

**ANALISIS PERUBAHAN LUAS DAN BIODIVERSITAS MANGROVE
TERHADAP INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN
CITRA SENTINEL-2**

(Skripsi)

Oleh:

MILA AULIA

1815013006



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**ANALISIS PERUBAHAN LUAS DAN BIODIVERSITAS MANGROVE
TERHADAP INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN
CITRA SENTINEL-2**

Oleh

MILA AULIA

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
2023**

ABSTRAK

ANALISIS PERUBAHAN LUAS DAN BIODIVERSITAS MANGROVE TERHADAP INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2

Oleh

MILA AULIA

Penurunan luas hutan mangrove terjadi secara *masive* dalam beberapa tahun terakhir. Penurunan ini tidak hanya berdampak pada penurunan luas hutan mangrove, hilangnya sebagian dari biodiversitas mangrove, tapi juga memicu pada terjadinya intrusi air laut. Oleh karena itu, penelitian terkait hubungan ketiga fenomena tersebut perlu dilakukan, sehingga karakteristik spasial (peta) dari tingkat intrusi yang terjadi dan bagaimana hubungannya dengan perubahan luas dan ragam biodiversitas mangrove berdasarkan teknologi penginderaan jauh dapat diketahui dengan baik. Penelitian dilakukan di Desa Sriminosari dan Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur dilakukan dengan menggunakan data primer berupa nilai salinitas pada tanah dan ciri biofisik mangrove yang diambil melalui survei lapangan dengan teknik *stratified random sampling* dan sekunder berupa citra Sentinel 2 tahun 2019 hingga 2022. Kedua data tersebut akan diolah untuk mengetahui perubahan luas mangrove yang dideteksi menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*), sementara kondisi perubahan biodiversitas mangrove dipetakan menggunakan *normalized difference vegetation index* (NDVI), dan karakteristik intrusi air laut dihasilkan dari hasil estimasi regresi linier berganda berdasarkan hubungan antara data salinitas dengan band 2,3,4,5, 8A Sentinel 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan luas mangrove dari tahun 2019 hingga 2022 dari 456,60 menjadi 606,3 ha yang diikuti dengan terjadinya perubahan komposisi dari 3 jenis mangrove yang ada yaitu *Avicennia officinalis*, *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora apiculata*. Relasi perubahan tersebut terhadap tingkat intrusi air laut yang terjadi menunjukkan adanya penambahan area mangrove yang diikuti dengan berkurangnya nilai salinitas. Pada rentang tahun 2019 sampai 2022 intrusi air laut tercatat dari 0,315 % menjadi 0,255 %.

Kata kunci : Salinitas, Perubahan Luas Mangrove, NDVI, Margasari, Sriminosari

ABSTRACT**ANALYSIS OF CHANGES IN THE AREA AND BIODIVERSITY OF
MANGROVES IN SEAWATER INTRUSION USING
SATELLITE IMAGERY SENTINEL-2****By****MILA AULIA**

The decline in the area of mangrove forests has occurred massively in recent years. This decline not only impacts decreasing the area of mangrove forests, the loss of some of the mangrove biodiversity, and also triggers seawater intrusion. Therefore, research regarding the relationship between these three phenomena needs to be carried out, so that the spatial characteristics (maps) of the level of intrusion that occur and how it relates to changes in the area and biodiversity of mangrove forests based on remote sensing technology can be well known. The research was conducted in Sriminosari and Margasari Villages, Labuhan Maringgai District, East Lampung Regency. It was carried out using primary data in the form of soil salinity values and mangrove biophysical characteristics taken through field surveys using stratified random sampling techniques and secondary data in the form of Sentinel 2 images from 2019 to 2022. Both the data will be processed to determine changes in mangrove area detected using the supervised classification method, while conditions for changing mangrove biodiversity are mapped using the normalized difference vegetation index (NDVI), and seawater intrusion characteristics are generated from the results of multiple linear regression estimation based on the relationship between salinity data with bands 2,3,4,5, 8A Sentinel 2. The results showed that there had been a change in mangrove area from 2019 to 2022 from 456.60 to 606.3 ha followed by a change in the composition of the 3 mangrove species that there are *Avicennia officinalis*, *Rhizophora mucronata*, and *Rhizophora apiculata*. The relation of these changes to the level of seawater intrusion that occurs indicates an increase in the mangrove area followed by a decrease in the salinity value. In the range from 2019 to 2022 seawater intrusion was recorded from 0.315 % to 0.255 %.

Keywords : Salinity, Mangrove Area Change, NDVI, Margasari, Sriminosari

Judul Skripsi : **ANALISIS PERUBAHAN LUAS DAN BIODIVERSITAS MANGROVE TERHADAP INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2**

Nama Mahasiswa : **Mila Aulia**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815013006**

Program Studi : **S1 Teknik Geodesi**

Fakultas : **Teknik**



M. Firman Ghazali, S.Pd, M.T.
NIP 198606252019031013

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

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

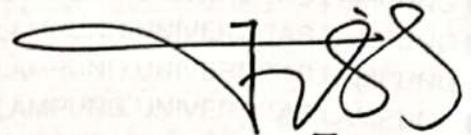
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fauzan', is positioned above the name of the Dean of the Faculty of Geomatics Engineering.

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

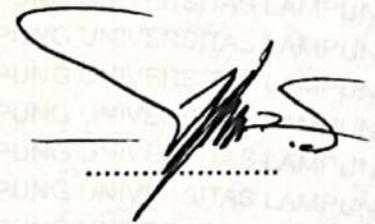
Ketua : M. Firman Ghazali, S.Pd., M.T



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



**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ing. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ۞
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Juni 2023

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mila Aulia
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815013006
Program Studi : S1 Teknik Geodesi
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian 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.

Bandarlampung, 21 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Mila Aulia
1815013006

RIWAYAT HIDUP



Mila Aulia, lahir pada tanggal 03 Desember 1999 di Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak keempat dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Supriyono dan Ibu Winarsih. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 04 Rejosari dan lulus pada tahun 2012. Kemudian melanjutkan pendidikannya di Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 04 Pringsewu dan lulus pada tahun 2015. Lalu menempuh Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA N 01 Pringsewu dan lulus pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswi di Universitas Lampung pada Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Program Studi Teknik Geodesi melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Tahun 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Kantor Pertanahan ATR/BPN Kabupaten Lampung Timur. Lalu melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun yang sama di Kelurahan Ambarawa, Pringsewu. Pada tahun 2022 penulis terlibat dalam lomba riset sawit yang diadakan oleh Badan Pengelola Dana Perkebunan Sawit (BPDPKS) dengan judul riset “Seleksi dan Identifikasi Tanaman Sawit Terbaik Dengan Pembelajaran Mesin Berbasis Analisis Spektral dan Biofisik” dan berhasil menjadi tim yang masuk 10 besar pada tingkat nasional. Pada akhir masa studi sebagai mahasiswa, penulis melakukan penelitian terkait Analisis Perubahan Luas dan Biodiversitas mangrove Terhadap Intrusi Air Laut Menggunakan Citra Sentinel-2 di wilayah pesisir Kecamatan Labuhan Maringgai sebagai syarat mendapatkan gelas Sarjana Teknik (S.T.).

MOTTO

“Katakanlah (Nabi Muhammad), "Wahai hamba-hamba-Ku yang selalu berbuat kesalahan, janganlah berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya Allah mengampuni dosa bagi hambanya yang mau bertaubat karena Alloh Maha Pengampun lagi Maha Penyayang”

(Q.S. Az-Zumar : 53)

"Selalu ada yang pertama kali dalam segala sesuatu termasuk gagal, jadi jangan takut untuk mencoba"

(Angkasa)

"Jangan sering-sering menoleh ke belakang kalau ingin melangkah maju, nanti kakinya tersangkut"

(Tereliye)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbilalamin atas segala nikmat, rahmat, dan karunia Allah SWT. Skripsi ini menjadi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Maka, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada:

1. Bapak terkasih Supriyono dan ibu terkasih Winarsih yang telah bekerja keras dalam mengupayakan pendidikan anak-anaknya, yang selalu mendukung, dan selalu mengiringi langkah penulis dengan doa.
2. Kakakku Nurlaela, Aza Latifah, Abdurrohman dan adikku tersayang Mestika Rahmah dan Zulva Khafifah atas segala dukungan dan semangat yang diberikan kepada penulis.
3. Guru yang telah memberikan ilmu pengetahuan dari SD, SMP dan SMA. Serta para dosen yang telah membimbing selama perkuliahan. Terima kasih atas ilmu yang diberikan.
4. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah mejembatani penulis dalam mendapatkan berbagai pengalaman baru.
5. Almamater tercinta Universitas Lampung, terima kasih atas pendidikan yang diberikan dan pembelajaran yang sangat baik dan berharga ini..

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan sebagai syarat dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan judul “Analisis Perubahan Luas dan Biodiversitas mangrove Terhadap Intrusi Air Laut Menggunakan Citra Sentinel-2”. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Mochamad Firman Ghazali, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberi masukan, nasihat, motivasi dan telah banyak meluangkan waktu, tenaga, serta pikirannya sehingga penelitian pada skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
2. Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberi masukan, bimbingan, serta nasihat sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
3. Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU yang berkenan menjadi dosen penguji dan memberikan banyak nasihat, kritik dan saran pada skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan banyak sekali ilmu pengetahuan.
5. Staff dan karyawan Program Studi Teknik Geodesi yang telah membantu penulis selama perkuliahan.
6. Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku Ketua Teknik Geodesi dan Geomatika, Universitas Lampung.
7. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

8. Bapak Agustinus Tri Handoko, S.E., selaku camat Labuhan Maringgai, Bapak Syarif dan Ibu Wahyu yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dan menyambut penulis dengan baik di Kecamatan Labuhan Maringgai.
9. Sahabat terkasih Abia, Ayuk, Sitta, Lalak, Rara, Melka, Mba Elma, Mba Monik, Mba Ica, Mba Uci. *Jazakummullohukhoiro* untuk energi positif dan doa yang diberikan untuk penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
10. Asih, Imel, Yoan sahabat yang telah penulis kenal selama satu dasawarsa lebih, terimakasih atas kasih dan semangat yang diberikan.
11. Lauditta, Caca, Made, Nanda selaku teman seperjuangan yang meneliti “intrusi air laut”, terimakasih untuk kebersamaan selama pengambilan data hingga skripsi ini terselesaikan.
12. Keluarga besar Teknik Geodesi angkatan 2018 yang telah menemani, membantu, dan menjadi teman seperjuangan penulis dalam meraih gelar sarjana.
13. Keluarga besar PPM Baitusshodiq yang telah berproses bersama untuk mencapai gelar sarjana yang *mubaligh, Jazakummullohukhoiro*.
14. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu mohon maaf bila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Semoga nantinya skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca.

Bandarlampung, 21 Juli 2023
Penulis,

Mila Aulia

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Kerangka Pemikiran.....	3
1.6 Hipotesis Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Ekosistem Mangrove	7
2.3 Keragaman Vegetasi Mangrove.....	10
2.4 Hubungan Intrusi Laut dan Keberadaan Mangrove.....	14
2.5 Pengamatan Intrusi Air Laut.....	16
2.6 Sentinel 2 untuk Perubahan Luas Mangrove dan Pengamatan Intrusi ...	17
2.7 Hubungan NDVI dan Biodiversitas mangrove	19
2.8 Efektivitas Regresi	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu	22
3.2 Data	23
3.2.1 Data Primer.....	23
3.2.2 Data Sekunder	23
3.3 Metode	24
3.4 Pengambilan Data Lapangan	25
3.5 Pengolahan Data	26
3.5.1 Koreksi Atmosferik	26

