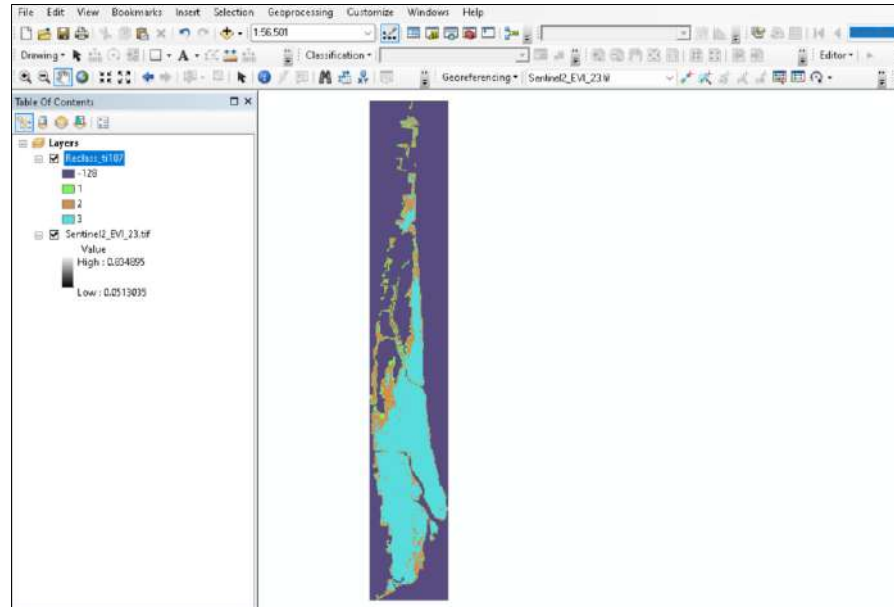
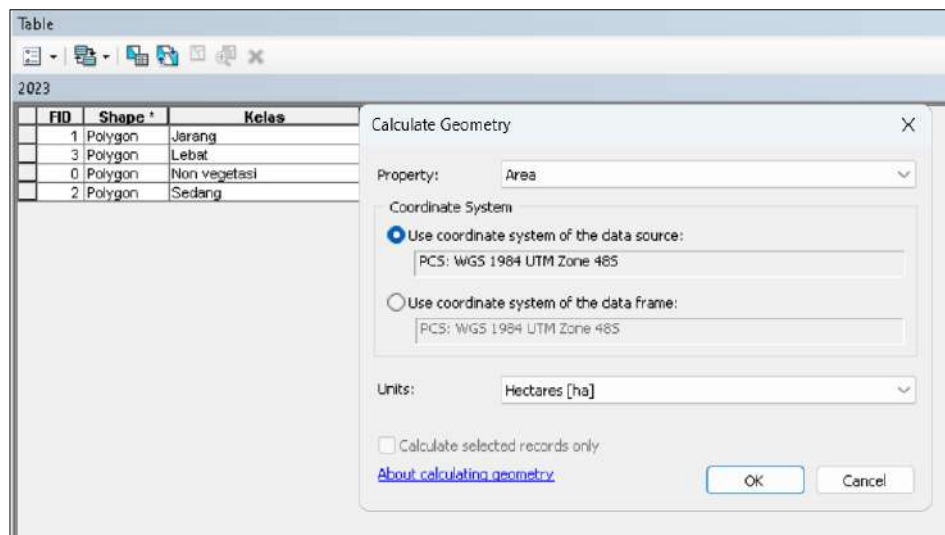




Gambar 12. *Reclassify* nilai kerapatan tajuk

## 7. Kerapatan Tajuk Mangrove Indeks Vegetasi EVI dan mRE – SR

Diperoleh hasil klasifikasi kerapatan tajuk mangrove berdasarkan metode transformasi indeks vegetasi EVI dan mRE – SR dengan normalisasi kisaran -1 hingga 1. Hasil pengolahan citra berupa *raster* yang memiliki *value* berdasarkan klasifikasi yang ditunjukkan pada gambar 13. Selanjutnya, data *raster* di-*convert* ke dalam format *vektor* dengan *tools Raster to Vector* pada menu *toolboxes* di *software* pengolah data spasial. Proses tersebut dilakukan agar peneliti mendapatkan informasi tambahan berupa luas (ha) area masing - masing kelas dengan bantuan *Calculate Geometry* pada atribut tabel data *vektor* yang ditampilkan pada gambar 14.

