

**IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN
CITRA SATELIT SENTINEL-2 BERDASARKAN
PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN**

Skripsi

Oleh

**ANANDA DERMAWAN
NPM 1815013023**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2 BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN

Oleh

ANANDA DERMAWAN

Intrusi air laut merupakan masalah utama di wilayah pesisir yang dapat mengakibatkan degradasi lahan dan kelangkaan sumber daya air yang layak bagi masyarakat. Indikasi intrusi air laut ditandai dengan tingginya nilai salinitas tanah di daerah tersebut. Dalam tingkat tertentu, salinitas tanah dapat menyebabkan degradasi lahan yang berdampak pada lahan pertanian yang tidak toleran terhadap garam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tingkat intrusi air laut terhadap jenis tutupan lahan di pesisir Kota Bandar Lampung menggunakan teknologi penginderaan jauh dan data salinitas lapangan. Nilai salinitas diukur dari 52 sampel tanah yang dikumpulkan di lokasi penelitian. Selain itu, *vegetation soil salinity index*, *normalized difference salinity index*, *salinity index*, dan *vegetation salinity index* diolah menggunakan *principal component analysis* untuk membangun model salinitas dengan analisis regresi. Klasifikasi terbimbing dengan metode *random forest* diterapkan untuk menentukan perubahan lahan dari tahun 2016 hingga 2022, serta menjelaskan salinitas berdasarkan jenis tutupan lahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan industri mencatat penambahan luas tertinggi (46,32%), sedangkan luas lahan bervegetasi rendah berkurang sebanyak 49,28% selama periode 2016 hingga 2022. Model salinitas antara PCA dengan salinitas observasi menggunakan analisis regresi liner berganda menghasilkan korelasi yang kuat dengan dengan nilai koefisien determinasi 0,779; sedangkan akurasi cukup baik ditunjukkan dengan nilai RMSE sekitar 0,008. Hubungan antara tingkat intrusi air laut terhadap jenis tutupan lahan menunjukkan, bahwa peningkatan intrusi air laut kurang dominan di lahan bervegetasi dibandingkan lahan yang tidak bervegetasi.

Kata kunci: Intrusi Air Laut, Sentinel-2, Analisis Komponen Utama, Wilayah Pesisir, Kota Bandar Lampung.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SEAWATER INTRUSION USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGE BASED ON LAND COVER CHANGES

By

ANANDA DERMAWAN

Seawater intrusion is a significant problem in coastal areas which can result in land degradation and scarcity of adequate water resources for the community. Indications of seawater intrusion are marked by high soil salinity values in the area. At a certain level, soil salinity can cause land degradation which has an impact on salt-intolerant agricultural land.

This study aims to examine the level of seawater intrusion on land cover types on the coast of Bandar Lampung City using remote sensing technology and field salinity data. Salinity values were measured from 52 soil samples collected at the study site. In addition, the vegetation soil salinity index, normalized difference salinity index, salinity index, and vegetation salinity index are processed using principal component analysis to build a salinity model with regression analysis. Guided classification using the random forest method was applied to determine land change from 2016 to 2022 and explain salinity based on land cover types.

The results showed that industrial land recorded the highest increase in area (46.32%), while the area of low vegetated land decreased by 49.28% during the period 2016 to 2022. The salinity model between PCA and observed salinity analysis using multiple linear regression produces a strong correlation with a determination coefficient of 0.779, while good accuracy is shown by RMSE value of around 0.008. The relationship between the level of seawater intrusion and the type of land cover shows that the increase in seawater intrusion is less dominant in vegetated land than in non-vegetated land.

Keywords: Seawater Intrusion, Sentinel-2, Principal Component Analysis, Coastal Area, City of Bandar Lampung.

**IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN
CITRA SATELIT SENTINEL-2 BERDASARKAN
PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN**

Oleh

ANANDA DERMAWAN

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**

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT
MENGUNAKAN CITRA SATELIT
SENTINEL-2 BERDASARKAN PERUBAHAN
TUTUPAN LAHAN**

Nama Mahasiswa : **Ananda Dermawan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815013023

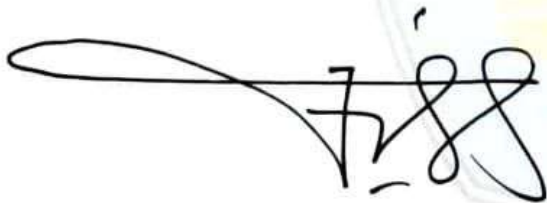
Program Studi : S1 Teknik Geodesi

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1



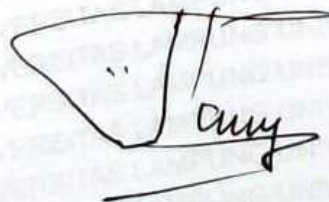
M. Firman Ghazali, S.Pd., M.T.
NIP 19860625 201903 1 013

Pembimbing 2



Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU.
NIP 19730410 200801 1 008

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



Ir. Fauzan Mardapa, M.T., IPM.
NIP 19641012 199203 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



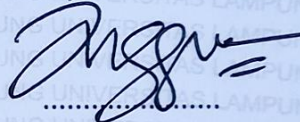
Sekretaris

: Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU.



Anggota

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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 April 2023

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Penulis adalah **ANANDA DERMAWAN** dengan NPM 1815013023 dengan ini menyatakan bahwa apa-apa yang tertulis dalam Skripsi ini adalah hasil karya penulis berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah penulis dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dengan hasil yang merujuk pada beberapa sumber seperti buku, jurnal, dan lain-lain yang telah dipublikasi sebelumnya dengan kata lain bukan hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam keterpaksaan, dan dapat dipertanggungjawabkan apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka penulis siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 18 April 2023
Yang membuat pernyataan,


Ananda Dermawan
NPM 1815013023

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang, Sumatera Selatan pada tanggal 16 Februari 2000, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Welly Roebianto dan Ibu Masayu Aulia. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar (SD) di SD Muhammadiyah 9 Ngaban Tanggulangin dan lulus pada tahun 2012. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 3 Palembang dan lulus pada tahun 2015. Penulis melanjutkan jenjang berikutnya di SMA Muhammadiyah 1 Palembang dan lulus pada tahun 2018.

Tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa organisasi salah satunya Ikatan Mahasiswa Sumatera Selatan (IKAMSUMSEL) dan Himpunan Mahasiswa Teknik Geodesi (HIMAGES) Universitas Lampung. Pada tahun 2021, penulis melaksanakan kerja praktik di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Lematang Enim. Pada akhir masa studi sebagai mahasiswa, penulis melakukan penelitian terkait dengan kajian intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung sebagai syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.).

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam atas berkah, rahmat, dan karunia-Nya. Skripsi ini menjadi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Maka, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada:

1. Universitas Lampung sebagai sarana dan prasana dalam memberikan ilmu pengetahuan.
2. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah mejembatani penulis dalam mendapatkan berbagai pengalaman baru.
3. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika sebagai penyalur ilmu pengetahuan dan teman diskusi.
4. Ibu, Ayah, keluarga dan kerabat yang selalu memberikan dukungan selama masa studi hingga mencapai gelar sarjana teknik.

SANWACANA

Segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam atas berkah rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi berjudul “Identifikasi Intrusi Air Laut Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan” dapat diselesaikan dengan baik. Kajian terkait intrusi air laut beserta relasinya terhadap perubahan tutupan lahan bertujuan untuk memahami permasalahan lingkungan pesisir dalam kacamata penginderaan jauh. Keseluruhan proses kajian tersebut menghasilkan kondisi dan karakteristik intrusi air laut di pesisir Kota Bandar Lampung. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku dekan Fakultas Teknik Unila.
2. Bapak Ir. Fauzan Murapa, M.T., IPM., selaku ketua jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika.
3. Bapak Mochamad Firman Ghazali, S.Pd., M.T., sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan terbaiknya dari awal hingga akhir skripsi ini dibuat.
4. Bapak Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU., sebagai dosen pembimbing II yang telah membantu dan memberikan arahan sehingga skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
5. Ibu Anggun Tridawati, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah menyalurkan ilmunya selama masa studi berlangsung.
7. Rekan-rekan penelitian sekaligus teman diskusi yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan materi dalam melakukan penelitian dan pembuatan skripsi.
8. Enjel Saputri seorang yang sangat istimewa dan tak sedikit jasanya ada pada goresan tinta karya ini. Walaupun hitam di atas putih, namun dengan caranya dapat terkesan lebih berwarna.

9. Teman-teman angkatan di Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika sebagai teman seperjuangan dalam mencapai gelar sarjana.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat diharapkan demi perbaikan pada karya berikutnya. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 18 April 2023
Penulis,

Ananda Dermawan
NPM 1815013023

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Kerangka Pemikiran	3
1.4. Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Intrusi Air Laut	5
2.2. Gambaran Umum Intrusi Air Laut di Lokasi Penelitian	7
2.3. Hubungan Intrusi Air Laut Terhadap Tutupan Lahan	8
2.4. Pengamatan Intrusi Air Laut Menggunakan Sentinel-2	10
2.5. Indeks Spektral Penginderaan Jauh	11
2.6. <i>Principal Component Analysis</i>	12
2.7. Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan	15
2.8. Uji Akurasi Salinitas	16
2.9. Uji Hipotesis Penelitian	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1. Tempat dan Waktu	18
3.2. Data	19
3.3. Metode	20
3.4. Pengambilan Data Lapangan	21
3.5. Pengolahan Data	23
3.4.1. <i>Preprocessing</i> Citra Sentinel-2	24
3.4.2. Klasifikasi Tutupan Lahan dengan Algoritma <i>Random Forest</i>	25
3.4.3. Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan	26
3.4.4. Transformasi Indeks Spektral Salinitas	28

3.4.5. <i>Principal Component Analysis</i> terhadap Salinitas.....	30
3.4.6. Pemodelan Intrusi Air Laut	31
3.4.7. Uji Akurasi Estimasi Salinitas	33
3.4.8. Uji Hipotesis	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Karakteristik Salinitas Tanah Lokasi Studi	35
4.2 Karakteristik Tutupan Lahan dan Uji Akurasi	36
4.3 Analisis Potensi Penggunaan <i>Principal Component Analysis</i>	41
4.4 Estimasi Salinitas dan Uji Akurasi	43
4.5 Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan dengan Tingkat Intrusi Air Laut	46
4.6 Analisis Uji Hipotesis.....	50
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1. Simpulan.....	51
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Salinitas Tanah.....	6
2. Klasifikasi Penutup Lahan	9
3. Spesifikasi Citra Sentinel-2.....	10
4. Rumus analisis indeks spektral salinitas dan vegetasi	12
5. Standar Ketelitian Klasifikasi	15
6. Rencana waktu pelaksanaan penelitian.....	19
7. Data Sekunder	20
8. Data Survei Lapangan	23
9. Statistik Training Sample Random Forest	26
10. Jenis tutupan dan penggunaan lahan di lokasi penelitian	26
11. Data titik uji akurasi tutupan lahan tahun 2016	27
12. Data titik uji akurasi tutupan lahan tahun 2022	28
13. Data salinitas dan komponen PCA untuk analisis regresi.....	32
14. Klasifikasi Koefisien Determinasi	33
15. Data nilai salinitas dan hasil estimasi salinitas untuk uji akurasi.....	33
16. Data uji hipotesis.....	34
17. Statistik pengukuran salinitas lapangan	35
18. Statistik Kondisi Tutupan Lahan dari tahu 2016 hingga 2022.....	38
19. Confusion Matrix pada tutupan lahan tahun 2016	40
20. Confusion Matrix pada tutupan lahan tahun 2022	40
21. Hasil uji akurasi confusion matrix pada peta klasifikasi tutupan lahan	40
22. Matriks Korelasi antara indeks spektral salinitas.....	41
23. Eigenvalues dari matriks varian-kovarian.....	42
24. Eigenvectors dari perhitungan matriks kovarian PCA.....	42
25. Hasil model analisis regresi linier berganda	43
26. Hasil uji chi-square antara tingkat intrusi air laut dengan tutupan lahan.	50
27. Data Pengukuran Salinitas Lapangan.....	60