3.5.2	Perubahan Luas Mangrove dengan Klasifikasi Terbimbing	27
3.5.3	Integrasi nilai NDVI dengan Biodiversitas mangrove	28
3.5.4	Estimasi Nilai Salinitas.....	29
3.6	Uji Akurasi.....	30
3.6.1	Uji <i>Ground check</i>	30
3.6.2	Uji RMSE	31
3.7	Uji Hubungan Perubahan Luas Mangrove dengan Intrusi Air Laut	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1.	Hasil	33
4.1.1	Karakteristik Data Salinitas Lapangan	33
4.1.2	Karakteristik Data Mangrove Lapangan	34
4.1.3	Koreksi Citra Satelit Sentinel 2	37
4.1.4	Analisis Perubahan Luas Mangrove Tahun 2019 – 2022 dan Uji Akurasinya.....	38
4.1.5	Analisis Estimasi Biodiversitas mangrove Pada Rentang Tahun 2019 – 2022 dan Uji Akurasinya.....	44
4.1.6	Estimasi Intrusi Air Laut dan Uji Akurasinya.....	47
4.1.7	Klasifikasi Intrusi Air Laut di Desa Margasari dan Sriminosari... ..	49
4.2.	Pembahasan.....	51
4.2.1	Kemampuan Klasifikasi Terbimbing dalam Memetakan Perubahan Luas Mangrove	51
4.2.2	Sentinel 2 dalam Memetakan Intrusi Air Laut	51
4.2.3	Hubungan Perubahan Luas dan Biodiversitas mangrove Terhadap Intrusi Air Laut di Desa Sriminosari dan Desa Margasari	52
V.	SIMPULAN DAN SARAN	56
5.1	Simpulan	56
5.2	Saran	56
	DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2. Klasifikasi jenis perairan berdasarkan nilai salinitas	16
Tabel 3. Spesifikasi teknis band pada Sentinel-2.....	18
Tabel 4. Nilai NDVI untuk mendeteksi biodiversitas mangrove	20
Tabel 5. Data penginderaan jauh dalam penelitian	24
Tabel 6. Data primer dalam studi perubahan luas mangrove terhadap intrusi.....	26
Tabel 7. Data pengukuran salinitas	33
Tabel 8. Biodiversitas mangrove yang ada di lokasi penelitian.....	34
Tabel 9. Data Biofisik Sampel Mangrove.....	35
Tabel 10. Nilai reflektan Sentinel 2 sebelum dan sesudah terkoreksi.....	37
Tabel 11. Luas hutan mangrove	39
Tabel 12. <i>Ground Check</i> Hasil Klasifikasi Mangrove	42
Tabel 13. Rentang nilai rata-rata NDVI biodiversitas mangrove	44
Tabel 14 Luas klasifikasi tingkat intrusi air laut.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka pemikiran	4
Gambar 2. Sekresi garam pada daun mangrove. (Sumber : kesemat.or.id)	8
Gambar 3. Jenis akar pada mangrove : (A) Akar napas <i>Sonneratia alba</i> , (B) Akar napas <i>Avicennia marina</i> , (C) Akar tunjang <i>Rhizophora</i> , (D) Akar gantung <i>Avicennia marina</i> . (Sumber : foto pribadi penulis).....	9
Gambar 4. Zonasi mangrove (Sumber : Rosyidah, 2020).....	10
Gambar 5. Morfologi <i>R. apiculata</i> (a), <i>R. mucronata</i> (b), <i>R. stylosa</i> (c).	12
Gambar 6. Morfologi (a) <i>A. alba</i> , (b) <i>A. eucalyptifolia</i> , (c) <i>A. lanata</i> ,	13
Gambar 7. Morfologi (a) <i>Sonneratia alba</i> , (b) <i>Sonneratia caseolaris</i> , (c) <i>Sonneratia ovata</i> . Sumber : (Noor dkk, 2012).....	13
Gambar 8. Morfologi (a) <i>Bruguiera cylindrica</i> , (b) <i>Bruguiera exaristata</i> , (c) <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> . Sumber : (Noor dkk, 2012)	14
Gambar 9. Ilustrasi intrusi air laut di aquifer pantai Sumber : (Niculescu and Andrei, 2021)	15
Gambar 10. Salinometer. Sumber : (Prakosa dkk, 2020).....	17
Gambar 11. Lokasi penelitian	22
Gambar 12. Distribusi titik sampel	23
Gambar 13. Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 14. Koreksi atmosferik Sentinel 2 (a) Sebelum Terkoreksi (b) Setelah Terkoreksi	27
Gambar 15. Peta tutupan lahan lokasi penelitian (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022.....	28
Gambar 16. Peta NDVI lokasi penelitian (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022	29
Gambar 17. Sebaran titik <i>ground check</i> (a) luas mangrove, (b) jenis mangrove..	30
Gambar 18. Zona uji hubungan perubahan luas dengan intrusi air laut.....	32

Gambar 19. Biodiversitas mangrove yang ada di lokasi penelitian, (a) <i>Rhizophora mucronata</i> , (b) <i>Rhizophora apiculata</i> , (c) <i>Avicennia marina</i> , (d) <i>Avicennia officinalis</i> , (e) <i>Pandanus odoratissima</i> , (f) <i>Sonneratia alba</i> , (g) <i>Acanthus ebracteatus</i> , (h) <i>Terminalia catappa L</i> , (i) <i>Acrostichum speciosum</i>	36
Gambar 20. Perubahan luas hutan mangrove tahun 2019 sampai tahun 2022.....	38
Gambar 21. Perubahan luas hutan mangrove pada beberapa area (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022.....	40
Gambar 22. Area hutan mangrove di Desa Margasari.....	40
Gambar 23. <i>Avicennia sp</i> yang tumbang karena abrasi.....	41
Gambar 24. Peta perubahan biodiversitas mangrove 2022 – 2019 berdasarkan nilai indeks vegetasi (NDVI).....	45
Gambar 25. <i>Ground check</i> hasil klasifikasi jenis mangrove dengan beberapa titik uji	46
Gambar 26. Distribusi estimasi salinitas hasil olah regresi pada tahun (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022.....	48
Gambar 27. Klasifikasi intrusi air laut di Desa Sriminosari dan Margasari, (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022	49
Gambar 28. Grafik hubungan perubahan luas mangrove dan salinitas, (a) zona A, (b) zona B, (c) zona C, (d) zona D	52
Gambar 29. Grafik hubungan perubahan jenis mangrove dengan salinitas pada zona C.....	54

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki hutan mangrove terluas di dunia. Luasnya mencapai 3.735.250 ha, atau setara dengan 50% luas mangrove di Asia dan 25% secara global. (Eddy dkk, 2018). Namun saat ini, luas hutan mangrove terus mengalami penurunan menjadi 3.311.208 ha, dimana 637.624 ha atau hampir 20 % mangrove berada dalam kondisi kritis (KKP, 2021). Fitri dan Anwar (2014) menyebutkan bahwa Pulau Jawa dan Bali berkontribusi sebagai penyumbang terbesar rusaknya hutan mangrove di Indonesia. Tercatat, seluas 171.500 ha hutan mangrove telah berkurang menjadi 19.577 ha akibat maraknya konversi lahan pesisir. Pada area yang lebih kecil, fenomena yang serupa juga terjadi. Pada rentang tahun 2004 sampai 2013 terjadi penurunan luas mangrove seluas 3059,23 ha di pesisir Kabupaten Lampung Timur (Yuliasamaya dkk, 2014). Hutan mangrove di Provinsi Lampung tersebar dari daerah pesisir Kabupaten Lampung Selatan, daerah pesisir Lampung Timur, serta sebagian berada di Teluk Lampung, Kabupaten Pesawaran, dan Kabupaten Tulang Bawang.

Penurunan luas hutan mangrove berdampak pada rusaknya ekosistem perairan (Kalor & Paiki, 2021), perubahan garis pantai (Salim dkk, 2016), dan intrusi air laut (Hafni, 2016). Intrusi air laut mengakibatkan berkurangnya kualitas air tanah dan pada kondisi tertentu, bisa mengakibatkan air tanahnya sama sekali tidak dapat dikonsumsi oleh manusia (Febriarta & Widyastuti, 2020).

Intrusi air laut adalah meresapnya atau masuknya air laut ke dalam akuifer air tanah akibat tekanan air tanah lebih rendah dibandingkan dengan tekanan air laut (Costall et al., 2018). Salim dkk (2016) mengatakan bahwa di Pantai Jakarta mengalami laju intrusi air laut yang melonjak tajam dari 1 km pada hutan mangrove selebar 0,75 m menjadi 4,24 km pada tempat tanpa hutan mangrove. Salim dkk juga memperkirakan percepatan intrusi air laut meningkat 2 sampai 3 kali pada lokasi yang tidak ada hutan mangrovenya. Hilmi dkk (2017) menjelaskan sebenarnya

ekosistem mangrove mempunyai keunggulan untuk mengurangi intrusi air laut disebabkan mangrove dapat menghilangkan pengaruh salinitas, pH, dan kondisi anaerob.

Penginderaan jauh adalah teknologi yang cepat dan efisien untuk pengelolaan ekosistem mangrove yang banyak terletak di pesisir. Karena sulit dijangkaunya kebanyakan wilayah pesisir, sulit dilakukannya pengukuran lapangan dan mahal biaya (Arizal dkk., 2017). Teknologi penginderaan jauh sudah sering dipakai dalam pendugaan perubahan luas area hutan mangrove, pemetaan distribusi mangrove secara global, sampai pada keragaman spesies (biodiversitas) mangrove. Salim, dkk (2016) menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI untuk meninjau dampak tutupan mangrove kepada perubahan garis pantai dan intrusi air laut. Penelitian oleh Rahmawati & Ari (2022) mengkaji perubahan luas kawasan mangrove berbasis *cloud computing* dengan Sentinel 2 di Provinsi DKI Jakarta. Pemilihan Sentinel 2 dikarenakan pada citra ini memiliki resolusi spasial yang beragam yaitu 10 m, 20 m, dan 60 m dan berkaitan erat dengan informasi air permukaan. Penelitian lain oleh Ghazali (2020) memakai citra satelit Aster dan Sentinel 2 tahun 2012 dan 2019 untuk menganalisis perubahan luas areal hutan mangrove dan estimasi keragaman vegetasi mangrovenya.

Estimasi Intrusi air laut dapat dihitung menggunakan metode analisis regresi linier berganda seperti yang telah dilakukan oleh Padilah & Adam (2019) dalam estimasi produktivitas tanaman padi. Biodiversitas mangrove ditentukan dengan survey lapangan dan melalui indeks vegetasi seperti yang telah dilakukan oleh Ghazali (2020), namun pada penelitian ini hanya digunakan indeks vegetasi *normalized difference vegetation index* (NDVI). Luas area mangrove diketahui menggunakan metode *supervised classification* pada rentang tahun 2010 sampai tahun 2015 seperti yang telah dilakukan oleh Mulyaningsih dkk (2017) yang menggunakan metode ini untuk mengidentifikasi perubahan luas mangrove.

Penelitian ini berusaha untuk mendeteksi seberapa tingkat intrusi yang terjadi dan bagaimana hubungannya dengan perubahan luas dan biodiversitas hutan mangrove berdasarkan teknologi penginderaan jauh. Penelitian dilakukan di Desa Sriminosari dan Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung

Timur. Hasil yang diharapkan yaitu dapat diketahui intrusi air laut yang terjadi, perubahan luas dan biodiversitas mangrove di kedua desa tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan melihat kondisi tersebut, maka dapat disampaikan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hubungan antara perubahan luas dan biodiversitas mangrove dengan intrusi air laut di Desa Margasari dan Desa Sriminosari dari tahun 2019 sampai tahun 2022?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai menganalisis hubungan antara perubahan luas dan biodiversitas mangrove dengan intrusi air laut di Desa Margasari dan Desa Sriminosari dari tahun 2019 sampai tahun 2022.

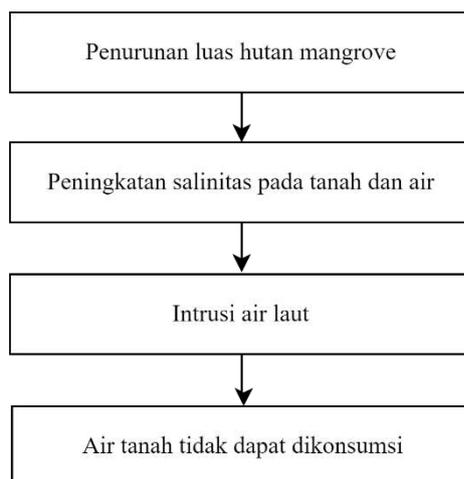
1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah ketika intrusi air laut bisa dipetakan sejalan dengan perubahan luas dan biodiversitas mangrove maka akan mendukung tercapainya tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) dunia dalam menjaga ekosistem darat dan menjaga ekosistem laut. Yaitu dalam hal ini dapat digunakan sebagai acuan untuk konservasi, restorasi dan penggunaan yang berkelanjutan dari ekosistem terestrial dan air daratan serta mengelola dan melindungi ekosistem laut dan pesisir untuk menghindari dampak buruk yang signifikan bagi masyarakat pesisir.

1.5 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan uraian pada latar belakang dan masalah, dapat diketahui bahwa perubahan luas dan keragaman mangrove akan berdampak pada terjadinya intrusi air laut. Intrusi air laut mengakibatkan penurunan kualitas air tanah yang

berdampak tidak dapat dikonsumsi pada jumlah tertentu atau sama sekali tidak dapat dikonsumsi oleh manusia dan makhluk hidup disekitarnya. Maka dari itu perlu adanya pemetaan intrusi air laut untuk mengetahui kondisi intrusi yang terjadi di Desa Sriminosari dan Margasari serta hubungannya dengan perubahan luas mangrove dan keragamannya (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka pemikiran

1.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan suatu pernyataan bahwa dugaan terhadap sesuatu adalah benar (Lolang, 2014). Berdasarkan dari rumusan dan tujuan dari penelitian ini, maka disusun hipotesis berupa :

H_0 : Tidak ada hubungan antara perubahan luas hutan mangrove dan biodiversitasnya terhadap intrusi air laut di Desa Sriminosari dan Margasari berdasarkan analisa data penginderaan jauh.

H_1 : Terdapat hubungan antara perubahan luas hutan mangrove dan biodiversitasnya terhadap intrusi air laut di Desa Sriminosari dan Margasari berdasarkan analisa data penginderaan jauh.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh penulis tidak terlepas dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan acuan dan perbandingan serta untuk melihat posisi penelitian ini. Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi penulis (Tabel 1).