Gambar 13. Hasil *reclassify*

Gambar 14. Menghitung luas area (ha)

## 8. Transformasi MHI

Pada penelitian ini dilakukan transformasi MHI menggunakan indeks multivariabel pada persamaan 5. Selanjutnya hasil transformasi dinormalisasikan terlebih dahulu untuk memperoleh data yang sesuai melalui *script* pada gambar 15, lalu di-*crosscheck* melalui visualisasi dari

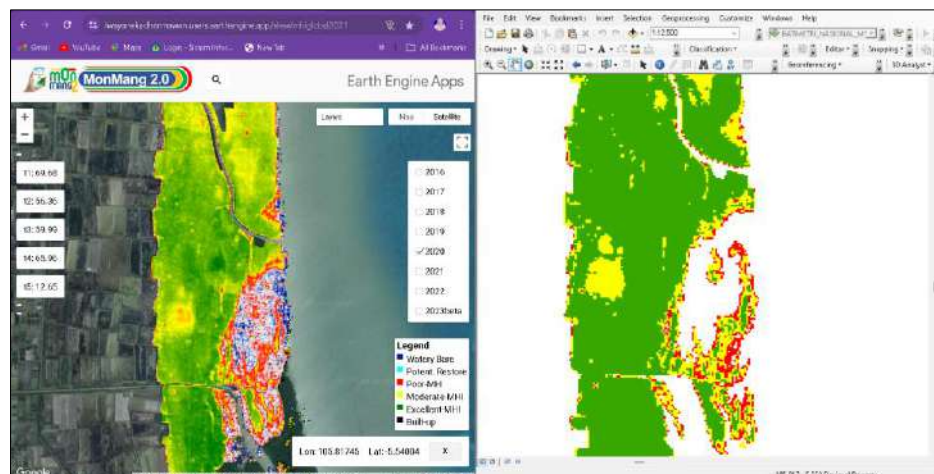
*Maps Current Global MHI* yang ditampilkan pada gambar 16. Data MHI *Global* dipublikasikan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang dapat diakses secara gratis melalui <https://iwayanekadharmawan.users.earthengine.app/view/currentglobalmhi>. Namun, sampai saat ini data hanya tersedia sebagai visualisasi untuk pengguna.

```

67 //MHI Normalization
68 var MHI_Normal = mhi_img.expression('((a - b) / (c - b)) * 100',{
69   'a': mhi_img.select('MHI'),
70   'b': ee.Number(mhi_img.select('MHI').reduceRegion(ee.Reducer.min(), geometry, 1000).get('MHI')),
71   'c': ee.Number(mhi_img.select('MHI').reduceRegion(ee.Reducer.max(), geometry, 1000).get('MHI')),
72 });
73

```

Gambar 15. Tampilan normalisasi MHI



Gambar 16. Tampilan MHI Global dan MHI hasil pengolahan penelitian

## 9. Klasifikasi Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove

Proses klasifikasi dilakukan untuk memperoleh kategori kondisi kesehatan hutan mangrove. Klasifikasi dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Wayan dan Ihya (2020) yang ditunjukkan pada tabel 5. Proses klasifikasi menggunakan bantuan *tools reclassify* di *software* pengolah data spasial yang seperti pada gambar 12.