28. Hasil Perhitungan Uji Akurasi Root Mean Square Error.....	61
29. Data titik uji akurasi tutupan lahan tahun 2016	61
30. Data titik uji akurasi tutupan lahan tahun 2022	64
31. Data uji hipotesis Chi-Square.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Teoritis.....	3
2. Sistem akuifer pantai. (a) Kondisi normal dan (b) Mengalami intrusi air laut.	6
3. Alat Salinometer.....	7
4. Topografi Kota Bandar Lampung	18
5. Diagram alir penelitian.....	21
6. Distribusi titik sampel pengukuran salinitas di lokasi penelitian.....	22
7. Citra Sentinel-2 yang telah dikoreksi (a) tahun 2016 dan (b) tahun 2022.	24
8. Distribusi titik uji akurasi tutupan lahan.	27
9. Perbandingan indeks salinitas tahun 2016 dan 2022.....	30
10. Hasil PCA tahun 2016 dan 2022.....	31
11. Peta Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2016 (a) dan 2022 (b).	37
12. Grafik perubahan tutupan lahan dari tahun 2016 hingga 2022.....	39
13. Peta sebaran estimasi salinitas berdasarkan <i>principal component analysis</i> pada tahun 2016 (a) dan 2022 (b)	44
14. Hasil uji akurasi estimasi salinitas.	46
15. Peta sebaran intrusi air laut berdasarkan reclassify <i>principal component analysis</i> pada tahun 2016 (a) dan 2022 (b).	47
16. Persentase perubahan luas tingkat intrusi air laut tahun 2016 hingga 2022. ..	48
17. Persentase luas wilayah terdampak intrusi air laut pada setiap jenis tutupan lahan tahun 2016 (a) dan 2022 (b).	49
18. Foto pengukuran salinitas di lapangan.....	73
19. Foto salah satu lahan dengan salinitas cukup tinggi.	74

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Berdasarkan pendekatan ekologis wilayah pesisir merupakan daerah perbatasan antara ekosistem darat dan laut yang masih dipengaruhi oleh proses alamiah laut seperti gelombang, pasang surut, dan intrusi air laut (Sahana and Wasposito 2020). Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki wilayah pesisir yang produktif dengan panjang garis pantai mencapai 81.000 km. Namun, potensi wilayah pesisir yang sangat besar mengundang kegiatan pembangunan dan pemanfaatan sumber daya secara intensif, sehingga dapat menyebabkan terjadinya intrusi air laut.

Intrusi air laut terjadi jika air laut masuk ke dalam pori – pori batuan atau tanah sehingga air tanah tercemar oleh kandungan garam air laut. Selain itu, intrusi air laut dapat menyebabkan tanah menjadi salin (Muliawan dkk., 2016). Dalam tingkat tertentu, salinitas tanah dapat menyebabkan degradasi lahan yang berdampak pada lahan pertanian yang tidak toleran terhadap garam. Faktor utama yang berkontribusi terhadap degradasi lahan adalah perubahan tutupan dan penggunaan lahan. Menurut (Thiam dkk., 2021), perubahan tutupan lahan vegetasi sangat mempengaruhi terhadap luasan daerah yang salin sehingga akan mengakibatkan degradasi lingkungan lebih lanjut.

Penerapan penginderaan jauh dalam mendeteksi salinitas tanah yang dipengaruhi intrusi air laut telah dilakukan dalam beberapa penelitian. Berbagai indeks spektral salinitas dan vegetasi digunakan untuk menjelaskan pantulan spektral garam pada permukaan bumi. Sebagai contoh, penelitian di Kabupaten Subang, Indramayu, dan Cirebon menunjukkan bahwa BI (*brightness index*), SSI (*soil salinity index*), dan SWII (*saltwater intrusion index*) dinilai paling mampu dalam mendeteksi intrusi air laut, namun distribusi spasial salinitas tidak selalu berhubungan dengan tutupan lahan (Ghazali dkk., 2022). Kondisi berbeda

dilaporkan oleh (Al-Khakani and Yousif 2019), dimana SI (*salinity index*) dan NDVI (*normalize difference vegetation index*) berhasil mendeteksi salinitas serta menunjukkan hubungan terhadap perubahan tutupan lahan di lokasi penelitian. Hal ini menunjukkan penerapan penginderaan jauh dalam mendeteksi dan memantau intrusi air laut memiliki potensi yang kuat.

Kota Bandar Lampung dengan wilayah pesisir yang cukup aktif memiliki kerentanan cukup tinggi terhadap intrusi air laut. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendeteksi intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung (Radityo dkk., 2020), (Adi dkk., 2014), dan (Surandono, 2013). Hasil menunjukkan wilayah pesisir Kota Bandar Lampung telah mengalami intrusi air laut dengan ditemukannya kandungan garam pada sumur warga, bahkan hingga jarak 200 m dari garis pantai. Kondisi wilayah pesisir Kota Bandar Lampung didominasi oleh perkotaan, sehingga lahan resapan air sangat minim. Selain itu, tidak ditemukan tutupan vegetasi mangrove disepanjang garis pantai, sehingga daerah daratan berbatasan langsung dengan laut. Tutupan vegetasi mangrove dinilai dapat menghambat laju intrusi air laut (Hilmi dkk., 2017).

Namun hingga saat ini, sulit ditemukan kajian intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung dengan teknologi penginderaan jauh. Oleh karena itu, penilaian intrusi air laut berdasarkan tingkat salinitas tanah terhadap perubahan tutupan lahan dapat memberikan informasi penting untuk rekomendasi praktik pengolahan lahan di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung. Maka, penelitian ini bermaksud untuk mengidentifikasi salinitas tanah sebagai pengaruh dari intrusi air laut serta kaitannya dengan perubahan tutupan lahan yang terjadi dari tahun 2016 hingga 2022 di Kecamatan Teluk Betung Selatan, Bumi Waras, dan Panjang. Pantulan spektral salinitas tanah dapat diwakilkan oleh *salinity index* (SI), *normalize difference salinity index* (NDSI), *normalize difference vegetation index* (NDVI), dan *vegetation soil salinity index* (VSSI) yang memiliki hubungan yang kuat terhadap salinitas di lapangan (Nguyen dkk., 2020) dan (Asfaw dkk., 2018). Transformasi *principal component analysis* (PCA) digunakan pada keempat indeks tersebut, dimana PCA dapat mengurangi redundansi antar indeks spektral, sehingga dapat menghasilkan estimasi salinitas yang lebih optimal.