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No.	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Data	Hasil
1.	<i>Correlation Analysis Between Seawater Intrusion and Mangrove Greenbelt</i> (Hilmi dkk, 2017)	Mengestimasi intrusi air laut dan menganalisis hubungan antara luas mangrove dan intrusi air laut	Analisis spasial berupa <i>overlay</i> dan pemodelan sistem <i>loop</i> antar variabel	Citra satelit tahun 1980, 2000, 2010, dan 2016; salinitas air, dan tekstur tanah	Laju intrusi air laut sebesar 0,2 km/tahun dengan mangrove sedangkan 0,3 sampai 0,4/km tanpa mangrove; hubungan intrusi air laut dengan sabuk hijau mangrove sebesar 0,97.
2.	Pengaruh Penutupan Mangrove Terhadap Perubahan Garis Pantai dan Intrusi Air Laut di Hilir DAS Ciasem dan DAS Cipunegara, Kabupaten Subang	Menganalisis pengaruh tutupan mangrove terhadap perubahan garis pantai dan intrusi air laut pada hilir DAS.	<i>On screening digitizing</i> , analisis sampel air kandungan Na, Cl, CO ₃ , dan HCO ₃	Citra Landsat 8, Daya Hantar Listrik (DHL) dan Total Dissolved Solid (TDS) air sumur.	Terjadi abrasi di Ujung Pamanukan dan Teluk Ciasem hingga 1,2 km ke arah daratan dan di Desa Tegalurung yang penggunaan pantainya Sebagian besar tambak bermangrove yang

	(Salim dkk. 2016)				mempunyai nilai DHL dan TDS air tanah yang tergolong dalam kategori air tawar.
3.	Spektral Analisis untuk Pengamatan Keragaman Vegetasi Mangrove di Labuhan Maringgai, Lampung Timur (Ghazali, 2020)	Untuk menganalisis perubahan luas area hutan dan keragaman vegetasi mangrove dengan kombinasi citra satelit penginderaan jauh, yaitu Aster dan Sentinel 2.	<i>K-Means Clustering</i> dan <i>Decision Tree</i>	Aster 2012, Sentinel 2 2019	Perubahan area mangrove dari 240,30 ha pada tahun 2012 menjadi 553,074 ha pada tahun 2019; dan diperoleh 9 keragaman vegetasi mangrove, dengan <i>Avicennia</i> menjadi jenis terbanyak dan terluas penyebarannya

Penelitian terdahulu oleh Hilmi dkk (2017) bertujuan menganalisis hubungan antara luas mangrove dan intrusi air laut yang terjadi di ekosistem pesisir Jakarta Utara dengan pemodelan sistem *loop* antar variabel. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan pada wilayah pesisir Desa Margasari dan Desa Sriminosari yang relatif memiliki karakteristik lokasi yang berbeda serta menggunakan pemodelan regresi linier berganda yang memaksimalkan hubungan antara salinitas lapangan dengan band citra Sentinel 2. Lalu penelitian yang dilakukan oleh Salim dkk (2016) bertujuan untuk menganalisis dampak tutupan mangrove akan perubahan garis pantai dan intrusi air laut pada hilir DAS yang didasarkan pada nilai DHL dan dengan metode *on screening digittazing*. Sedangkan pada penelitian ini penulis menganalisis intrusi air laut yang terjadi menggunakan nilai salinitas dan menganalisis perubahan luas mangrove menggunakan metode *supervised classification*. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Ghazali (2020) yang menganalisis perubahan keragaman vegetasi mangroven hanya sampai pada genusnya saja, pada kali ini penulis mencoba untuk menganalisis perubahan

keragaman mangrove hingga sampai tingkat spesies. keragaman mangrove hingga sampai tingkat spesies.

2.2 Ekosistem Mangrove

Mangrove bukan nama sebuah tumbuhan, melainkan nama suatu ekosistem hutan yang tumbuh di pinggir pantai. Di Indonesia, nama hutan mangrove identik dengan nama bakau yang justru merujuk pada suatu spesies mangrove bernama bako (*Rhizophora* sp). Umumnya mangrove dapat ditemukan di seluruh kepulauan Indonesia. Mangrove paling luas ada di Irian Jaya ±1.350.600 ha (38%), Kalimantan 978.200 ha (28 %) dan Sumatera 673.300 ha (19%) (Noor dkk., 2012). Di daerah-daerah ini dan juga daerah lainnya, mangrove tumbuh dan berkembang dengan bagus pada pantai yang mempunyai sungai besar dan terlindungi. Hutan mangrove merupakan jenis hutan tropika yang khas tumbuh di sekeliling pantai ataupun muara sungai yang terpengaruh oleh pasang surut air laut. Mangrove seringkali ditemukan di berbagai pantai teluk yang estuaria, dangkal, delta, serta terlindungi (Rahim & Baderan, 2017).

Kemampuan khusus dari tumbuhan mangrove digunakan untuk penyesuaian dengan keadaan lingkungan yang ekstrim, seperti keadaan tanah yang tergenang, kadar garam yang tinggi serta keadaan tanah yang relatif tidak stabil. Menurut Djamaluddin (2018) tumbuhan mangrove mempunyai tiga mekanisme dalam merespon lingkungan yang mengandung garam. Pertama, kelompok tumbuhan mangrove sekretor garam (salt secretors) yaitu tumbuhan mangrove yang menyerap air dengan salinitas tinggi kemudian mengekskresikan garam dengan kelenjar garam yang berada pada daun. Mekanisme ini dapat dilihat pada gambar 2 dan biasanya ditemukan pada *Avicennia*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, *Achantus*, dan *Laguncularia*. Kedua, kelompok tumbuhan mangrove penyaring garam (salt excluders) yaitu tumbuhan mangrove yang menyerap air tetapi mencegah masuknya garam melalui saringan yang terdapat pada akar. Kapasitas akar untuk menyaring garam ditentukan melalui proses perbedaan permeabilitas membran dalam akar. Mekanisme ini ditemukan pada *Rhizophora*, *Ceriops*, *Sonneratia*,

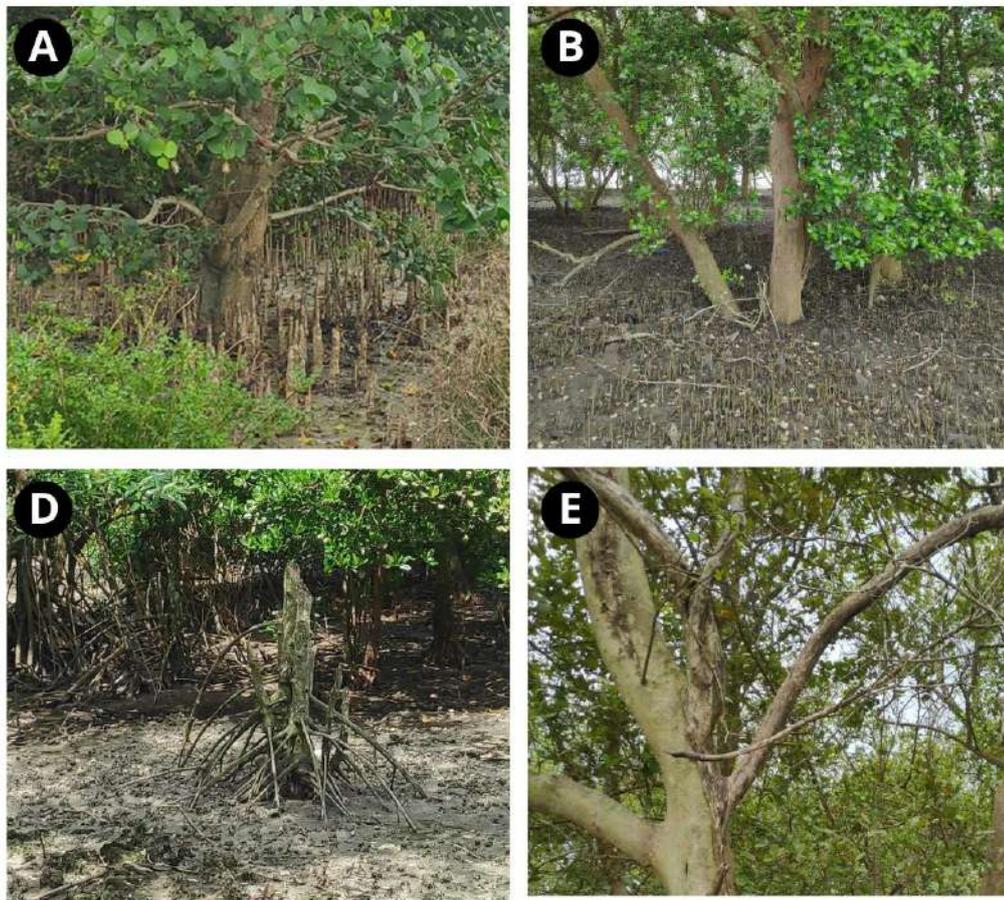
Avicennia, *Osbornia*, *Bruguiera*, *Excoecaria*, *Aegiceras*, *Aegiaitidis*, dan *Acrostichum*. Ketiga, kelompok tumbuhan mangrove pengumpul garam (salt accumulators) yaitu kelompok tumbuhan mangrove yang menyerap garam tetapi kemudian mengumpulkan garam pada jaringan tertentu. Ion natrium dan klorida dikumpulkan pada kulit batang dan akar, dan juga dalam daun yang telah tua. Penyimpanan garam dalam daun yang telah tua seperti pada *Excoecaria*, *Sonneratia*, dan *Lumnitzera* berkaitan dengan ciri daun yang mengandung banyak air (succulent). Kelebihan garam dari jaringan metabolik dipindahkan ke daun tua sebelum jatuh. Pada *Xylocarpus* dan *Excoecaria*, pengguguran daun tahunan dipandang sebagai mekanisme pemindahan garam sebelum periode pertumbuhan baru dan proses produksi buah.



Gambar 2. Sekresi garam pada daun mangrove.
(Sumber : kesemat.or.id)

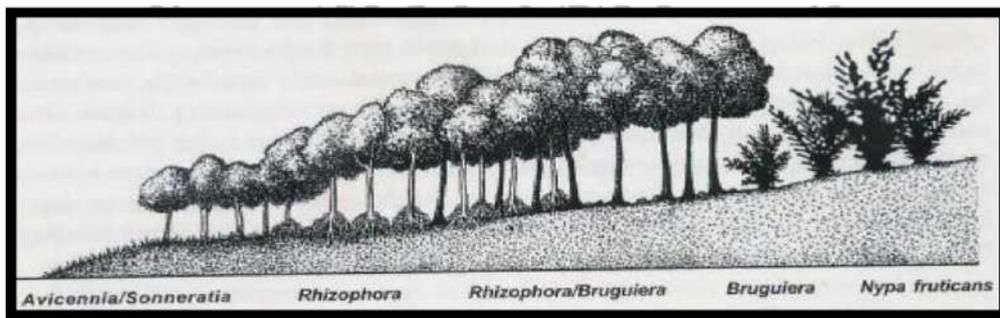
Karakteristik spesies mangrove yang menarik dapat dilihat dari sistem perakaran dan buah. Habitat mangrove memiliki tanah yang anaerobik (hampa udara) dikarenakan substrat yang selalu terendam sehingga jumlah oksigen menjadi sangat terbatas. Sistem perakaran khusus pada beberapa spesies yaitu akar udara cocok untuk kondisi tanah yang anaerobik. Sebenarnya terdapat beberapa macam sistem perakaran, yaitu akar napas, akar lutut, akar tunjang, akar papan baner, dan akar gantung. Akar napas memiliki ciri keluar dari sistem akar kabel secara berentetan dan mucul ke udara, akar jenis ini bisa ditemui pada *Avicennia* dan *Sonneratia*. Lalu akar lutut yang merupakan modifikasi dari sistem akar kabel yang berkembang ke atas hingga keluar dari substrat kemudian turun kembali, berbentuk seperti lutut yang dibengkokkan, akar jenis ini seperti pada *Bruguiera*.

Akar tunjang memiliki ciri keluar dari batang dan menancap ke dalam substrat seperti yang ada pada *Rhizophora*. Sedangkan akar papan memiliki ciri keluar dari bagian pangkal batang, berbentuk pipih seperti yang ditemukan pada *Heritiera*. Lalu akar gantung bercirikan akar yang keluar dari batang tetapi biasanya menancap pada substrat seperti yang ditemukan pada *Achantus*, *Avicennia*, *Rhizophora*.



Gambar 3. Jenis akar pada mangrove : (A) Akar napas *Sonneratia alba*, (B) Akar napas *Avicennia marina*, (C) Akar tunjang *Rhizophora*, (D) Akar gantung *Avicennia marina*.
(Sumber : foto pribadi penulis)

Hutan mangrove di Indonesia dapat dibedakan menjadi empat zonasi, yaitu zona api-api - preparat (*Avicennia-Sonneratia*), zona bakau (*Rhizophora*), zona tanjang (*Bruguiera*), zona nipah (*Nypa*). Pembagian zonasi tersebut berbentuk memanjang dari arah laut ke darat (Poedjirahajoe, 2013) (Gambar 4).



Gambar 4. Zonasi mangrove (Sumber : Rosyidah, 2020)

Zona yang terletak paling luar atau terdekat dengan laut yaitu zona api-api - prepat (*Avicennia-Sonneratia*). Zona ini memiliki kondisi tanah berlumpur agak lembek, sedikit bahan organik dengan salinitas tinggi. Didominasi oleh jenis-jenis api-api (*Avicennia*), dan prepat (*Sonneratia*), dan umumnya berasosiasi dengan jenis bakau (*Rhizophora*). Kemudian zona yang berada di belakang api-api dan prepat, yaitu zona bakau dengan kondisi tanah yang berlumpur, dan lembek. Banyak terdapat berbagai jenis bakau (*Rhizophora*) dan berasosiasi dengan jenis tanjang (*Bruguiera*), Nyirih (*Xylocarpus*), dan Dungun (*Heritiera*). Lalu zona tanjang yaitu zona yang berada di belakang zona bakau, relatif sedikit jauh dari laut dekat dengan daratan, kondisi tanah yang berlumpur dan sedikit keras. Pada umumnya zona ini tumbuh beberapa jenis tanjang dan di beberapa daerah berasosiasi dengan jenis lainnya seperti tingi (*Ceriops*), dan dungu (*Lumnitzera*). Jenis pohon *Lumnitzera gymnorrhiza* merupakan jenis pohon penyusun terakhir mangrove. Terakhir yaitu zona nipah (*Nypa fruticane*) yang letaknya paling jauh dari laut atau paling dekat ke arah darat, kondisi tanahnya keras, salinitas sangat rendah, sedikit dipengaruhi pasang surut, dan kebanyakan berada di tepi-tepi sungai dekat laut. Biasanya area ini tumbuh jenis nipah, *Deris sp.*, dan sebagainya.