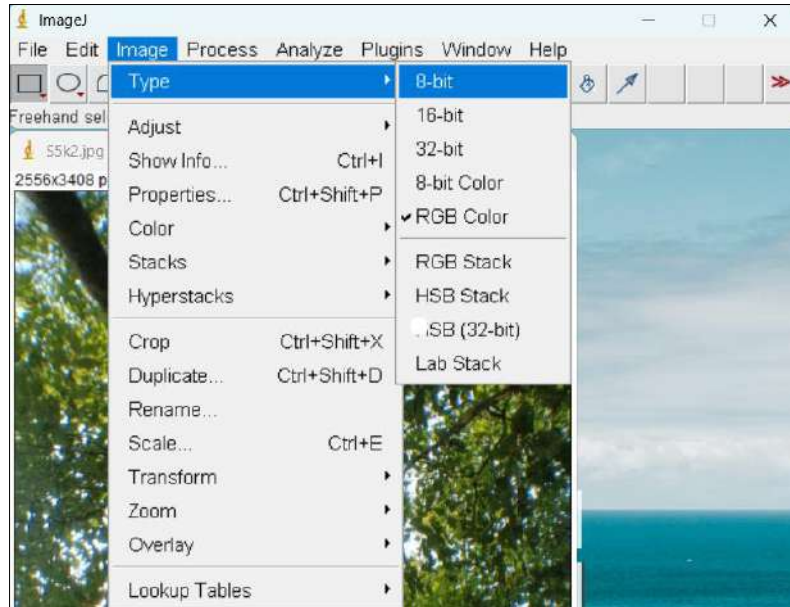


## 10. Kondisi Kesehatan Hutan Mangrove

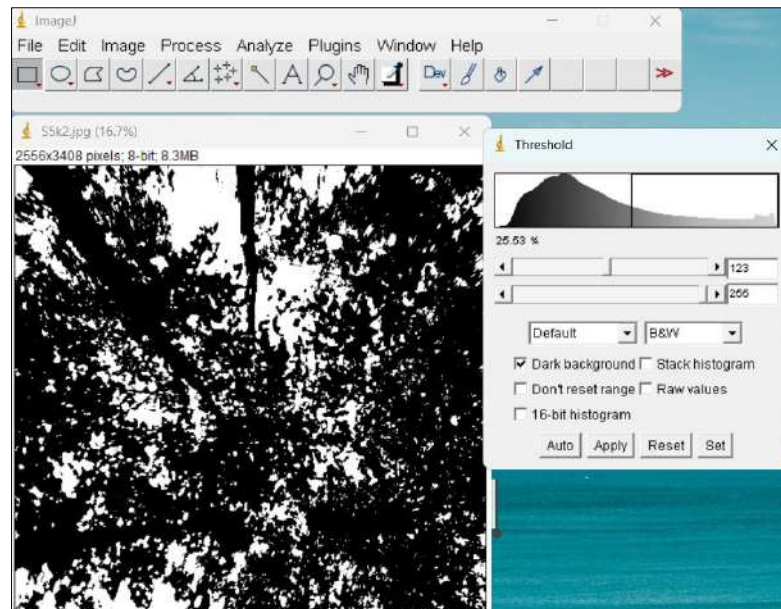
Diperoleh hasil klasifikasi kondisi hutan mangrove berupa *raster* yang memiliki *value* berdasarkan klasifikasi. Lalu data *raster* di-*convert* ke dalam format *vektor* dengan *tools Raster to Vector* pada menu *toolboxes* di *software* pengolah data spasial untuk memperoleh informasi luas (ha) area pada masing-masing kategori dengan bantuan *Calculate Geometry* pada atribut tabel data *vektor* yang ditampilkan pada gambar 14.

## 11. Validasi Lapangan

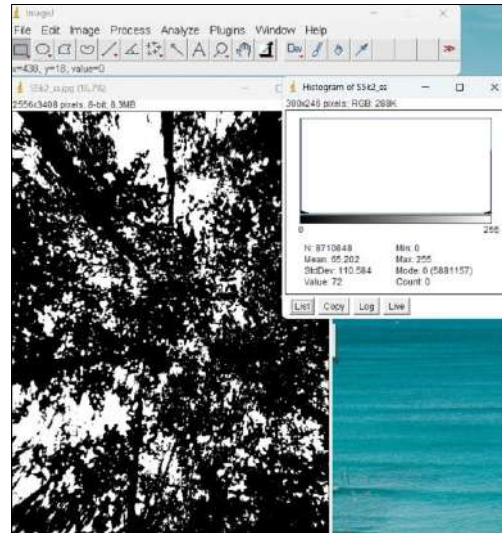
Validasi lapangan dilakukan dengan survey lapangan untuk mengetahui kebenaran hasil klasifikasi kerapatan di lapangan yang sebenarnya. Survey lapangan bertujuan untuk memperoleh kesesuaian data transformasi indeks vegetasi terhadap persentase kerapatan di lapangan. Pada penelitian ini validasi lapangan dilakukan pada tanggal 05 September 2024 menggunakan metode plot sampel sebanyak 11 plot. Kondisi di lapangan yang saat itu tidak memungkinkan peneliti melakukan pengambilan sampel dalam jumlah yang lebih banyak menyebabkan pengambilan plot sampel hanya berjumlah 11 plot sampel. Namun, plot sampel tersebut telah mewakili masing – masing kelas kerapatan. Foto hasil validasi lapangan dilakukan pengolahan di *ImageJ* untuk memperoleh persentase kerapatan tajuk. Pengolahan data melalui *ImageJ* diawali dengan mengubah foto RGB menjadi 8-bit untuk membuat foto dalam 1 (satu) bidang warna, lalu memisahkan antara piksel langit dan piksel kanopi dengan melakukan *adjust image* menggunakan bantuan *tools Threshold* pada *ImageJ*. Selanjutnya, menganalisis kerapatan dengan *tools histogram* pada menu *analyze*. Lalu, untuk memperoleh nilai persentase kerapatan dari data *histogram* dengan melihat nilai piksel kanopi (mode 0) dibagi total piksel (N) lalu dikalikan 100%.



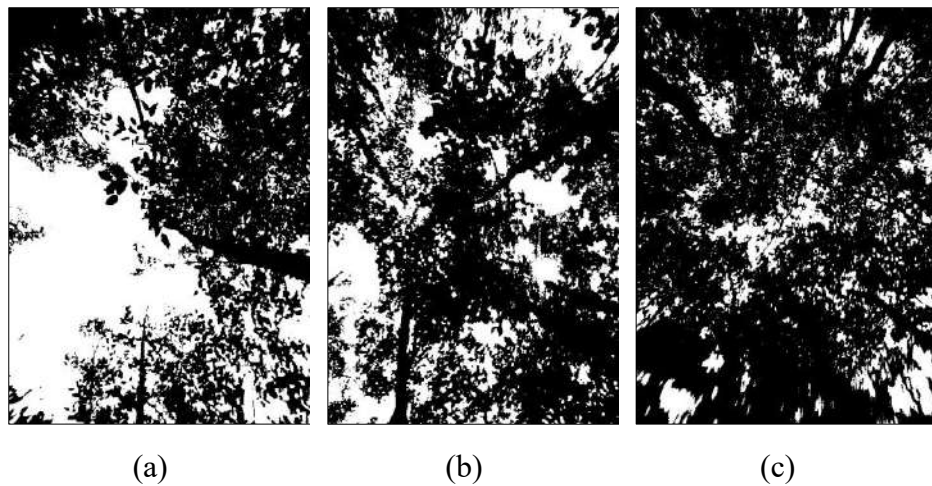
Gambar 17. Tampilan mengubah *type image*