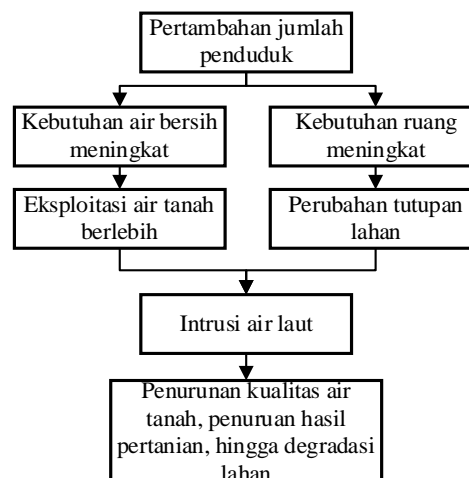
1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik intrusi air laut berdasarkan estimasi salinitas di setiap jenis tutupan lahan.
2. Menganalisis hubungan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan tutupan lahan.

1.3. Kerangka Pemikiran

Pertambahan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan air bersih dan ruang meningkat. Eksploitasi air tanah secara berlebihan dan bekurangnya daerah resapan air akibat perubahan tutupan lahan akan menimbulkan rongga dalam tanah. Pada wilayah pesisir, kekosongan ruang dalam tanah akan berpotensi menyusupnya air laut ke dalam air tanah. Jika dibiarkan berlanjut tanpa adanya pengelolaan yang baik, maka akan menyebabkan berbagai masalah lingkungan salah satunya yaitu intrusi air laut. Intrusi air laut dapat mempengaruhi kualitas lingkungan sekitar seperti air tanah yang menjadi payau. Kondisi ini menyebabkan kualitas air tanah berkurang, sehingga tidak dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya. Teori tersebut disajikan dalam bentuk kerangka teoritis berikut (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka Teoritis.

1.4. Hipotesis

Penelitian ini dilakukan untuk memetakan tingkat intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung berdasarkan perubahan tutupan lahan. Keberadaan intrusi air laut dipengaruhi oleh perubahan tutupan lahan resapan menjadi lahan terbangun. Berikut hipotesis dari penelitian ini:

- H_0 : Tidak terdapat hubungan antara perubahan tutupan lahan dengan tingkat intrusi air laut.
- H_1 : Terdapat hubungan signifikan antara perubahan tutupan lahan dengan tingkat intrusi air laut.

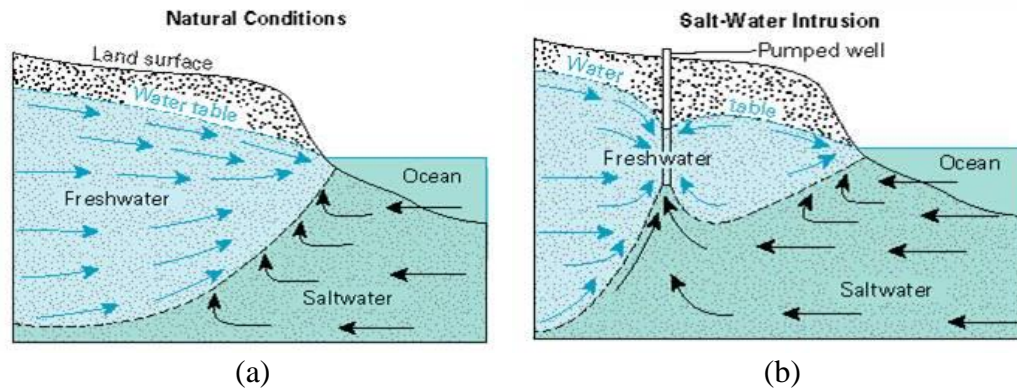
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Intrusi Air Laut

Intrusi air laut adalah fenomena menyusupnya air laut ke dalam pori-pori batuan, sehingga air tanah yang terkandung di dalamnya menjadi payau (Wijatna dkk. 2019). Intrusi air laut menjadi permasalahan daerah pesisir pantai. Dampak dari intrusi air laut telah banyak dirasakan oleh masyarakat terutama penduduk di sepanjang pesisir pantai, bahkan dampak intrusi air laut juga berimbas ke area pertanian dan tambak. Menurut Bartzas dkk., (2015) terdapat beberapa faktor utama penyebab intrusi air laut antara lain.

1. Aktivitas manusia terhadap pemanfaatan sumber daya air secara berlebihan tanpa mempertimbangkan kelestarian alam. Salah satu bentuk kegiatan yang cukup dominan adalah pemompaan air tanah secara berlebih untuk dimanfaatkan sebagai air sumur terutama untuk daerah pesisir.
2. Faktor batuan penyusun akuifer cukup mempengaruhi masuknya air laut ke dalam air tanah. Batuan yang berongga akan lebih berpotensi terjadinya intrusi.
3. Penurunan muka air bawah tanah di kawasan pesisir. Hal ini disebabkan oleh pemanfaatan air tanah berlebih dan pembangunan di atas tanah yang terus berlanjut.
4. Pemanasan global yang menyebabkan es dari kutub mencair sehingga menyebabkan kenaikan muka air laut.
5. Alih fungsi lahan resapan air menjadi lahan terbangun. Hal ini menyebabkan siklus hidrologi terganggu, sehingga kapasitas air tanah terus berkurang.

Faktor tersebut akan menimbulkan ruang kosong di bawah tanah yang berpotensi terjadi proses kompaksi akibat tekanan beban tanah di atasnya. Pada akuifer pesisir pantai (Gambar 2), kekosongan ruang di dalam tanah akan mengakibatkan ketidakseimbangan hidrolik antara tekanan air tawar dan air laut.