2.3 Biodiversitas Mangrove

Biodiversitas adalah kata serapan dari kata bahasa inggris *biodiversity*. *Biodiversity* singkatan dari *biological diversity* atau yang berarti keanekaragaman hayati. Menurut *American Museum of Natural History* biodiversitas adalah keragaman kehidupan di bumi pada semua tingkatannya, dari gen sampai

ekosistem, dan bisa mencakup proses evolusi, ekologi, serta budaya yang menyokong kehidupan. Pada Wati dkk (2016) menerangkan keanekaragaman hayati atau biodiversitas yaitu semua kehidupan makhluk hidup yang ada di bumi mencakup tumbuhan, hewan, jamur dan mikroorganisme serta beragam materi genetik yang ada serta keanekaragaman sistem ekologi yang merupakan tempat tinggal makhluk hidup. Keanekaragaman hayati berkembang dari keanekaragaman tingkat gen, keanekaragaman tingkat jenis, dan keanekaragaman tingkat ekosistem.

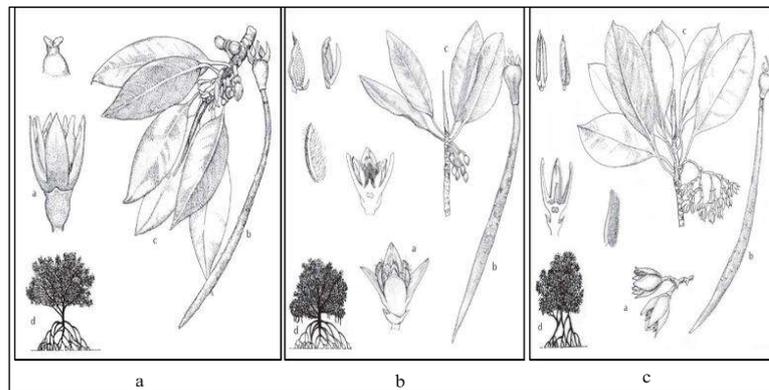
Keanekaragaman tingkat jenis membicarakan seputar pada keragaman dari masing-masing jenis makhluk hidup. Keanekaragaman tingkat jenis adalah keanekaragaman spesies organisme yang hidup pada suatu ekosistem, di daratan sampai di perairan dan setiap organisme mempunyai ciri yang berlainan antara satu dengan yang lainnya (Bappenas, 2015). Pada penelitian ini akan membahas mengenai keanekaragaman tingkat jenis dari tumbuhan mangrove atau biodiversitas mangrove. Pada penelitian sebelumnya banyak yang sudah membahas mengenai biodiversitas mangrove (Hari, 2009; Kusmana, 2015; Mayor dkk, 2017; Irma dkk, 2020).

Ragam jenis mangrove yang ada di Indonesia sangat berlimpah, yaitu ada 202 jenis tumbuhan mangrove, yang mencakup 89 jenis pohon, 5 jenis palma, 19 jenis pemanjat, 44 jenis herba tanah, 44 jenis epifit dan 1 jenis paku. Dari 202 jenis tersebut, 43 jenis diantaranya ada 33 jenis pohon dan beberapa jenis perdu dijumpai sebagai mangrove sejati (*true mangrove*), sedangkan 10 jenis lain dijumpai di sekeliling mangrove dan diketahui sebagai jenis mangrove ikutan (*asociate*) (Noor dkk, 2012).

Dalam Anova (2013) mangrove yang sering dijumpai di pesisir laut Indonesia adalah *Rhizophora* sp (bakau), *Avicennia* sp (api-api), *Sonneratia* sp.(pedada), dan *Bruguiera* sp (tancang). Morfologi mangrove tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Rhizophora* sp (Bakau)

Rhizophora sp. merupakan salah satu jenis tumbuhan mangrove yang termasuk dalam kelompok tanaman tropis bersifat *halophytic* atau toleran terhadap garam. Ada tiga jenis yang tergolong dalam *Rhizophora* sp., yaitu *R. mucronata*, *R. apiculata* dan *R. stylosa* (Amin dkk, 2015). Ketiga jenis tersebut merupakan jenis yang umum di hutan mangrove dan dikenal dengan nama bakau. Pohon-pohon jenis ini mudah dikenali karena bentuk perakarannya yang menyerupai jangkar, tinggi pohon dewasa dapat mencapai 10 sampai 40 m, diameter batang 50 sampai 70 cm, bentuk buah lonjong, bunga berwarna putih, putih kekuningan, kuning kehijauan serta daunnya selalu hijau mengkilap permukaannya (Noor dkk, 2012).

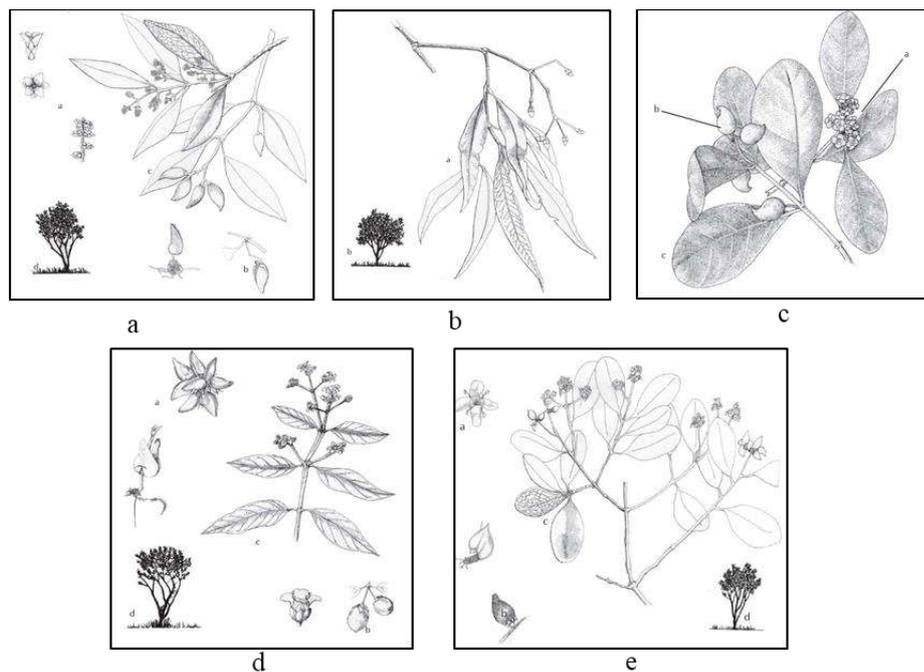


Gambar 5. Morfologi *R. apiculata* (a), *R. mucronata* (b), *R. stylosa* (c).

Sumber : (Noor dkk, 2012)

2. *Avicennia* sp (Api-api)

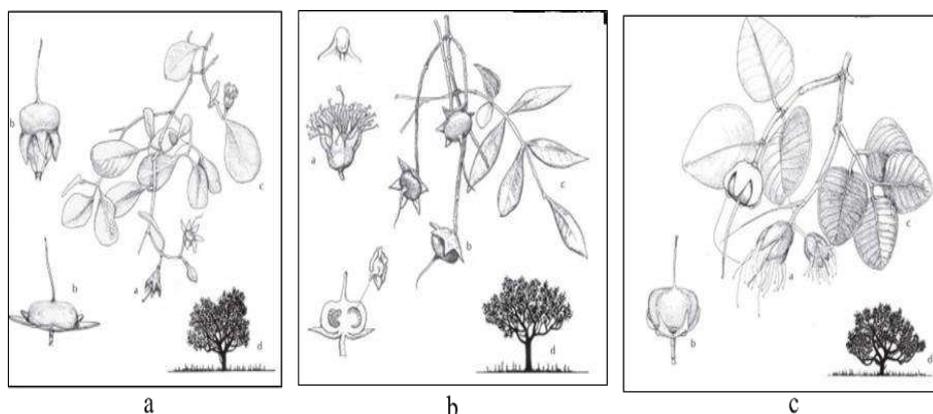
Avicennia sp dikenal dengan api-api merupakan jenis mangrove pioneer yang mampu beradaptasi dengan salinitas tinggi (Hilmi dkk, 2017). Ada lima jenis yang tergolong dalam *avicennia* sp yaitu *A. alba*, *A. eucalyptifolia*, *A. lanata*, *A. marina*, *A. officinalis* L. Mangrove jenis ini memiliki ketinggian 8 sampai 25 m, sistem perakaran nafas, kelopak bunga yang berwarna putih, kuning cerah, merah muda, jingga, ukuran daun 4 sampai 16 cm (Noor dkk, 2012).



Gambar 6. Morfologi (a) *A. alba*, (b) *A. eucalyptifolia*, (c) *A. lanata*, (d) *A marina*, (e) *A. officinalis* L. (Sumber : (Noor dkk, 2012)

3. *Sonneratia* sp (Pedada)

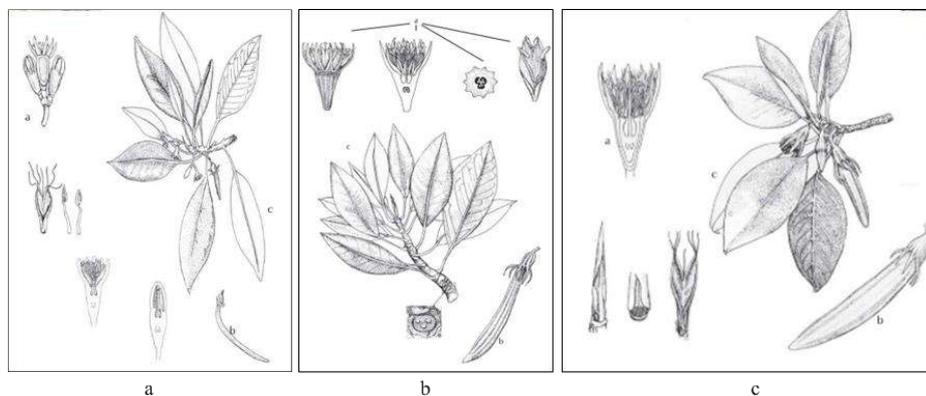
Sonneratia sp merupakan salah satu jenis mangrove yang dapat tumbuh dengan baik pada air dengan salinitas rendah (Sahromi, 2011). Jenis *sonneratia* sp antara lain *sonneratia alba*, *sonneratia caseolaris*, *sonneratia ovata*. *Sonneratia* sp memiliki ketinggian 5 – sampai 15 m, dengan sistem perakaran nafas, bentuk daun yang membundar, warna mahkota bunga putih, serta bentuk buah bulat yang bagian dasarnya terbungkus kelopak bunga (Noor dkk, 2012).



Gambar 7. Morfologi (a) *Sonneratia alba*, (b) *Sonneratia caseolaris*, (c) *Sonneratia ovata*. Sumber : (Noor dkk, 2012)

4. *Bruguiera* sp (Tanjung)

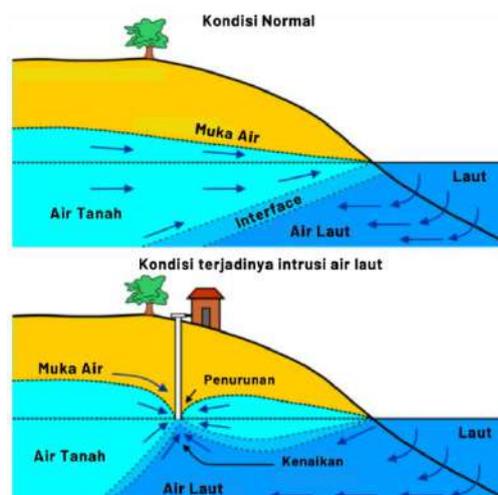
Bruguiera sp merupakan salah satu famili rhizophoraceae yang sering disebut juga burus, tanjang, pertut, taheup, dll. *Bruguiera* sp memiliki beberapa jenis diantaranya yaitu *bruguiera cylindrica*, *bruguiera exaristata*, dan *bruguiera gymnorrhiza*. Mangrove jenis ini memiliki ketinggian 10 sampai 30 m, dengan bentuk daun ellips ujung agak meruncing, bawah bunga berbentuk seperti tabung dengan 8 sampai 14 kelopak bunga, serta pangkal buah yang menempel pada kelopak bunga dan hipokotil yang berbentuk silindris memanjang.



Gambar 8. Morfologi (a) *Bruguiera cylindrica*, (b) *Bruguiera exaristata*, (c) *Bruguiera gymnorrhiza*. Sumber : (Noor dkk, 2012)

2.4 Hubungan Intrusi Laut dan Keberadaan Mangrove

Intrusi air laut adalah merembesnya atau masuknya air laut ke dalam akuifer air tanah karena tekanan air tanah lebih kecil dibandingkan dengan tekanan air laut (Costall dkk, 2018). Pada daerah pantai, terdapat bidang kontak antara air laut dan air tawar (tanah). Air laut memiliki berat jenis yang lebih tinggi dari pada air tawar yang berakibat air laut akan mendesak air tanah semakin masuk. Air tanah memiliki piezometric yang mendesak lebih kuat air laut sehingga normalnya air laut tidak bisa masuk jauh ke daratan, lalu terbentuklah interface sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Kondisi itu merupakan kondisi kesetimbangan antara air laut dan air tanah. Namun di suatu kondisi bahwa ketika air tanah dipompa keluar secara berlebihan, bidang kesetimbangan tersebut akan diisi oleh air laut, sehingga terjadi fenomena intrusi air laut (Herdyansah, 2017)).