Gambar 18. Tampilan *adjust image*



Gambar 19. Tampilan *histogram*



Gambar 20. Persentase tutupan tajuk: (a) jarang (b) sedang (c) rapat

## 12. Uji Kesesuaian Data dan Uji Akurasi

Uji kesesuaian data dilakukan berdasarkan data GCP BPDAS Way Seputih Sekampung tahun 2023, dan data hasil klasifikasi Citra Sentinel – 2A MSI tahun 2024 untuk uji kesesuaian terhadap hasil data survey lapangan. Sedangkan, uji akurasi klasifikasi kerapatan tajuk bertujuan untuk memperoleh nilai kedekatan hasil klasifikasi dengan data persentase kerapatan yang sebenarnya. Persentase kerapatan diperoleh melalui proses pengolahan data foto tajuk di *ImageJ*. Uji akurasi menggunakan

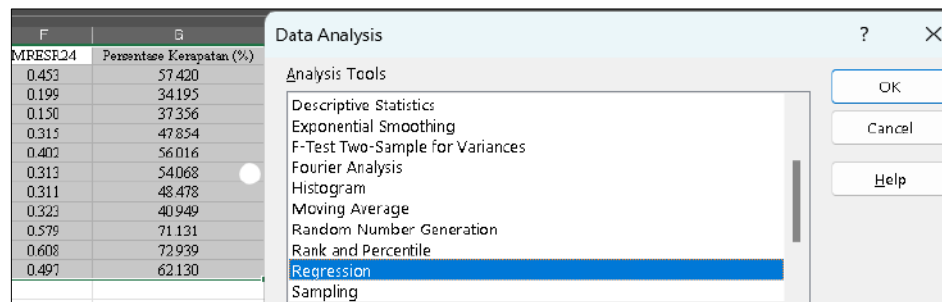
persamaan 12 untuk mengetahui tingkat kepercayaan terhadap hasil klasifikasi kerapatan tajuk mangrove menggunakan indeks vegetasi.

### 13. Uji Statistika

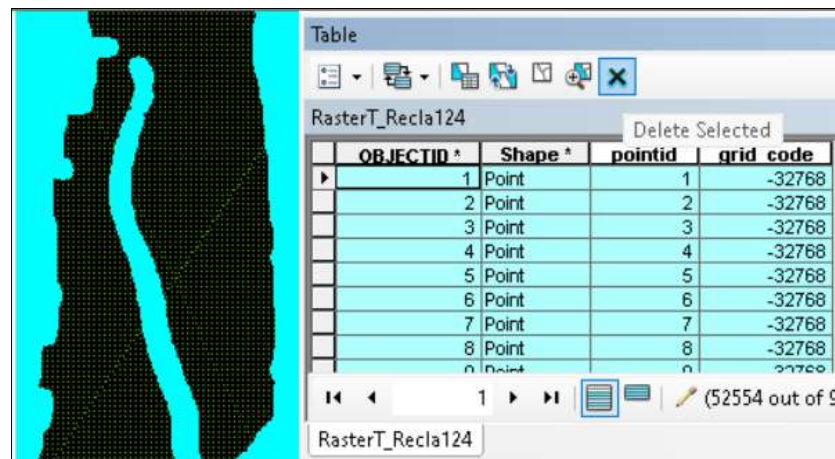
Pada tahapan ini dilakukan 3 (tiga) uji statistika, yaitu untuk mengukur ada atau tidaknya korelasi atau hubungan antara variabel menggunakan uji regresi linier sederhana. Selanjutnya, dilakukan uji korelasi untuk mengetahui hubungan indeks vegetasi terhadap persentase kerapatan di lapangan, dan uji korelasi indeks vegetasi yang terbaik terhadap kondisi kesehatan hutan mangrove menggunakan persamaan 15. Setelah itu, dilakukan uji koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk mengetahui seberapa baik kemampuan model regresi linier indeks vegetasi dalam menjelaskan variasi kerapatan tajuk mangrove di lapangan, dan untuk mengukur seberapa jauh kemampuan variabel bebas X (nilai kerapatan tajuk) dalam menerangkan variasi variabel terikat Y (MHI) yang nilainya berkisar antara nol hingga satu menggunakan persamaan 16.