Gambar 2. Sistem akuifer pantai. (a) Kondisi normal dan (b) Mengalami intrusi air laut. (Sumber: Vienastra, 2010)

Pada gambar 2(a) dapat dilihat bahwa pada kondisi alami air tanah akan mengalir terus menerus ke arah laut. Hal ini terjadi karena tekanan air tanah lebih tinggi dari pada muka air laut. Pada keadaan intrusi yang ditunjukkan Gambar 2(b), kapasitas air tanah yang berkurang menyebabkan tekanan air tanah ke arah laut menurun, sehingga air laut dapat mendesak masuk ke dalam air tanah. Keberadaan intrusi air laut dapat diketahui ketika konsentrasi garam dari air laut tercemar pada lapisan tanah, sehingga menyebabkan tanah menjadi salin. Menurut Muliawan dkk., (2016) tanah yang salin diukur berdasarkan tingkat salinitas tanah.

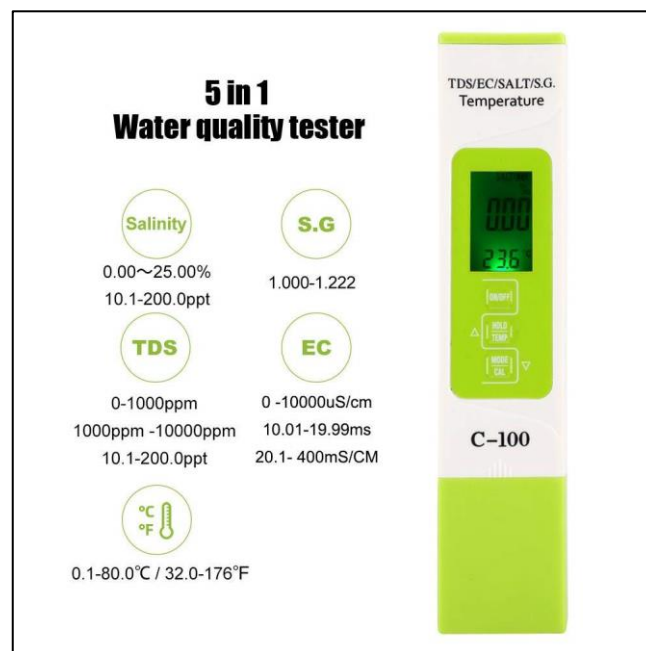
Salinitas adalah tingkat kadar garam yang terdapat dalam satuan massa larutan satuan umumnya adalah ppt (*part per thousand*), ppm (*part per million*), dan satuan lainnya persen (%). Keberadaan garam akan mempengaruhi sifat fisis tanah seperti bentuk struktur tanah, derajat keasaman (pH), dan permeabilitas tanah. Salinitas dinyatakan dalam persen (%), dimana setiap kandungan 1 gram garam dalam 1.000 gram air mendapat nilai salinitas 1(%). Klasifikasi salinitas tanah dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Salinitas Tanah

Kelas Salinitas	Salinitas (g/kg)	Salinitas (%)
Tidak salin	0 – 1	0 – 0,1
Sedikit salin	1 – 2	0,1 – 0,2
Cukup salin	2 – 4	0,2 – 0,4
Salin	4 – 6	0,4 – 0,6
Sangat salin	>6	>0,6

(sumber : dimodifikasi dari (Omuto dkk., 2020)

Alat pengukur salinitas yang sering digunakan salah satunya adalah Salinometer (Gambar 3). Salinometer mengukur salinitas berbasis daya hantar listrik, dimana alat ini dinilai lebih praktis, memiliki ketelitian cukup tinggi, dan ditampilkan dalam bentuk digital. Salinometer yang digunakan pada penelitian ini mampu mengukur salinitas dalam rentang 0,001% hingga 25,00% dengan akurasi lebih kurang 0,1%.



Gambar 3. Alat Salinometer.

2.2. Gambaran Umum Intrusi Air Laut di Lokasi Penelitian

Kecamatan Teluk Betung Selatan, Bumi, Waras, dan Panjang merupakan kecamatan yang terletak di Kota Bandar Lampung. Ketiga daerah tersebut berada di pesisir berbatasan langsung dengan Teluk Lampung. Wilayah ini cukup strategis karena sebagai tempat transit kegiatan perekonomian antara pulau sumatera dan pulau jawa, sehingga sebagian besar merupakan daerah permukiman dan banyak ditemukan pabrik untuk kegiatan industri (BPS, 2021).

Bagian utara Kecamatan Panjang sedikit berbeda karena merupakan daerah perbukitan dengan tinggi hingga 300 meter, sehingga masih banyak ditemukan

hutan dengan tingkat kerapatan tinggi (BPS Kota Bandar Lampung 2021). Bagian selatan dari lokasi penelitian berbatasan langsung dengan Teluk Lampung yang menyebabkan adanya potensi sumber daya air tanah terkontaminasi oleh air laut. Daerah tersebut juga didominasi oleh permukiman dan banyak kegiatan industri. Padatnya kegiatan pembangunan mengakibatkan lahan resapan air di daerah tersebut cenderung sedikit. Sepanjang garis pantai juga tidak ditemukan keberadaan Hutan Mangrove.

Kondisi di lingkungan pesisir tersebut berpotensi menimbulkan masalah lingkungan salah satunya intrusi air laut. Beberapa penelitian telah mengungkapkan keberadaan intrusi air laut di wilayah tersebut. Berdasarkan pengujian salinitas pada sampel air sumur ditemukan kandungan salinitas antara 0,04 hingga 0,32 ppt pada radius 140 hingga 500 meter dari garis pantai dari garis pantai (Adi dkk., 2014). Kondisi ini menunjukkan bahwa akuifer wilayah ini telah mengalami intrusi air laut.

2.3. Hubungan Intrusi Air Laut Terhadap Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan wujud fisik objek permukaan bumi berupa vegetasi, benda alam, dan sensor budaya tanpa memperhatikan kegiatan manusia. Tutupan lahan mengacu pada kenampakan fisik permukaan bumi seperti perairan, lahan terbangun, bebatuan, dan lain sebagainya (Fantaye dkk. 2017). Pertambahan jumlah penduduk selalu diikuti dengan peningkatan kebutuhan lahan dan (Taghadosi and Hasanlou 2017). Perubahan penggunaan lahan terbuka (hutan, sawah, tegalan) menjadi permukiman menyebabkan daerah resapan air berkurang, aliran permukaan meningkat, dan pengisian kembali air tanah berkurang. Jika hal ini terjadi pada sistem akuifer pesisir pantai, maka akan berpotensi terjadinya intrusi air laut.