Gambar 9. Ilustrasi intrusi air laut di aquifer pantai
 Sumber : (Niculescu and Andrei, 2021)

Berdasarkan Chafid, dkk (2012) dari tahun ke tahun luas mangrove mengalami kemerosotan. Penurunan luas mangrove diantaranya terjadi karena adanya aktivitas manusia di sekitar hutan yang melakukan penebangan dan pengambilan kayu mangrove, alih fungsi lahan menjadi lahan tambak untuk budidaya perairan, pengelolaan dan pemanfaatan wilayah pesisir yang belum terarah (Rahim & Baderan, 2017). Penurunan luas tersebut berdampak pada hilangnya fungsi ekologi dan sosio-ekonomi dari hutan mangrove dan berkontribusi meningkatnya salinitas pada tanah dan air (Ghazali, 2020). Meningkatnya salinitas ini merupakan wujud dari intrusi air laut. Padahal menurut Salim, dkk (2016) adanya mangrove berperan penting dalam tata air termasuk menahan intrusi air laut.

Hilmi dkk, (2017) menjelaskan bahwa *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Rhizophora stylosa*, *Sonneratia alba* dan *Sonneratia caseolaris* merupakan jenis mangrove yang mempunyai kemampuan terbaik dalam meredam intrusi air laut. Ekosistem mangrove memiliki kemampuan untuk mengurangi intrusi air laut karena mangrove dapat menghilangkan pengaruh salinitas, pH, dan kondisi anaerob. Ekosistem mangrove juga memiliki kelenjar pengekskresi garam, kelenjar pengumpul garam dan kelenjar pengusir garam, akar spesifik, aktivitas akar, pertumbuhan spesifik dan metabolisme lain untuk mengurangi dampak air laut dalam metabolisme mangrove. Oleh karena itu, degradasi dan deforestasi ekosistem mangrove menyebabkan berkurangnya fungsi mangrove untuk mengurangi intrusi air laut.

2.5 Pengamatan Intrusi Air Laut

Intrusi air laut dapat diidentifikasi dengan air tanah yang terasa asin akibat pengaruh laut. Prihartanto dkk, 2017 menjelaskan asinnya air tanah diakibatkan dua hal, yaitu: yang pertama karena air *connate* yang terjebak dalam akuifer, kedua karena intrusi air asin ke dalam air tanah. Intrusi air laut dapat diperkirakan melalui pengukuran salinitas yang diestimasi melalui pembacaan konduktifitas (daya hantar listrik) dan temperatur pada kedalaman yang sama. Salinitas adalah salah satu parameter fisika yang dapat digunakan sebagai parameter kualitas air (Rismayatika dkk, 2019). Pada umumnya setiap perairan memiliki karakteristik salinitas tersendiri (Tabel 2). Tingkat salinitas di perairan air laut tentu akan berbeda dengan di wilayah perairan air tawar.

Tabel 2. Klasifikasi jenis perairan berdasarkan nilai salinitas

Nilai Salinitas %	Kelas Intrusi
<0.2	Tidak ada
0.2 - 0.5	Rendah
0.5 – 1.0	Sedang
> 1.0	Tinggi

Sumber : (Aslam dkk, 2015)

Daya Hantar Listrik (DHL) adalah gambaran numerik dari kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik. Oleh karena itu semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi pula nilai DHL (Indriastoni & Kustini, 2014). Pendekatan nilai DHL mempunyai hubungan dengan nilai salinitas, yang disebabkan oleh ion garam terlarut (Febriarta & Widyastuti, 2020). Sehingga distribusi nilai DHL dapat digunakan sebagai indikator terjadinya intrusi.

Alat ukur yang dipakai untuk mengukur salinitas adalah salinometer. Salinometer bekerja berdasarkan daya hantar listrik, semakin besar salinitas maka akan semakin besar juga daya hantar listrik yang terukur (Prakosa dkk, 2020). Salinometer digunakan dengan cara mencelupkan alat tersebut ke dalam wadah yang telah diisi air yang hendak diuji, kemudian skala salinitas akan terbaca secara digital pada salinometer seperti pada gambar 8. Studi yang pernah dilakukan oleh Kusri (2018) menggunakan salinometer untuk mengidentifikasi intrusi pada air

sumur warga di Kecamatan Ternate Utara. Sedangkan untuk mengukur intrusi pada tanah dilakukan dengan mencampurkan tanah dengan air distilasi (air suling) dengan rasio 1 : 5.



Gambar 10. Salinometer. Sumber : (Prakosa dkk, 2020)

2.6 Sentinel 2 untuk Perubahan Luas Mangrove dan Pengamatan Intrusi

Sentinel 2 memiliki misi utama dalam pengoperasiannya diantaranya yaitu : pemantauan lahan, manajemen darurat, keamanan dan perubahan iklim, serta laut. Pemantauan lahan meliputi tanah, air, pertanian, hutan, daerah terbangun, dll (ESA, 2021). Sentinel-2 memiliki sensor *Multi-Spectral Instrument* (MSI), yang mengukur pancaran sinar spektral matahari yang dipantulkan dalam 13 pita spektrum mulai dari yang terlihat hingga band inframerah gelombang pendek (SWIR) (Pahlevan dkk, 2017). Sensor ini menghasilkan 13 band spektral mulai dari ukuran piksel 10 m, 20 m dan 60 m seperti yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi teknis band pada Sentinel-2

No. Band	Nama Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
1	Ultra blue	443	60	Koreksi atmosferik (hamburan aerosol)
2	Blue	490	10	Perkembangan vegetasi, karatenoid, keadaan tanah, koreksi atmosferik (hamburan aerosol)
3	Green	560	10	Puncak sinar hijau, sensitive terhadap total klorofil pada vegetasi
4	Red	665	10	Absorpsi klorofil maksimum
5	Red-Edge (RE) 1	705	20	Konsolidasi koreksi atmosferik/ dasar fluoresensi, posisi tepi band merah
6	Red-Edge (RE) 2	740	20	Deteksi batas warna merah, koreksi atmosferik, penerimaan beban aerosol
7	Red-Edge	783	20	Indeks area daun, tepi puncak NIR
8	Near Infrared (NIR)	842	10	Indeks area daun
8a	Near Infrared (NIR)	865	20	Puncak NIR yang sensitive dengan total klorofil, biomassa, indeks tepi daun dan protein, referensi penyerapan uap air, penerimaan beban dan tipe aerosol
9	Water vapour	945	60	Koreksi atmosferik untuk mengetahui absorpsi uap air
10	Shortwave Infrared/ Cirrus	1380	60	Koreksi atmosferik untuk mengetahui awan yang tipis (cirrus)
11	Shortwave Infrared (SWIR) 1	1610	60	Sensitif terhadap lignin, pati dan hutan di atas biomass tanah, pemisahan salju/es/awan
12	Shortwave Infrared (SWIR) 2	180	60	Penilaian kondisi vegetasi, pembedaan tanah liat untuk pemantauan erosi tanah, perbedaan antara biomassa hidup, mati dan tanah.

Sumber : Oktaviani and A Kusuma 2017 dengan modifikasi penulis

Penggunaan Sentinel 2 untuk menganalisis perubahan luas mangrove telah banyak dilakukan sebelumnya. Latifah dkk (2018) mengklasifikasi dan menganalisa perubahan ekosistem mangrove menggunakan Sentinel 2 di Karimunjawa dengan tingkat akurasi 83 %. Kemudian penelitian oleh Rahmawati & Ari (2022) mengkaji perubahan luas kawasan mangrove berbasis *cloud computing* dengan Sentinel 2 di Provinsi DKI Jakarta. Penelitian lain oleh Ghazali (2020) yang menganalisis keragaman vegetasi serta perubahan luas hutan mangrove menggunakan citra satelit ASTER dan Sentinel 2 di Labuhan Maringgai

Penggunaan Sentinel 2 untuk memetakan salinitas juga pernah dilakukan sebelumnya. Morgan dkk (2018) menggunakan Sentinel 2 pada band 2, 3, 4, 8, 11, dan 12 untuk memprediksi salinitas tanah menggunakan metode *artificial neural networks* (ANN) dengan akurasi hasil prediksi mendapatkan koefisien determinasi R^2 sebesar 0.94. Penelitian lain dilakukan oleh Wang dkk (2021) yang memetakan salinitas tanah menggunakan algoritma pembelajaran mesin dengan Sentinel 2 di China. Berdasarkan penelitian-penelitian di atas Sentinel 2 terbukti berpotensi dalam mengkaji perubahan luas hutan mangrove ataupun intrusi air laut.

2.7 Hubungan NDVI dan Biodiversitas mangrove

Normalized difference vegetation index (NDVI) adalah indeks pada tanaman berwarna hijau dan merupakan salah satu indeks vegetasi yang paling umum digunakan. NDVI adalah rasio perbedaan dan jumlah pengukuran reflektansi spektral yang diperoleh pada daerah merah dan inframerah terdekat yang terlihat, lalu dipantulkan oleh permukaannya dan kemudian diukur oleh sensor satelit. Secara matematis NDVI dihitung melalui kombinasi matematis antara band merah /Red dan band infra merah dekat / Near-Infrared Radiation (NIR) (Taufik dkk, 2021). Algoritma. NDVI dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad \text{(Pers 1)}$$

Perhitungan tersebut merupakan rasio dari radiasi yang dipantulkan melalui radiasi yang masuk di setiap pita spektral yang dapat bervariasi antara 0 dan 1. NDVI dapat berkisar dari -1 hingga +1, Nilai sekitar nol menunjukkan daerah tandus dengan sangat jarang atau tanpa vegetasi; lebih banyak nilai positif menunjukkan lebih banyak vegetasi hidup, lebih banyak nilai negatif umumnya menunjukkan adanya air, awan atau salju yang berdiri bebas.

Ghazali (2020) menggunakan NDVI untuk studi identifikasi biodiversitas mangrove. Dalam penelitiannya dari hasil pengolahan NDVI dapat mengidentifikasi keragaman vegetasi mangrove. Jumlah kelas dari hasil klasifikasi nilai NDVI mengindikasikan terdapat keragaman vegetasi mangrove, seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. Nilai NDVI untuk mendeteksi biodiversitas mangrove

Indeks	Mangrove		
	<i>Avicennia</i>	<i>Rhizophora</i>	<i>Soneratia</i>
NDVI	0.62	0.56	0.73

Sumber : (Ghazali, 2020)

2.8 Efektivitas Regresi

Regresi linier terbagi menjadi regresi linier sederhana dan regresi linier berganda. Regresi linier berganda bertujuan untuk menelusuri pola hubungan antara variabel terikat dengan dua atau lebih variabel bebas (Uyanik & Güler, 2013). Perhitungan regresi menggunakan persamaan 2.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (\text{Pers 2})$$

y = variabel terikat

x = variabel bebas

β = parameter/nilai koefisien regresi

ε = error

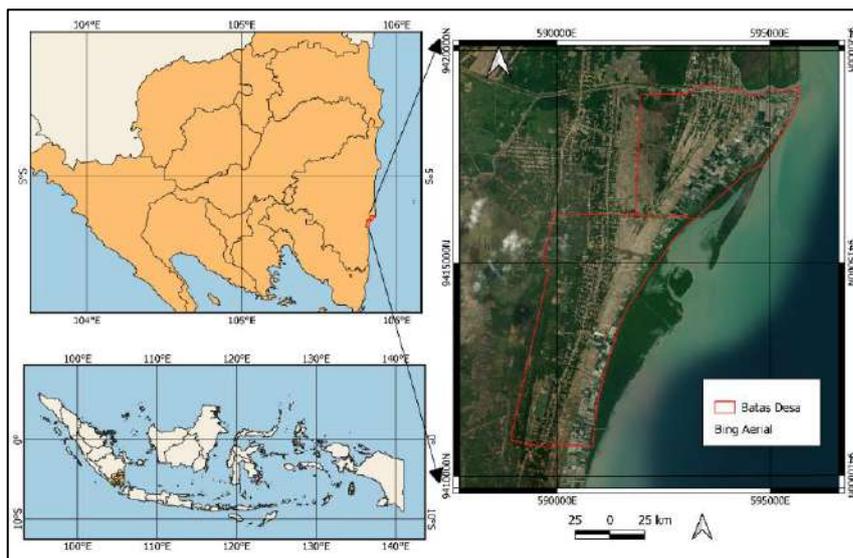
n = jumlah data

Metode ini merupakan tahap untuk membangun pemodelan dalam mengestimasi intrusi air laut yang terjadi. Pemodelan dibangun dengan mempelajari hubungan antara data lapangan (salinitas) dengan nilai piksel Sentinel 2 sehingga didapatkan estimasi intrusi di lokasi penelitian. Shahabi dkk (2017) memodelkan salinitas tanah menggunakan regresi linier berganda, kriging, dan *artificial neural network* (ANN). Penelitian lain oleh Taghadosi dkk (2019) melakukan pemodelan salinitas dan pemetaan *electrical conductivity* (EC) dengan pendekatan analisis regresi dengan Sentinel 2 dan mendapatkan R² sebesar 87.42% dan RMSE sebesar 5.1962.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di Desa Sriminosari dan Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung (Gambar 11). Desa Sriminosari memiliki luas $\pm 12,50 \text{ km}^2$ dan Desa Margasari memiliki luas $\pm 17,02 \text{ km}^2$, serta keduanya berada di dataran rendah dengan ketinggian 6 m dan 5 m di atas permukaan laut (MSL) (BPS, 2021). Berdasarkan penuturan Camat Labuhan Maringgai sebagian besar mata pencaharian penduduk di kedua desa ini adalah sebagai nelayan, petani tambak, petani sawah, dan beberapa petani kebun. Kedua desa ini termasuk desa di Kecamatan Labuhan Maringgai yang di sepanjang pesisirnya terdapat hutan mangrove. Selain mangrove, tutupan lahan pada pesisir Desa Sriminosari dan Desa Margasari juga didominasi oleh tambak, sawah, dan pemukiman serta sebagian kecil tutupan lahan berupa kebun kelapa sawit dan kebun kelapa. Pengambilan data lapangan dilakukan selama 3 hari yaitu pada tanggal 2 Juli sampai 4 Juli tahun 2022.