Uji statistika menggunakan bantuan *tools data analysis* pada *microsoft excel* yang ditunjukkan pada gambar 21. Data *point* uji diperoleh dari nilai *value* hasil pengolahan citra menggunakan MHI sebagai variabel terikat (Y) yang telah di-*extract to point*. Peneliti memisahkan data selain dari data *point* yang masuk kategori kondisi kesehatan hutan mangrove. Selanjutnya, data *point* tahun 2019 – 2023 di-*overlay* menggunakan *tools intersect* pada *geoprocessing software* pengolah data spasial yang ditampilkan pada gambar 23. Metode *overlay* data *point* digunakan untuk memperoleh data yang keberadaannya terdapat di tahun 2019 – 2023 sehingga dapat mengetahui pengaruh perubahan kerapatan tajuk mangrove terhadap MHI. Penentuan pengambilan data *point* dilakukan dengan jarak 20m sesuai dengan resolusi terendah dari spesifikasi Citra Sentinel – 2A MSI yang digunakan, yaitu 20m. Sedangkan, untuk penentuan jumlah data *point* uji berdasarkan persamaan 14, yaitu berjumlah 393 titik sampel uji,

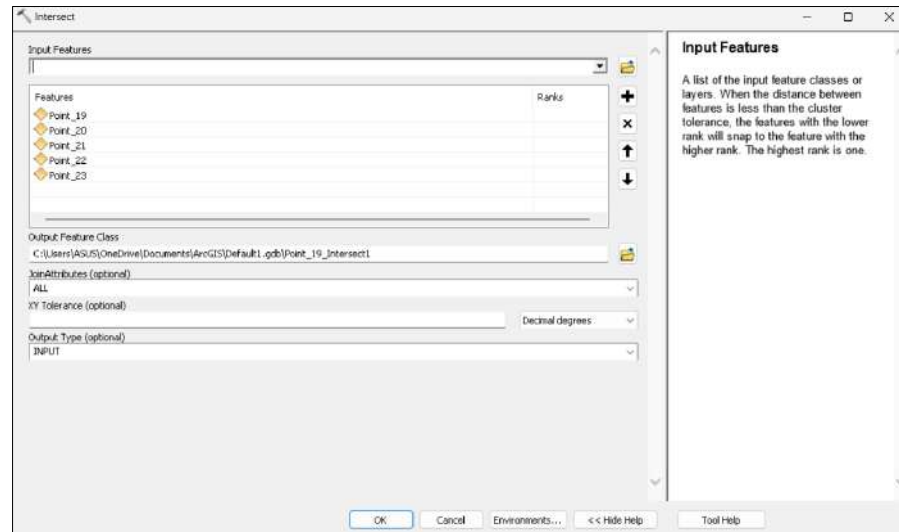
dan dibagi dalam 5 (lima) area pengambilan titik sampel uji. Kriteria area pengambilan sampel adalah area yang terdapat perubahan di setiap tahun pengamatan. Data titik sampel uji yang telah diperoleh akan digunakan untuk pengambilan data *value* hasil pengolahan transformasi indeks vegetasi dan MHI dengan bantuan *tools extract multi values to points* pada *software* pengolah data spasial yang ditampilkan pada gambar 26.