Penelitian oleh Bhattachan dkk., (2019) mengevaluasi efek dari perubahan penggunaan lahan terhadap intrusi air laut. Studi tersebut menyimpulkan bahwa perubahan pada penggunaan lahan meningkatkan kerentanan keseluruhan wilayah studi terhadap intrusi air laut. Penelitian lain melaporkan bahwa kualitas air ada

kaitannya dengan penggunaan lahan dan tutupan lahan, dimana tutupan vegetasi cenderung memiliki pH, EC (*electrival conductivity*), TDS (*total dissolve solid*), dan kekeruhan yang lebih rendah (Li dkk., 2019)

Kelas penutup lahan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu daerah bervegetasi dan tak bervegetasi. Berikut klasifikasi penutup lahan dalam skala 1 : 50.000 atau 1 : 25.000 (Tabel 2).

Tabel 2. Klasifikasi Penutup Lahan

No.	Kelas Penutup Lahan	Deskripsi
1	Sawah irigasi	Sawah yang diusahakan dengan pengairan dari irigasi
2	Sawah tadah hujan	Sawah yang diusahakan dengan pengairan dari air hujan
3	Sawah lebak	Sawah yang diusahakan di lingkungan rawa-rawa
4	Sawah pasang surut	Sawah yang diusahakan di lingkungan yang terpengaruh oleh air pasang laut atau sungai
5	Polder	Sawah yang terdapat delta sungai yang pengairannya dipengaruhi oleh air sungai
6	Ladang	Pertanian lahan kering yang ditanami semusim, terpisah dari halaman rumah
7	Perkebunan	Lahan yang digunakan untuk kegiatan pertanian tanpa pergantian tanaman selama dua tahun
8	Tanaman campuran	Lahan yang ditumbuhi oleh berbagai jenis vegetasi
9	Hutan lahan kering	Hutan yang tumbuh di habitat lahan kering dapat berupa hutan dataran rendah, perbukitan, pegunungan, atau hutan tropis dataran tinggi
10	Hutan lahan basah	Hutan yang tumbuh pada rawa
11	Belukar	Lahan kering yang ditumbuhi berbagai jenis vegetasi alamiah heterogen
12	Semak	Lahan kering yang ditumbuhi berbagai vegetasi alamiah homogen
13	Padang rumput	Area terbuka yang didominasi oleh beragam jenis rumput heterogen
14	Sabana	Area terbuka yang didominasi oleh beragam jenis rumput dan pepohonan yang tumbuh secara menyebar dan jarang
15	Padang alang-alang	Area terbuka yang didominasi oleh rumput jenis alang-alang
16	Rumput rawa	Rumput yang berhabitat di daerah yang tergenang air tawar atau payau secara permanen
17	Lahan terbuka	Lahan tanpa tutupan lahan baik bersifat alamiah, semialamiah, maupun artifisial
18	Lahan terbangun	Area yang telah mengalami substitusi penutup lahan dengan penutup lahan buatan
19	Permukiman	Area atau lahan yang digunakan sebagai lingkungan tempat tinggal
20	Bangunan industri	Area yang digunakan untuk bangunan pabrik atau industri yang berupa kawasan industri

No.	Kelas Penutup Lahan	Deskripsi
21	Perairan	Semua kenampakan perairan, termasuk laut, waduk, sungai, rawa, irigasi.

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2010)

2.4. Pengamatan Intrusi Air Laut Menggunakan Sentinel-2

Sentinel-2 merupakan salah satu produk citra satelit penginderaan jauh dengan resolusi menengah yang mengorbit setiap 5 hari. Terdapat dua satelit konstelasi, yaitu Sentinel-2A dan Sentinel-2B, masing-masing diluncurkan pada 23 Juni 2015 dan 7 Maret 2017. Satelit tersebut dapat digunakan untuk pengamatan operasional seperti peta tutupan lahan, peta deteksi perubahan lahan, dan variabel geofisika (Oktaviani and Kusuma 2017). Citra Sentinel-2 memiliki 13 band spektral yang dibagi dalam resolusi berbeda. Spesifikasi Sentinel-2 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Citra Sentinel-2

Nomor Band	Nama Band	Sentinel-2A	Sentinel-2B	Bandwith (nm ⁻²)	Resolusi (meter)
		Panjang gelombang pusat (nm)	Panjang gelombang pusat (nm ⁻²)		
1	<i>Coastal Aerosol</i>	443,9	442,3	20	60
2	<i>Blue</i>	496,6	492,1	65	10
3	<i>Green</i>	560,0	559,0	35	10
4	<i>Red</i>	664,5	665,0	30	10
5	<i>Vegetation Red Edge</i>	703,9	703,8	15	20
6	<i>Vegetation Red Edge</i>	740,2	739,1	15	20
7	<i>Vegetation Red Edge</i>	782,5	779,7	20	20
8	<i>NIR</i>	835,1	833	115	10
9	<i>Narrow NIR</i>	864,8	864	20	20
10	<i>Water Vapour</i>	945,0	943,2	20	60
11	<i>SWIR-Cirrus</i>	1373,5	1376,9	30	60
12	<i>SWIR</i>	1613,7	1610,4	90	20
13	<i>SWIR</i>	2202,4	2185,7	180	20

(Sumber: dimodifikasi dari Meer dkk. 2014)

Terkait dengan intrusi air laut, beberapa penelitian melaporkan mengenai potensi penggunaan Sentinel-2 dalam memprediksi salinitas tanah. Penelitian Gorji dkk., (2020) membandingkan Citra Sentinel-2 dan Landsat 8 OLI terkait pemodelan salinitas dan pemetaan *electrical conductivity* (EC) dengan pendekatan analisis regresi, dimana Sentinel 2 memberikan akurasi lebih baik dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,74. Penelitian Sakai dkk., (2021) menggunakan Sentinel-2 dan pengukuran nilai *electrical conductivity* dengan analisis regresi untuk mengetahui salinitas di Sungai Ayeyarwady. Hasil analisis menunjukkan, bahwa *band* hijau memiliki akurasi tertinggi dengan nilai R^2 tertinggi sebesar 0,776, RMSE (*root mean square error*) 4,896 dSm^{-1} , dan MAE (*mean absolute error*) 3,340 dSm^{-1} . Hal ini menunjukkan Sentinel-2 mampu menjelaskan salinitas tanah sebagai penilaian keberadaan intrusi air laut.