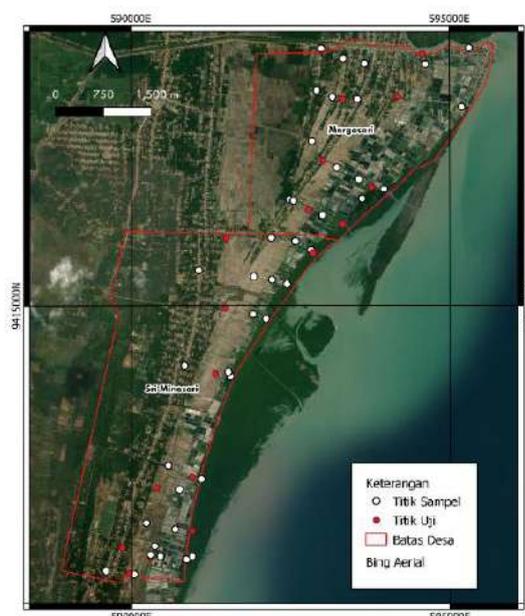


Gambar 11. Lokasi penelitian

3.2 Data

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil langsung di lapangan berupa kadar salinitas dan biodiversitas mangrove di desa Sriminosari dan Margasari. Karena keterbatasan dana, tenaga, dan waktu maka peneliti mengambil beberapa sampel dari populasi. Sampel diambil dengan metode *stratified random sampling* yaitu setiap 500 m dan dengan memperhatikan tiap penggunaan lahan yang harus mewakili seperti pemukiman, sawah, tambak, dan mangrove. Terdapat 42 titik olah untuk perhitungan regresi dalam mengestimasi intrusi air laut dan 18 titik uji untuk uji akurasi model regresi yang dibuat.



Gambar 12. Distribusi titik sampel

3.2.2 Data Sekunder

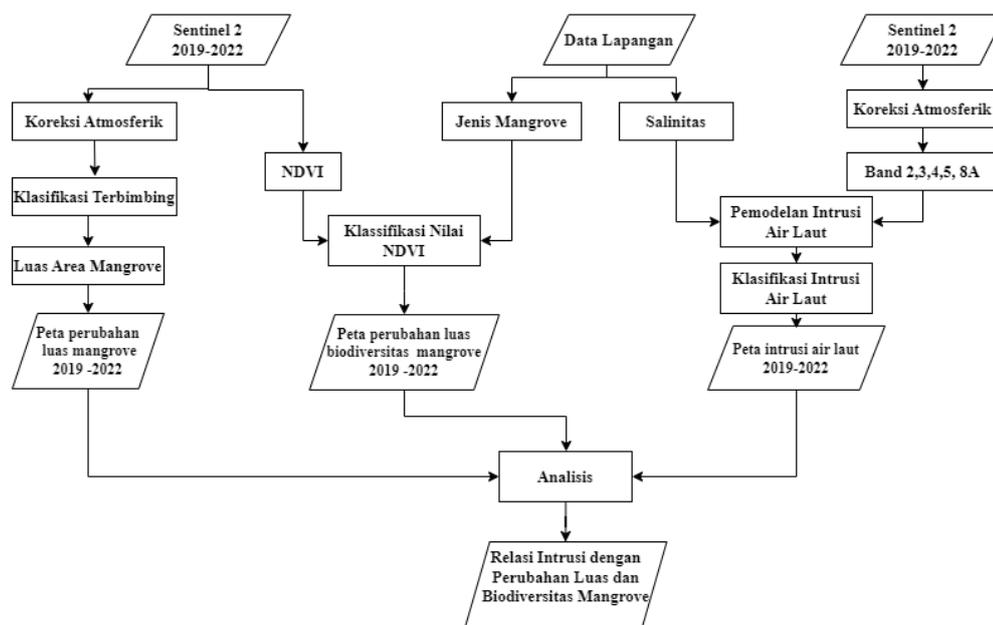
Data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini adalah citra satelit Sentinel 2 dari tahun 2019 sampai 2022 yang diunduh dari website <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Dari 13 band pada Sentinel-2, peneliti menggunakan band dengan resolusi spasial paling baik yaitu 10 m yang terdapat pada band 2,3,4, 5 dan 8A. Secara lengkap, kebutuhan data citra satelit Sentinel 2 yang diperlukan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data penginderaan jauh dalam penelitian

No.	Sentinel 2	Tahun
1.	L1C_T48MWV_A012070_20190629T031832	2019
2.	L1C_T48MWV_A024768_20200320T030130	2020
3.	L1C_T48MWV_A029773_20210305T031012	2021
4.	L1C_T48MWV_A036637_20220628T030842	2022

3.3 Metode

Rincian keseluruhan tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Diagram alir penelitian

Kegiatan penelitian diawali dengan pengambilan data lapangan berupa nilai salinitas dan biofisik biodiversitas mangrove. Kadar salinitas diukur menggunakan alat salinometer. Lalu pengumpulan data sekunder berupa citra Sentinel 2 dari tahun 2019 sampai tahun 2022. Data Sentinel 2 yang telah diunduh harus dikoreksi terlebih dahulu, sehingga bisa digunakan untuk pengolahan citra selanjutnya. Nilai *reflectance* yang sudah terkoreksi akan dihubungkan dengan nilai salinitas lapangan dengan metode regresi linier berganda. Sehingga akan didapatkan persamaan untuk

mengestimasi nilai salinitas pada keseluruhan area. Estimasi salinitas diklasifikasi tingkat intrusi air lautnya berdasarkan tabel 1 menjadi 4 kelas.

Kemudian pengolahan data sekunder Sentinel 2 untuk mendapatkan perubahan luas mangrove. Perubahan luas mangrove didapatkan dari klasifikasi tutupan lahan lokasi penelitian dengan metode *supervised classification*. Selanjutnya untuk data biodiversitas mangrove diintegrasikan dengan nilai NDVI nya, sehingga didapatkan rentang nilai NDVI pada setiap jenis mangrove. Lalu untuk pengolahan. Lalu untuk mengetahui hubungan antara luas mangrove dengan intrusi yang terjadi maka digunakan analisis grafik garis dari tahun 2019 hingga tahun 2022.

3.4 Pengambilan Data Lapangan

Kadar salinitas diukur menggunakan alat 5-1 *digital water quality tester*. Jika sampel berupa tanah dan lumpur, alat ukur tidak bisa langsung digunakan. Tanah dan lumpur harus terlebih dahulu dilarutkan dalam gelas plastik yang berisi aquades 50 ml dengan rasio 1 tanah : 5 aquades, kemudian diaduk hingga keduanya tercampur (Hardie & Doyle, 2012). Sedangkan untuk air tambak, sumur, atau air lainnya maka alat ukur salinitas dapat langsung digunakan.

Selanjutnya dilakukan pengambilan data biodiversitas mangrove. Tahapan ini dilakukan dengan cara mencocokkan ciri morfologi (bentuk daun, bunga, biji, akar) pada setiap jenis mangrove yang ditemui dilapangan dengan pustaka yang disediakan oleh (Noor dkk, 2012). Selain daripada itu, diperlukan juga pengukuran ciri biofisik tinggi pohon, diameter kanopi, dan diameter batang. Ketiga ciri tersebut sebenarnya lebih sesuai untuk pengukuran biomassa dari vegetasi mangrove, namun tidak menutup kemungkinan juga mempunyai relasi pada intrusi air laut. Adapun cara untuk melakukan pengukuran ciri biofisik adalah sebagai berikut: diameter pohon didapatkan dari pengukuran lingkaran pohon yang diukur pada batang pohon setinggi dada atau *diameter-at-breast height* (DBH).

Tabel 6. Data primer dalam studi perubahan luas mangrove terhadap intrusi

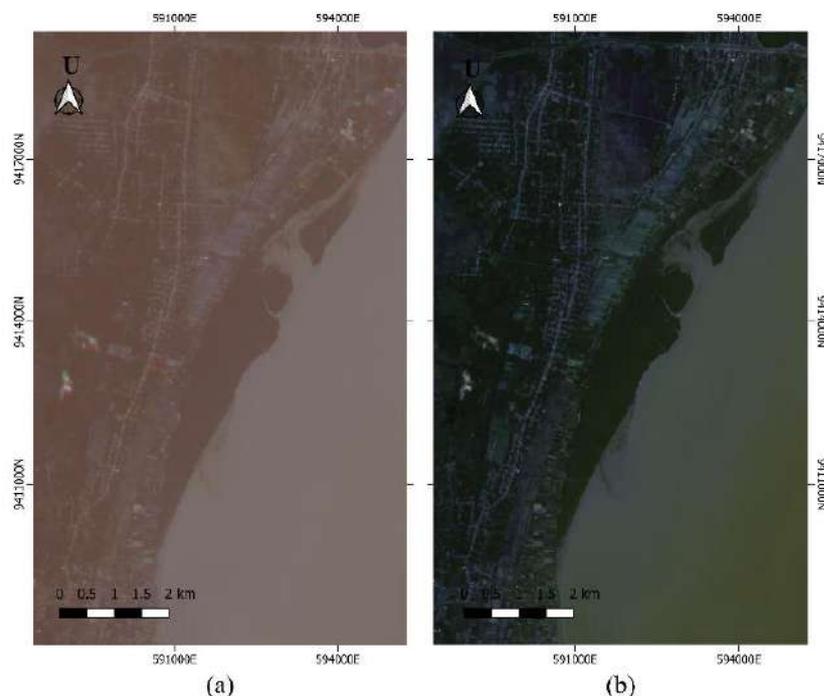
No	Data	Alat
1.	Salinitas	Water quality tester tipe EZ-9909SP
2.	Tinggi mangrove	Meteran
3.	Diameter mangrove	Meteran
4.	Daun, Bunga, akar	ATK

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Koreksi Atmosferik

Data citra Sentinel 2 yang dipakai pada penelitian ini merupakan produk level 1C dari *European Space Agency* (ESA). Dimana produk ini telah terkoreksi secara radiometrik dan geometrik (Baillarin dkk, 2012). Maka dari itu hanya perlu koreksi atmosferik pada citra Sentinel 2 yang akan digunakan. Koreksi atmosferik adalah koreksi untuk menghilangkan kesalahan radiansi yang terekam pada citra sebagai akibat dari hamburan atmosfer (*path radiance*) (Akbari, 2016).

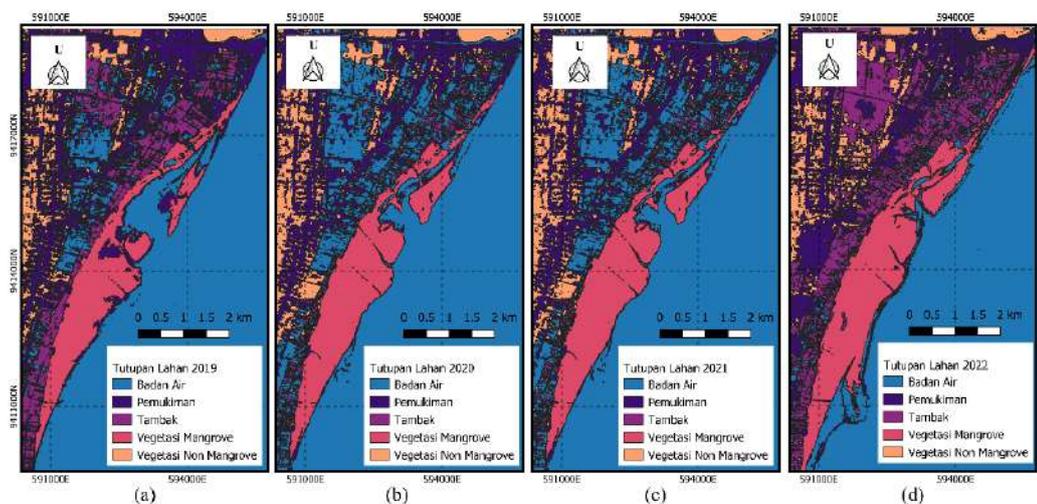
Adapun koreksi atmosferik yang sering digunakan adalah *Dark Object Substraction* (DOS). DOS adalah koreksi absolut dimana nilai reflektan pada satelit dikonversi menjadi nilai surface reflectance dengan asumsi bahwa terdapat objek yang memiliki nilai pantulan mendekati nol persen (contohnya bayangan, air jernih dalam, dan hutan lebat), meskipun demikian sinyal yang terekam pada sensor dari objek tersebut adalah hasil dari hamburan atmosfer yang wajib dihilangkan, Chavez Jr (1996) dalam Nurlina (2008). Koreksi atmosferik pada penelitian ini menggunakan *software* QGIS.316 dengan memanfaatkan *plugin Semi Automatic Classification plugin* (Congedo, 2021).



Gambar 14. Koreksi atmosferik Sentinel 2 (a) Sebelum Terkoreksi (b) Setelah Terkoreksi

3.5.2 Perubahan Luas Mangrove dengan Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) merupakan salah satu metode klasifikasi citra multispectral. Metode ini mengelaskan citra dengan cara mengambil beberapa sampel piksel/region of interest untuk memperoleh karakteristik piksel masing-masing obyek/kelas yang kemudian dikategorikan berdasarkan karakteristik nilai piksel tersebut (Utami dkk, 2016). Keunggulan metode ini yaitu memiliki kontrol pada informasi kelas berdasarkan training sampel dan adanya kontrol terhadap keakuratan klasifikasi (Septiani dkk, 2019). Perubahan luas mangrove dapat diketahui dengan metode ini, yaitu dengan mengidentifikasi luas hutan mangrove dari hasil klasifikasi pada tiap tahunnya. Sehingga akan diketahui perubahan luas hutan mangrove secara berkala ditiap tahunnya. Studi perubahan luas mangrove telah banyak dilakukan dengan metode ini (Arizal dkk, 2017; Hendrawan dkk, 2018; Mulyaningsih dkk, 2017; Utami dkk, 2016).