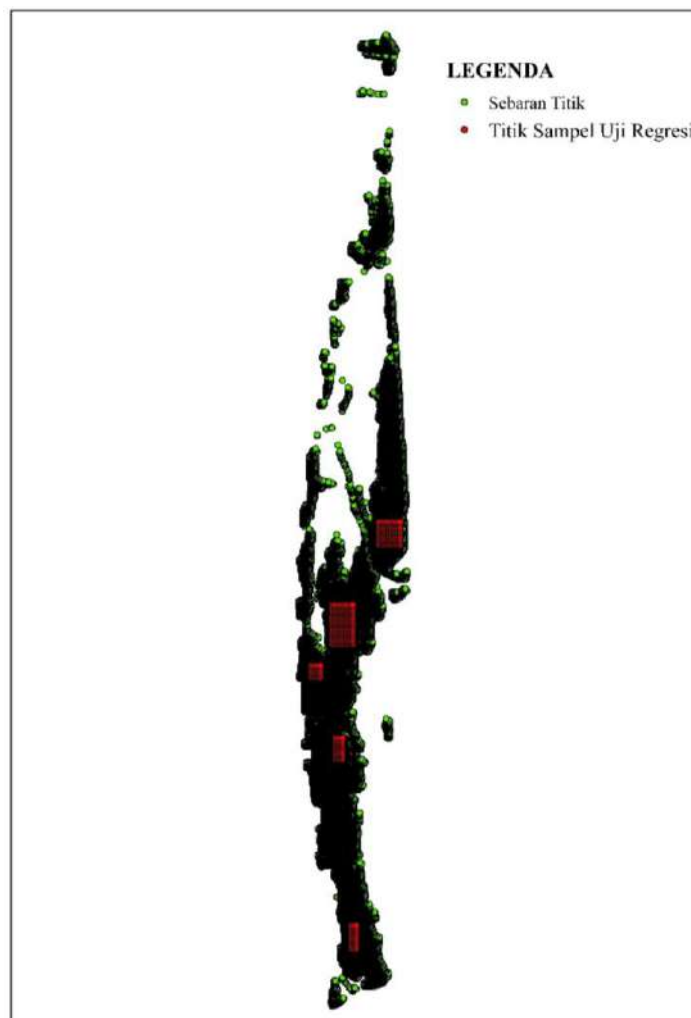
Gambar 21. Tampilan *data analysis*



Gambar 22. Tampilan proses pemisahan data selain kategori kondisi kesehatan

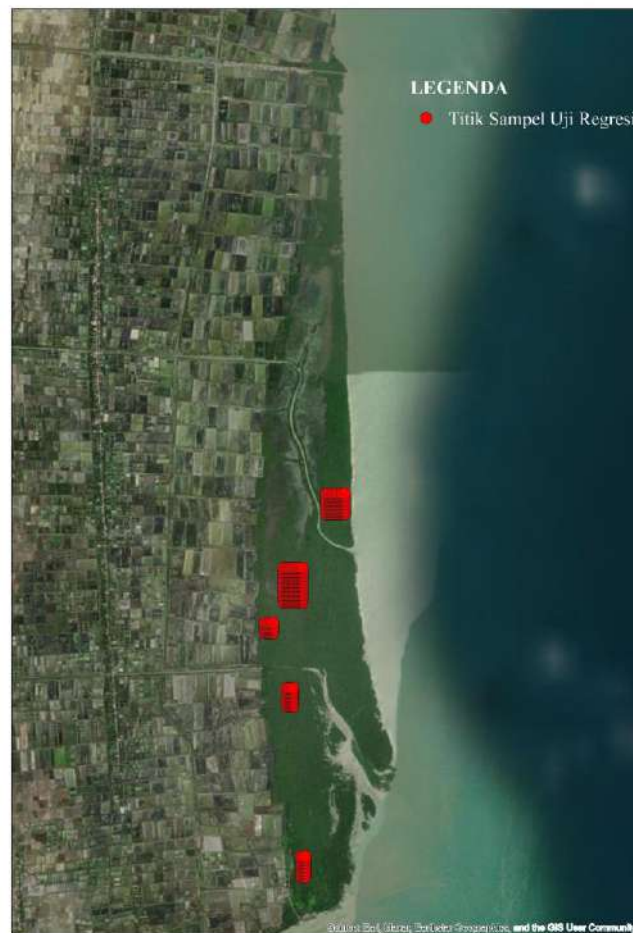


Gambar 23. Tampilan *intersect* data point

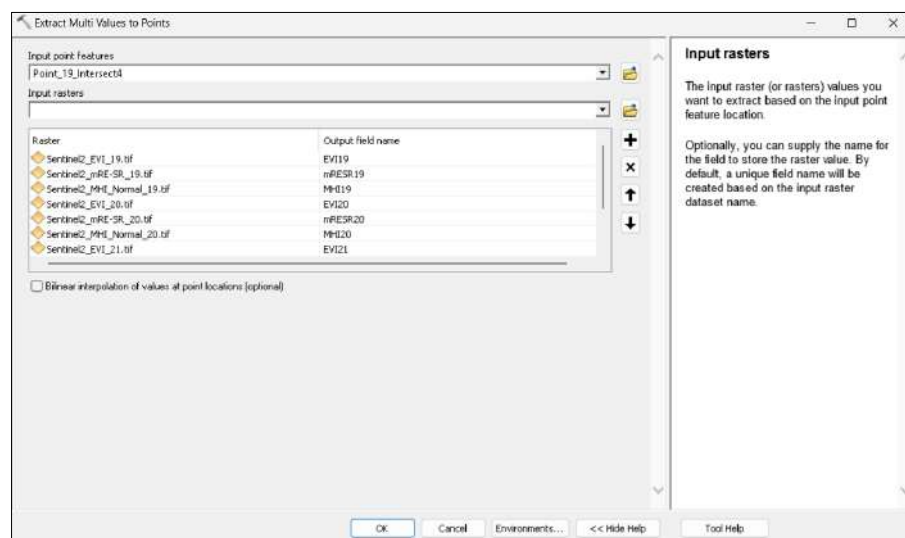


Gambar 24. Tampilan pengambilan titik sampel uji





Gambar 25. Plot titik sampel uji

Gambar 26. Tampilan *extract multi value to points*

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks vegetasi mRE-SR mempunyai tingkat akurasi yang lebih tinggi yaitu 90,909% dibandingkan dengan indeks vegetasi EVI yang hanya sebesar 72,727% dalam mendeteksi kerapatan tajuk mangrove. Kemudian, berdasarkan uji model regresi linier indeks vegetasi terhadap persentase kerapatan di lapangan menghasilkan nilai korelasi dari indeks vegetasi mRE-SR yaitu 0,9583 dengan nilai uji koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9183 yang lebih besar dibandingkan indeks vegetasi EVI yang mempunyai nilai korelasi yaitu 0,9223 dan nilai hasil uji koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,8507.
2. Terjadi fluktuasi dalam perubahan kerapatan tajuk hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti dari tahun 2019 – 2023 dengan luas kerapatan hutan mangrove yang menunjukkan variasi antar tahun pengamatan 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."