2.5. Indeks Spektral Penginderaan Jauh

Indeks penginderaan jauh telah banyak dimanfaatkan dalam mengidentifikasi berbagai fenomena permukaan bumi, salah satunya adalah salinitas tanah. Indeks spektral menggunakan kombinasi beberapa *band* (saluran) untuk merekam kondisi permukaan bumi yang memiliki karakteristik pantulan spektral masing – masing. Dalam hal ini, indeks spektral salinitas tanah memungkinkan untuk mendeteksi pantulan spektral tanah yang terkena garam.

Beberapa penelitian melaporkan kemampuan berbagai indeks spektral salinitas dalam mendeteksi salinitas tanah. Salah satunya, *vegetation soil salinity index* (VSSI) memberikan korelasi tinggi terhadap *electrical conductivity* (EC) di daerah Sungai Mekong, Vietnam (Tran dkk., 2018) (Nguyen dkk., 2020). Penelitian lain mengungkapkan bahwa *salinity index* (SI) dan *normalize difference salinity index* (NDSI) memiliki model regresi yang berkorelasi kuat terhadap EC (Asfaw dkk., 2018). Sementara itu, penelitian di wilayah Pesisir Sinegal mengungkapkan bahwa *normalize difference vegetation index* (NDVI) korelasi lebih baik dibanding SI (Thiam dkk., 2021).

Berdasarkan literatur tersebut, penelitian ini menggunakan empat indeks spektral yaitu VSSI, NDSI, SI, dan NDVI untuk mendeteksi salinitas tanah. Keempat indeks tersebut dapat dianalisis menggunakan rumus pada Tabel 4.

Tabel 4. Rumus analisis indeks spektral salinitas dan vegetasi

No.	Nama Indeks	Rumus	Referensi
1	VSSI	$\frac{2 \times (\text{band } 3) - 5 \times (\text{band } 4 + \text{band } 8)}{(\text{band } 3 - \text{band } 4)}$	(Dehni and Lounis, 2012)
2	NDSI	$\frac{(\text{band } 3 - \text{band } 4)}{(\text{band } 3 + \text{band } 4)}$	(Khan dkk., 2005)
3	SI	$\sqrt{\text{band } 3 \times \text{band } 8}$	(Dehni and Lounis, 2012)
4	NDVI	$\frac{(\text{band } 8 - \text{band } 3)}{(\text{band } 3 + \text{band } 8)}$	(Khan dkk., 2005)

2.6. *Principal Component Analysis*

Principal Component Analysis adalah metode analisis data yang dapat mengubah data berdimensi tinggi menjadi data baru dengan representasi berdimensi rendah (*Principal Component*) yang dapat mempertahankan sebagian besar variasi dalam data (Ma dan Chen, 2020). Data multispektral memiliki jumlah saluran yang relatif banyak. Saluran tersebut biasanya saling berkorelasi satu sama lain. Menurut Ardiansyah dkk., (2015), korelasi antar saluran akan mengurangi informasi saat dilakukan interpretasi citra. Semakin rendah korelasinya, maka saluran tersebut berpotensi untuk saling melengkapi. Tujuan dari PCA adalah sebagai berikut:

1. Mengekstrak informasi terpenting dari data asli.
2. Mengompres ukuran data dengan mempertahankan informasi terpenting.
3. Menyederhanakan kumpulan data set.
4. Menganalisis struktur pengamatan dan variabel.

Algoritma *principal component analysis* untuk penginderaan jauh dijelaskan dalam kajian Estornell, dkk., (2013) bahwa suatu citra (X) dapat digambarkan dengan format matriks berikut (Persamaan 1) :

$$X_{n,b} = \begin{bmatrix} x_1 & \cdots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{6,1} & \cdots & x_{6,n} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana n mewakili jumlah piksel dan b adalah nilai masing-masing *band*. Mempertimbangkan setiap *band* sebagai vektor, maka matriks tersebut dapat disederhanakan sebagai berikut (Persamaan 2):

$$X_k = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai k adalah jumlah band. Nilai eigen dari matriks kovarians harus dihitung untuk mengurangi dimensi pita asli. Matriks kovarians (C) dapat dihitung dengan rumus berikut (Persamaan 3):

$$C_{b,b} = \begin{bmatrix} \sigma_{1,1} & \cdots & \sigma_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{k,1} & \cdots & \sigma_{k,k} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

Simbol σ_{ij} merupakan kovarian dari setiap pasangan *band* yang berbeda. Kovarian tersebut didapat menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{N-1} \sum_{p=1}^N (DN_{p,i} - \mu_i)(DN_{p,j} - \mu_j) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana $DN_{p,i}$ adalah nilai *digital* dari sebuah piksel p pada band i , sedangkan $DN_{p,j}$ adalah nilai *digital* dari sebuah piksel p dalam *band* j , μ_i dan μ_j adalah rata-rata dari DN untuk *band* i dan j , masing-masing. Berdasarkan matriks varian-kovarian, *eigenvalues* (λ) dihitung sebagai akar persamaan karakteristik perhitungan berikut (Persamaan 5):

$$\det(C - \lambda I) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

keterangan C adalah matriks kovarian setiap *band* dan I adalah diagonal matriks identitas.