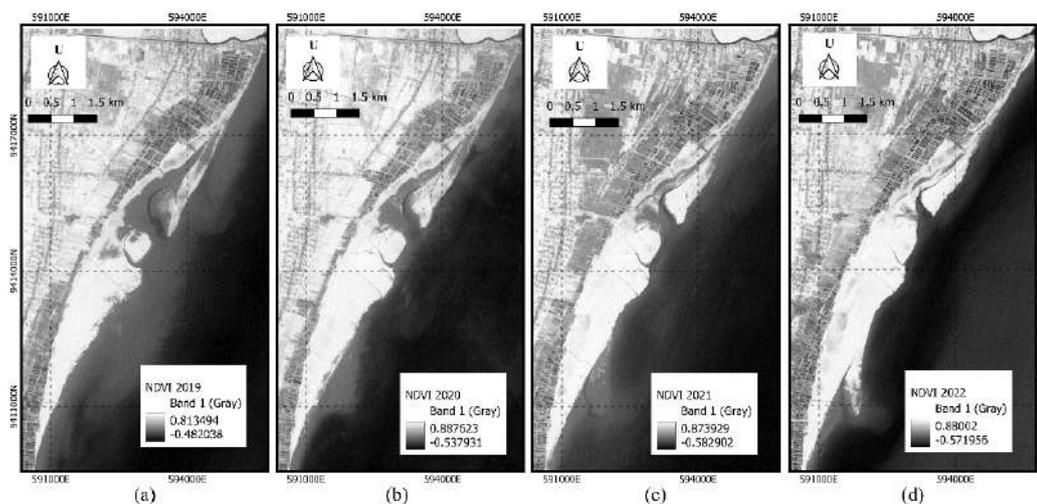
Gambar 15. Peta tutupan lahan lokasi penelitian (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022

Pengambilan *training sampel* didasarkan pada karakteristik nilai piksel pada setiap kelas tutupan lahan. Klasifikasi didasarkan pada hasil interpretasi visual yang telah direklasifikasi dan cek lapangan. Klasifikasi dilakukan dengan metode pengkelasan kemiripan maksimum (*maximum likelihood*). Metode ini mengevaluasi secara kuantitatif varian maupun korelasi pola tanggapan kategori spectral ketika mengklasifikasi piksel yang tidak dikenal (Hendrawan dkk, 2018). Setelah direklasifikasi maka akan didapat klasifikasi tutupan lahan pada lokasi studi menjadi beberapa kelas (Gambar 14).

Proses klasifikasi dilakukan pada semua citra dari tahun 2019 sampai tahun 2022. Lalu selain tutupan lahan kelas mangrove akan dieliminasi. Sehingga akan didapat empat peta tutupan mangrove di lokasi studi. Kemudian dilakukan perhitungan luas sehingga dapat diketahui perubahan luas mangrove di tiap tahunnya $\sum Lm_1 - Lm_0$.

3.5.3 Integrasi nilai NDVI dengan Biodiversitas mangrove

NDVI diolah menggunakan QGIS 3.16 sesuai dengan pers 1. Perhitungan NDVI pada Sentinel 2 menggunakan band 4 (red) dan band 8 (NIR). Hasil dari pengolahan NDVI kemudian akan diintegrasikan dengan data lapangan berupa jenis mangrove yang telah diidentifikasi sebelumnya. Sehingga akan didapatkan nilai NDVI pada setiap jenis mangrovenya.



Gambar 16. Peta NDVI lokasi penelitian (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021, (d) 2022

Kemudian nilai NDVI akan dirata-rata sehingga akan didapatkan rentang nilai NDVI setiap jenis mangrovenya. Klasifikasi jenis mangrove akan diolah menggunakan QGIS 3.16 didasarkan pada rentang nilai yang telah didapatkan. Tahapan klasifikasi ini akan pada semua citra sehingga akan didapatkan peta perubahan biodiversitas mangrove dari tahun 2019 sampai tahun 2022.

3.5.4 Estimasi Nilai Salinitas

Estimasi intrusi air laut pada keseluruhan lokasi studi dimodelkan dengan analisis regresi linier berganda (*multiple linier regression*). Estimasi intrusi dilakukan dengan melihat hubungan antar variabel yaitu band 2,3,4,5, 8A Sentinel 2 dan data salinitas lapangan. Pemilihan kelima band tersebut didasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis sebelumnya yaitu dengan uji statistik. Berdasarkan uji statistik regresi linier dan non linier didapatkan bahwa kelima band tersebut merupakan band Sentinel 2 yang memiliki hubungan yang paling baik dengan intrusi air laut (Aulia dkk, 2018).

Masing-masing band direlasikan menggunakan prinsip dasar regresi linier berganda yang terdapat pada pers 2. Band 2,3,4,5, 8A sebagai variabel bebas dan data lapangan salinitas sebagai variabel terikat. Model diolah menggunakan software R Studio yang nantinya akan didapatkan koefisien regresi yang digunakan untuk membangun persamaan regresinya. Persamaan regresi ini akan digunakan untuk mengestimasi intrusi air laut dari tahun 2019 sampai tahun 2022. Estimasi

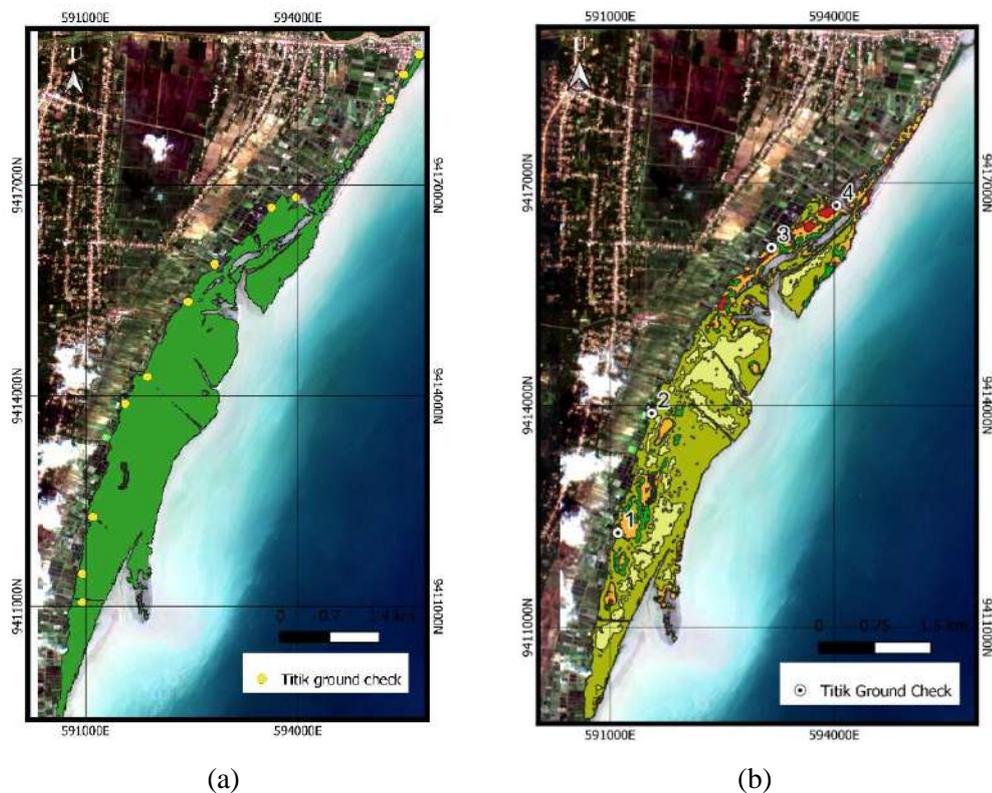
diolah menggunakan QGIS 3.16 berdasarkan persamaan yang telah dibuat. Sehingga akan didapatkan peta intrusi air laut tahun 2019 sampai tahun 2022.

3.6 Uji Akurasi

3.6.1 Uji *Ground check*

Uji *ground check* bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari hasil klasifikasi mangrove dan biodiversitas mangrove. Uji *ground check* dilakukan dengan mengecek hasil klasifikasi mangrove dan biodiversitasnya pada beberapa titik yang tersebar pada hutan mangrove di lokasi penelitian.

Uji *ground check* hasil klasifikasi mangrove dilakukan pada 12 titik acak dengan membandingkan obyek yang ditemukan di lapangan dengan data hasil klasifikasi. Sedangkan *ground check* hasil klasifikasi biodiversitas mangrove dilakukan pada 4 titik uji dari 16 titik sampel (Gambar 17).



Gambar 17. Sebaran titik *ground check* (a) luas mangrove, (b) jenis mangrove

3.6.2 Uji RMSE

Uji akurasi hasil estimasi salinitas dilakukan dengan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE merupakan persamaan untuk mengetahui tingkat kesalahan pada suatu nilai prediksi. Perhitungan RMSE dalam penelitian (Pratama dkk, 2019) dapat dilihat pada persamaan berikut (Pers. 3) :

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(E-O)^2}}{n} \quad (\text{Pers 3})$$

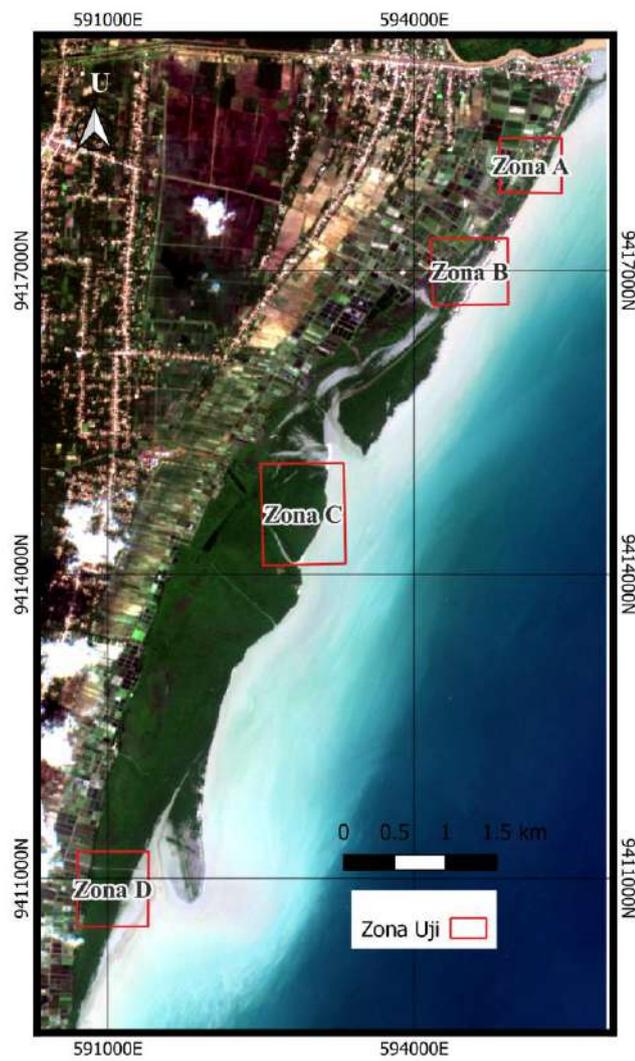
E = nilai dugaan/estimasi salinitas

O = nilai aktual/lapangan salinitas

Nilai dugaan/ estimasi didapatkan dari pengambilan nilai salinitas titik ICP dari estimasi yang telah dibuat menggunakan fitur *point sampling tools* di QGIS 3.16. Sedangkan nilai aktual/ lapangan yaitu data intrusi yang didapat di lapangan. Kemudian dilakukan perhitungan RMSE menggunakan pers 3. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0 dan kurang dari 1) yang didapatkan maka hasil estimasi yang dibuat akan semakin akurat, karena hanya terdapat tingkat kesalahan yang kecil (Suprayogi dkk, 2014).

3.7 Uji Hubungan Perubahan Luas Mangrove dengan Intrusi Air Laut

Uji hubungan perubahan luas mangrove dengan intrusi air laut yang terjadi dilakukan dengan mengambil empat area sampel di lokasi penelitian (Gambar 18). Pada 4 area tersebut diambil perubahan luas dan rata-rata nilai salinitasnya dari tahun 2019 hingga tahun 2022. Kemudian data tersebut direpresentasikan dengan grafik garis untuk mengetahui bagaimana hubungan perubahan luas yang terjadi dengan intrusi air lautnya.



Gambar 18. Zona uji hubungan perubahan luas dengan intrusi air laut

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa luas hutan mangrove di pesisir Desa Margasari dan Sriminosari mengalami peningkatan dari tahun 2019 hingga 2022 berturut-turut seluas 456,60 ha; 506,73 ha; 542,85 ha; dan 606,3 ha. Perubahan luas tersebut yang diikuti dengan terjadinya perubahan komposisi dari 3 jenis mangrove yang ada yaitu *Avicennia officinalis*, *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora apiculate*. Pada rentang tahun tersebut nilai salinitas tercatat dari 0,315% mengalami penurunan menjadi 0,255 %. Perubahan luas hutan mangrove dan biodiversitasnya ini memiliki hubungan dengan tingkat intrusi yang terjadi. Ketika hutan mangrove mengalami penambahan luas atau suatu jenis mangrove mengalami penambahan luas maka diikuti dengan nilai salinitas yang cenderung menurun. Nilai salinitas ini digunakan sebagai indikator terjadinya intrusi air laut. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan luas mangrove yang terjadi berpengaruh pada menurunnya tingkat intrusi air laut di Desa Margasari dan Sriminosari. Namun perubahan luas mangrove yang terjadi bukan satu-satunya penyebab nilai salinitas yang berubah, ada beberapa faktor lain seperti tingkat penguapan akibat rindangnya kanopi mangrove, curah hujan, arus laut, dan lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya :

1. Mempertimbangkan hubungan intrusi air laut dengan variabel lainnya seperti tingkat penguapan, curah hujan, jenis tanah, arus laut dan lainnya.