3. Perubahan kondisi kesehatan hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti dari tahun 2019 – 2023 terjadi secara fluktuatif dalam berbagai kategori. 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.
4. 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 dan nilai rata-rata  $R^2$  yaitu 0,574 yang menunjukkan bahwa pengaruh kerapatan terhadap kesehatan hutan mangrove sebesar 57,4%. Dimana 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.

## 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini hanya menggunakan 11 plot sampel karena adanya keterbatasan pengambilan sampel sehingga belum memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) dalam SNI 7717:2011 Survei dan Pemetaan Mangrove. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya maka sebaiknya memenuhi ketentuan sampel yang berlaku yaitu berjumlah minimal 18 sampel penelitian.
2. Pada penelitian berikutnya, sebaiknya dilakukan penambahan faktor pengaruh lainnya terkait dengan kondisi kesehatan hutan mangrove sebagai variabel pendukung, seperti nilai salinitas lingkungan, nilai pH air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. I. F., Nuarsa, I. W., dan Puspitha, N. L. P. R. 2020. Uji Akurasi Beberapa Indeks Vegetasi Dalam Mengestimasi Kerapatan Hutan Mangrove Dengan Citra Sentinel-2A di Taman Nasional Bali Barat. *JMRT*, 3, 59–67.
- Asra, A., dan Rudiansyah. 2014. *Statistika Terapan untuk Pembuatan Kebijakan dan Pengambil Keputusan* (Edisi Kedua). In Media.
- Chen, H., Yang, L., and Wu, Q. 2023. Enhancing Land Cover Mapping and Monitoring: An Interactive and Explainable Machine Learning Approach Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 15(18), 2. <https://doi.org/10.3390/rs15184585>
- Chianucci, F., and Cutini, A. 2012. Digital Hemispherical Photography for Estimating Forest Canopy Properties: Current Controversies and Opportunities. In *IForest* (Vol. 5, Issue 6, pp. 290–295). <https://doi.org/10.3832/ifor0775-005>
- Dharmawan, I. W. E., dan Pramudji. 2017. *Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove* (Edisi 2). COREMAP CTI LIPI.
- ESA. 2024. *Overview of Sentinel-2 Mission*. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>
- Gascon, F., Bouzinac, C., Thépaut, O., Jung, M., Francesconi, B., Louis, J., Lonjou, V., Lafrance, B., Massera, S., Gaudel-Vacaresse, A., Languille, F., Alhammoud, B., Viallefont, F., Pflug, B., Bieniarz, J., Clerc, S., Pessiot, L., Trémas, T., Cadau, E., ... Fernandez, V. 2017. Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status. *Remote Sensing*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/rs9060584>
- Gonzalez, R. C. ., and Woods, R. E. 2018. *Digital image processing*. Pearson.
- Habibullah, I., Sanjaya, H., and Putra, I. N. G. 2023. Utilization of the Indices to Detect and Monitor the Landcover Changes of Mangroves. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1127(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012033>
- Hanan, A. F., Pratikto, I., dan Soenardjo, N. 2020. Analisa Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove di Desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research*, 9(3), 271–280. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27573>

- Hanif, M. 2017. *Bahan Pelatihan Penginderaan Jauh Tingkat Lanjut* (Edisi Revisi). <http://nasa.gov>
- Hasrul, A., Khakhim, N., dan Suadi. 2023. Pemetaan Dinamika Perubahan Tutupan Kawasan Mangrove Berbasis Pendekatan Komputasi Awan di Teluk Pacitan. *Jurnal Hidropilar*, 9.
- Heidari, F. B., and Arfania, R. 2022. Wildfire Susceptibility Mapping using NBR Index and Frequency Ratio Model. *Geoconservation Research*, 5(1), 240–260. <https://doi.org/10.30486/gcr.2022.1961153.1107>
- Heriyanto, N. M., dan Subiandono, E. S. 2016. *Peran Biomasa Mangrove Dalam Menyimpan Karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat*.
- Hidayah, Z., Rachman, H. A., dan 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>
- IPCC. 2014. *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Wetlands* (T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, B. Jamsranjay, M. Fukuda, & T. Troxler, Eds.). The Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jensen, J. R. 2015. *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective* (C. Botting, Ed.; Edisi Keempat). Pearson.
- Jensen, R. R., Hardin, P. J., and Hardin, A. J. 2012. Estimating Urban Leaf Area Index (LAI) of Individual Trees with Hyperspectral Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(5), 495–504.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). 2022. *Rencana Operasional Indonesia's FOLU Net Sink 2030*.
- Klasifikasi Penutup Lahan - Bagian 1: Skala Kecil Dan Menengah. 2014. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Lee, K., van Leeuwen, W. J. D., Gillan, J. K., and Falk, D. A. 2024. Examining the Impacts of Pre-Fire Forest Conditions on Burn Severity Using Multiple Remote Sensing Platforms. *Remote Sensing*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/rs16101803>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R., and Chipman, J. W. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation* (R. Flahive, Ed.; Edisi Ketujuh). Wiley.
- Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Friess, D. A., Guntenspergen, G. R., Krauss, K. W., Reef, R., Rogers, K., Saunders, M. L., Sidik, F., Swales, A., Saintilan, N., Thuyen, L. X., and Triet, T. 2015. The Vulnerability of Indo-Pacific Mangrove Forests to Sea-Level Rise. *Nature*, 526(7574), 559–563. <https://doi.org/10.1038/nature15538>
- Matarira, D., Mutanga, O., and Naidu, M. 2022. Google Earth Engine for Informal Settlement Mapping: A Random Forest Classification Using Spectral and

Textural Information. *Remote Sensing*, 14(20), 8. <https://doi.org/10.3390/rs14205130>

Metode Penghitungan Perubahan Tutupan Hutan Berdasarkan Hasil Penafsiran Citra Penginderaan Jauh Optik Secara Visual. 2014. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Nurdiansah, D., and 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>

Paune, H., Baderan, W. K., dan Katili, A. S. 2021. Tingkat Degradasi Kawasan Hutan Mangrove (Studi Kasus di Desa Bajo Kecamatan Talamuta Kabupaten Boalemo). *Jambura Edu Biosfer Journal (Year)*, 3(2), 2656–0526. <https://doi.org/10.34312/jebj>

Peraturan BIG Nomor 3 Tahun 2014. 2014.

Pratama, I. G. M. Y., Karang, I. W. G. A., dan Suteja, Y. 2019. Distribusi Spasial Kerapatan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Di TAHURA Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2), 192. <https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i02.p05>

Pravita, D., Armijon, dan Murdapa, F. 2019. *Perbandingan Algoritma Transformasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Enhanced Vegetation Index (EVI) untuk Analisis Kerapatan Lahan Mangrove (Studi Kasus: Hutan Mangrove Lampung Timur)* (N. Trihastuti, C. P. P. Ginting, & T. Hananto, Eds.; pp. 75–80). Ikatan Surveyor Indonesia.

Purnama, M., Pribadi, R., dan Soenardjo, N. 2020. Analisa Tutupan Kanopi Mangrove Dengan Metode Hemispherical Photography di Desa Betahwalang, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 9(3), 317–325. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27577>

Purwanto, A. D., Wikantika, K., Deliar, A., and Darmawan, S. 2023. Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia. *Remote Sensing*, 15(1), 3. <https://doi.org/10.3390/rs15010016>

Safe'i, R. 2021. Tingkat Kesehatan Hutan Mangrove Dalam Hubungannya Dengan Perubahan Iklim (Studi Kasus Mangrove Pesisir Timur Kabupaten Lampung Timur). *Jurnal Hutan Tropis*, 9(3).

Sari, R. N., Safe'i, R., dan Iswandaru, D. 2019. Biodiversitas Fauna Sebagai Salah Satu Indikator Kesehatan Hutan Mangrove Fauna. *PERENNIAL*, 15(2), 62. <https://doi.org/10.24259/perennial.v15i2.6061>

Singalena, Y. A. 2023. Implementasi Hyper Spectral of Remote Sensing untuk Analisis Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial di Kecamatan Tobelo Timur Menggunakan NDVI, SAVI, dan EVI. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(3), 928–935. <https://doi.org/10.47065/josh.v4i3.3378>

- Sugeng, P. H., Dewi, B. S., dan Wicaksono, M. D. 2015. *Mangrove Pesisir Lampung Timur Upaya Rehabilitasi dan Peran Serta Masyarakat* (Cetakan Pertama). Plantaxia.
- Sugiana, I. P., Andiani, A. A. E., Pradnyandari Dewi, I. G. A. I., Astawa Karang, I. W. G., As-Syakur, A. R., and 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>
- SUHET. 2015. *Sentinel-2 User Handbook* (Revision 2). European Space Agency .
- Sun, P., Wahbi, S., Tsonev, T., Haworth, M., Liu, S., and Centritto, M. 2014. 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*, 9(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105165>
- Survei dan Pemetaan Mangrove. 2011. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Suwanto, A., Takarina, N. D., Koestoer, R. H., and 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>
- 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). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012007>
- Wayan, I. E. D., dan Ihya, Y. U. 2020. *Mangrove Community Structure Data Analysis, A Guidebook for Mangrove Health Index (MHI) Training* (Cetakan Pertama). Nas Media Pustaka. <https://www.researchgate.net/publication/352932003>
- Widyatmanti, W., Murti, S. H., dan Widayani, P. (Eds.). 2020. *Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Pemodelan dan Pemetaan Data Biofisik Lahan* (Cetakan Pertama). Gadjah Mada University Press.
- Yusriyyah, S. G., Nur, M. A., Cahara, W. A. R., Ridwana, R., dan Somantri, L. 2022. Identifikasi Kerapatan Tutupan Mangrove Pulau Gusung Menggunakan Citra Landsat 8. *Jurnal Sains Informasi Geografi*, 5(1), 39. <https://doi.org/10.31314/j>
- Zhu, Y., Liu, K., Liu, L., Myint, S. W., Wang, S., Liu, H., and He, Z. 2017. 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 Sensing*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/rs9101060>