2. Kerjasama antara masyarakat setempat, pemerintah, dan instansi-instansi terkait kelestarian mangrove supaya tetap dipertahankan sehingga hutan mangrove di kedua desa ini terus meningkat dan tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, D. N., Irawan, H., & Zulfikar, A. (2015). Hubungan jenis substrat dengan kerapatan vegetasi rhizophora sp. di hutan mangrove Sungai Nyirih Kecamatan Tanjung Pinang Kota Tanjung Pinang. *Repository UMRAH*, 1(1), 1–15.
- Anova, Y. M. A. (2013). Keanekaragaman mangrove di Pantai Kecamatan Pangungrejo Kota Pasuruan. *Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*., 1–5.
- Arnanto, A. (2015). Pemanfaatan Transformasi Normalized Difference Vegetation Index(Ndvi) Citra Landsat Tm Untuk Zonasi Vegetasi Di Lereng Merapi Bagian Selatan. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 11(2), 155–170. <https://doi.org/10.21831/gm.v11i2.3448>
- Aslam, K., Rashid, S., Saleem, R., & Aslam, R. M. S. (2015). Use of Geospatial Technology for Assessment of Waterlogging & Salinity Conditions in the Nara Canal Command Area in Sindh, Pakistan. *Journal of Geographic Information System*, 07(04), 438–447. <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.74035>
- Aulia, M., Ghazali, M. F., Dermawan, A., Salsabila, C., Zahra, L., & Sulastini, N. M. M. M. (2018). Memilih Kanal Citra Sentinel 2 Terbaik Untuk Deteksi Intrusi Air Laut di Kelurahan Way Urang. *Jurnal Sains Informasi Geografi [JSIG]*, 1(November), 40–43.
- Costall, A., Harris, B., & Pigois, J. P. (2018). Electrical Resistivity Imaging and the Saline Water Interface in High-Quality Coastal Aquifers. *Surveys in Geophysics*, 39(4), 753–816. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9468-0>
- Djamaluddin, R. (2018). *Mangrove Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi* (B. Jabar (ed.)). Unsrat Press.
- Eddy, S., Mulyana, A., Ridho, M. R., & Iskandar, I. (2015). Dampak Aktivitas Antropogenik Terhadap Degradasi Hutan Mangrove di Indonesia. *Jurnal Lingkungan Dan Pembangunan*, 1(3), 240–254.
- Febriarta, E., & Widyastuti, M. (2020). Kajian Kualitas Air Tanah Dampak Intrusi Di Sebagian Pesisir Kabupaten Tuban. *Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 17(2), 39–48. <https://doi.org/10.15294/jg.v17i2.24143>

- Fitri, R., & Anwar, K. (2014). Kebijakan Pemerintah Terhadap Pelestarian Hutan Mangrove Di Kecamatan Tebing Tinggi Kabupaten Bengkalis. *Jurnal FISIP*, 1(2), 1–15.
- Ghazali, M. F. (2020). Spektral Analisis Untuk Pengamatan Keragaman Vegetasi Mangrove di Labuhan Maringgai, Lampung Timur. (Studi Pendahuluan). *Seminar Nasional Konservasi 2020*, 11.
- Hafni, R. (2016). Analisis Dampak Rehabilitasi Hutan Mangrove Terhadap Pendapatan Masyarakat Desa Lubuk Kertang Kabupaten Langkat. *Jurnal Kelautan Nasional*, 1(2), 1–12.
- Hakimi, A. R., Rivai, M., & Pirngadi, H. (2021). Sistem Kontrol dan Monitor Kadar Salinitas Air Tambak Berbasis IoT LoRa. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.59612>
- Hardie, M., & Doyle, R. (2012). Measuring soil salinity. *Methods in Molecular Biology*, 913(August), 415–425. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-986-0_28
- Hari, S. (2009). Biodiversitas Mangrove di Cagar Alam Sempu. *Jurnal Sainstek*, 8(1), 59–60.
- Herdyansah, A. (2017). Dampak Intrusi Air Laut pada Kawasan Pesisir Surabaya Timur. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25863>
- Hilmi, E., Kusmana, C., Suhendang, E., & Iskandar. (2017). Correlation Analysis Between Seawater Intrusion and Mangrove Greenbelt. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 4(2), 151–168. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2017.4.2.151-168>
- Indriastoni, R. N., & Kustini, I. (2014). Intrusi air laut terhadap kualitas air tanah dangkal dari pantai kota Surabaya. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(3), 228–232.
- Irma, W., Atmaja, A. T., & Aris Marfa'i, M. (2020). Biodiversitas Vegetasi Mangrove di Kecamatan Concong Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau. *A Scientific Journal*, Vol 37(2), 85–90. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2020.37.2.1200>
- Kalor, J. D., & Paiki, K. (2021). Dampak Kerusakan Ekosistem Mangrove terhadap Keanekaragaman dan Populasi Perikanan di Teluk Youtefa Kota Jayapura Provinsi Papua. *Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal*, 38(1), 39–46. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2021.38.1.1349>
- Kolinug, K. H., Langi, M. A., Ratag, S. P., & Nurmawan, W. (2014). Zonasi Tumbuhan Utama Penyusun Mangrove Berdasarkan Tingkat Salinitas Air Laut di Desa Teling Kecamatan Tombariri. *Cocos*, 5(No. 4), 1–9. <https://doi.org/10.35791/cocos.v5i4.6561>

- Kusmana, C. (2015). Keanekaragaman Hayati (Biodiversitas) Sebagai Elemen Kunci Ekosistem Kota Hijau. *PROS SEM NAS MASY BIODIV INDON*, 1(8), 1747–1755. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010801>
- Kusrini. (2018). Sebaran air tanah dangkal di permukaan sekitar pantai kecamatan ternate utara kota ternate. *Jurnal GeoCivic*, 1(2), 101–108.
- Latifah, N., Febrianto, S., Endrawati, H., & Zainuri, M. (2018). Pemetaan Klasifikasi Dan Analisa Perubahan Ekosistem Mangrove Menggunakan Citra Satelit Multi Temporal Di Karimunjawa, Jepara, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2), 97. <https://doi.org/10.14710/jkt.v21i2.2977>
- Lin, C., Wu, C. C., Tsogt, K., Ouyang, Y. C., & Chang, C. I. (2015). Effects of atmospheric correction and pansharpening on LULC classification accuracy using WorldView-2 imagery. *Information Processing in Agriculture*, 2(1), 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.01.003>
- Lolang, E. (2014). Hipotesis Nol dan Hipotesis Alternatif. *Jurnal Kip*, 3(3), 685–696.
- Maulidiyah, R., Cahyono, B. E., & Nugroho, A. T. (2019). Analisis Kesehatan Mangrove di Probolinggo Menggunakan Data Sentinel-2A. *Natural B : Journal of Health Adn Environmental Science*, 5(2), hal. 41-47.
- Mayor, T., Simbala, H. E. I., & Koneri, R. (2017). Biodiversitas Mangrove di Pulau Mansuar Kabupaten Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Jurnal Bioslogos*, 7(2), 41–48.
- Morgan, R. S., El-Hady, M. A., & Rahim, I. S. (2018). Soil salinity mapping utilizing sentinel-2 and neural networks. *Indian Journal of Agricultural Research*, 52(5), 524–529. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-316>
- Mulyaningsih, D., Hendrarto, I. B., & Muskananfolo, M. R. (2017). Perubahan Luas Hutan Mangrove di Wilayah Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara Tahun 2010-2015. *Journal of Management of Aquatic Resources*, 6(4), 442–448. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/maquares/article/download/21334/19852>
- Niculescu, B. M., & Andrei, G. (2021). Application of electrical resistivity tomography for imaging seawater intrusion in a coastal aquifer. *Acta Geophysica*, 69(2), 613–630. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00529-7>
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2012). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia* (3rd ed.). Welands International - Indonesia Programme.
- Padilah, T. N., & Adam, R. I. (2019). Analisis Regresi Linier Berganda Dalam Estimasi Produktivitas Tanaman Padi Di Kabupaten Karawang. *FIBONACCI: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 5(2), 117.

<https://doi.org/10.24853/fbc.5.2.117-128>

- Pahlevan, N., Sarkar, S., Franz, B. A., Balasubramanian, S. V., & He, J. (2017). Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validations. *Remote Sensing of Environment*, 201(May), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.033>
- Poedjirahajoe, E. (2013). Dendrogram Zonasi Pertumbuhan Mangrove Berdasarkan Habitatnya di Kawasan Rehabilitasi Pantai Utara Jawa Tengah Bagian Barat. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 1(2), 10–21. <https://doi.org/10.22146/jik.1551>
- Prakosa, J. A., Sirenden, B. H., Rustandi, D., Kartiwa, B., Wijornako, S., Maftukhah, T., & Purwowibowo, P. (2020). Perbandingan Pengukuran Salinitas Air antara Metode Daya Hantar Listrik dan Massa Jenis untuk Aplikasinya pada Bidang Pertanian. *Instrumentasi*, 44(2), 199. <https://doi.org/10.31153/instrumentasi.v44i2.221>
- Prakoso, F. D. (2016). Studi Pola Sebaran Salinitas, Temperatur, Dan Arus Perairan Estuari Sungai Wonokromo Surabaya. *Teknik Kelautan*, 1–64. [http://repository.its.ac.id/51333/1/4311100106-Undergraduate Thesis.pdf](http://repository.its.ac.id/51333/1/4311100106-Undergraduate%20Thesis.pdf)
- Pratama, I. G. M. Y., Karang, I. W. G. A., & 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>
- Prihartanto, Naryanto, H. S., & Ganesha, D. (2017). Distribusi Spasial Salinitas Air Tanah Dangkal di DAS Ciujung dan Cidurian , Kabupaten Serang , Provinsi Banten Spatial Distribution of Shallow Ground Water Salinity in Ciujung and Cidurian Catchment Area , Serang Regency , Banten Province. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 216–223.
- Rahim, S., & Baderan, D. W. K. (2017). *Hutan Mangrove dan Pemanfaatannya* (M. S. Hamidun (ed.); 1st ed.). Deepublish.
- Rahmawati, A. D., & Ari, R. A. (2022). Google Earth Engine : Utilization of Cloud Computing-Based Mapping Platform in Detecting Mangrove Distribution with Sentinel-2 Images in Jakarta City. *Seminar Nasional Geomatika 2021: Inovasi Geospasial Dalam Pengurangan Risiko Bencana*.
- Rosyidah, L. (2020). Hubungan Keanekaragaman Mangrove dengan Kelimpahan Makrozoobentos di Hutan Mangrove Pantai Clungup Kabupaten Malang Dimanfaatkan Sebagai Sumber Belajar Biologi. *Skripsi*, 151–156.
- Sahromi. (2011). *Sonneratia caseolaris* : Jenis Mangrove yang Hidup di Kebun Raya Bogor. In *Warta Kebun Raya* 11(1).
- Salim, A. G., Siringoringo, H. H., Narendra, H., Penelitian, P., Hutan, H.,

- Gunung, J., & Box, P. (2016). Pengaruh penutupan mangrove terhadap perubahan garis pantai dan intrusi air laut di hilir das Ciasem dan DAS Cipunegara. *Jurnal MANusia Dan Lingkungan*, 23(3), 319–326.
- Septiani, R., Citra, I. P. A., & Nugraha, A. S. A. (2019). Perbandingan Metode Supervised Classification dan Unsupervised Classification terhadap Penutup Lahan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 16(2), 90–96.
<https://doi.org/10.15294/jg.v16i2.19777>
- Shahabi, M., Jafarzadeh, A. A., Neyshabouri, M. R., Ghorbani, M. A., & Valizadeh Kamran, K. (2017). Spatial Modeling of Soil Salinity Using Multiple Linear Regression, Ordinary Kriging and Artificial Neural Network Methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(2), 151–160.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1193162>
- Sigit, H. M. (2012). Pengaruh Resolusi Spasial pada Citra Penginderaan Jauh Terhadap Ketelitian Pemetaan Penggunaan Lahan Pertanian di Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 18(1), 84–94.
- Suprayogi, I., Trimaijon, & Mahyudin. (2014). Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (ZST) (Studi Kasus : Sub DAS Siak Hulu). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), 1–18.
- Taghadosi, M. M., Hasanlou, M., & Eftekhari, K. (2019). Retrieval of soil salinity from Sentinel-2 multispectral imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 138–154. <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1571870>
- Taufik, V. V., Sukmono, A., & Firdaus, H. S. (2021). Estimasi Produktivitas Kelapa Sawit Menggunakan Metode NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index) dengan Citra Sentinel-2A (Studi Kasus : Beberapa Wilayah di Provinsi Riau). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 153–162.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/29636>
- Wang, J., Peng, J., Li, H., Yin, C., Liu, W., & Wang, T. (2021). Soil Salinity Mapping Using Machine Learning Algorithms with the Sentinel-2 MSI in Arid Areas , China. *Remote Sensing*, 1–14.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs13020305>
- Yuliasamaya, Darmawan, A., & Hilmanto, R. (2014). Perubaham Tutupan Lahan Mangrove di Pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Sylva Lestari*, 2(3), 111–124.