Eigenvalues menunjukkan informasi asli yang disimpan. Dari nilai tersebut persentasi varians asli dapat dijelaskan berdasarkan masing-masing *principal component*. Komponen yang mengandung varians minimum dapat dibuang. *Principal component* dapat dihitung dengan matriks berikut (Persamaan 6):

$$Y_k = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & \cdots & w_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{k,1} & \cdots & w_{k,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana Y adalah vektor dari *principal component*, k adalah jumlah *principal component*, W adalah matriks transformasi, dan X adalah vektor dari data asli. Koefisien dari matriks transformasi W adalah *eigenvectors* yang berada pada diagonal matriks kovarians dari pita asli. Nilai-nilai ini memberikan informasi mengenai korelasi *band* dengan masing-masing *principal component* (y_1, y_2, \dots, y_k). Dari nilai tersebut dimungkinkan untuk menghubungkan *principal component* dengan variabel nyata. *Eigenvectors* dapat dihitung dari vektor persamaan matriks (Persamaan 7) untuk setiap *eigenvalues* (λ_k),

$$(C - \lambda_k I)w_k = 0 \dots\dots\dots (7)$$

Dimana C adalah matriks kovarians, λ_k adalah *k eigenvalues*, I adalah diagonal matriks identitas, dan w_k adalah *k eigenvectors*.

Eigenvalue merupakan suatu angka skalar, sedangkan *eigenvector* adalah sebuah matriks dari hasil perhitungan antara *eigenvalue* dengan kelompok data awal. *Eigenvalue* yang memiliki nilai sama dengan atau di atas satu merupakan *Principal Component* dari PCA yang mewakili semua variabel awal (Riko dkk., 2019). *Eigenvalue* dapat diurutkan menjadi $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, hingga menunjukkan data piksel dengan variansi maksimum pada sumbu *canonical* y_1 , variansi terbesar kedua ditunjukkan oleh y_2 , dan seterusnya hingga variansi terkecil pada sumbu y_k .

2.7. Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan

Penelitian yang menggunakan data dan metode tertentu perlu dilakukan uji akurasi, karena sangat mempengaruhi pengguna terhadap setiap jenis data maupun metode analisisnya. Pengujian ini bertujuan untuk melihat *error* pada data hasil olah sehingga dapat diketahui presentase akurasi (Asma, 2018). Menurut Zulfajri dkk., (2021), standar ketelitian klasifikasi untuk menilai tingkat akurasi peta tutupan lahan dijelaskan pada Tabel 5. Dalam studi ini data yang perlu diuji ketelitiannya adalah hasil klasifikasi tutupan lahan. Hasil klasifikasi diuji dengan *confusion matrix* atau matriks kesalahan. Penggunaan *confusion matrix* telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Tabel 5. Standar Ketelitian Klasifikasi

Kategori	Tingkat Ketelitian (%)
Rendah	80 – 84
Sedang	85 – 89
Tinggi	90 – 94
Sangat Tinggi	≥ 95

(Sumber: Zulfajri dkk., (2021))

Prinsip kerja *confusion matrix* menghitung setiap kesalahan pada setiap bentuk penutup atau penggunaan lahan dari hasil proses klasifikasi citra. Penilaian uji akurasi *confusion matrix* dapat ditinjau dari akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), pembuat akurasi (*producer's accuracy*), dan akurasi pengguna (*user accuracy*). Menurut pedoman metode penelitian penginderaan jauh oleh Sutanto (2013) mengatakan bahwa klasifikasi citra dianggap benar dan layak digunakan untuk analisis jika hasil perhitungan *overall accuracy* berkisar antara 80% hingga 85%.

Overall accuracy merupakan perbandingan jumlah total area piksel yang diklasifikasikan dengan benar terhadap total area observasi. *Overall accuracy* menunjukkan tingkat kebenaran citra hasil klasifikasi. Perhitungan akurasi ini menggunakan rumus berikut (Persamaan 8):

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{D}{N} * 100\% \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

D : total nilai baris yang benar yang telah ditambah secara diagonal

N : total nilai yang benar di dalam *error matrix*

Producer's Accuracy merupakan peluang rata-rata (%) suatu piksel akan diklasifikasikan dengan benar dan menunjukkan seberapa baik setiap kelas di lapangan yang telah diklasifikasi. Perhitungan akurasi ini menggunakan rumus berikut (Persamaan 9).

$$\text{Producer's Accuracy} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} * 100\% \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

X_{ii} : total nilai sel yang benar di dalam kelas klasifikasi

X_{+i} : jumlah nilai sel dalam baris.

User accuracy merupakan peluang rata-rata (%) suatu piksel dari citra yang telah terklasifikasi, secara aktual mewakili kelas-kelas tersebut di lapangan. *User accuracy* dapat dihitung dengan rumus berikut (Persamaan 10):

$$\text{User Accuracy} = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} * 100\% \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

X_{ii} : total nilai sel yang benar di dalam kelas klasifikasi.

X_{+i} : jumlah nilai sel dalam baris.

2.8. Uji Akurasi Salinitas

Ketelitian dari hasil estimasi salinitas yang telah dilakukan diukur menggunakan metode *root mean square error* (RMSE). RMSE menunjukkan nilai standar deviasi berdasarkan perbedaan antara nilai aktual. RMSE banyak digunakan untuk mengevaluasi model regresi linear dengan mengukur tingkat akurasi dari hasil perkiraan suatu model. Berdasarkan ketelitian alat yang digunakan pada penelitian ini, maka akurasi estimasi salinitas dapat diterima jika nilai RMSE

berada pada rentang 0 hingga 0,01. Perhitungan RMSE menggunakan rumus berikut (Persamaan 11):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (At - Ft)^2}{n}} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

- At : nilai aktual
- Ft : nilai estimasi
- n : jumlah sampel

2.9. Uji Hipotesis Penelitian

Uji chi square merupakan jenis uji statistik non parametris yang biasanya digunakan untuk membandingkan dua kelompok atau lebih berdasarkan data-data yang sudah dikategorikan. Rumusan hipotesis yang digunakan pada penelitian ini adalah H_0 berarti tidak ada pengaruh antara perubahan tutupan lahan dengan tingkat intrusi air laut dan H_1 berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara perubahan tutupan lahan dengan tingkat intrusi air laut. Perhitungan uji *chi-square* dirumuskan seperti Persamaan 12 (Heryana 2020).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana, χ adalah *chi-square*, f_o adalah jumlah frekuensi yang diobservasi, dan f_e adalah jumlah frekuensi yang diharapkan.

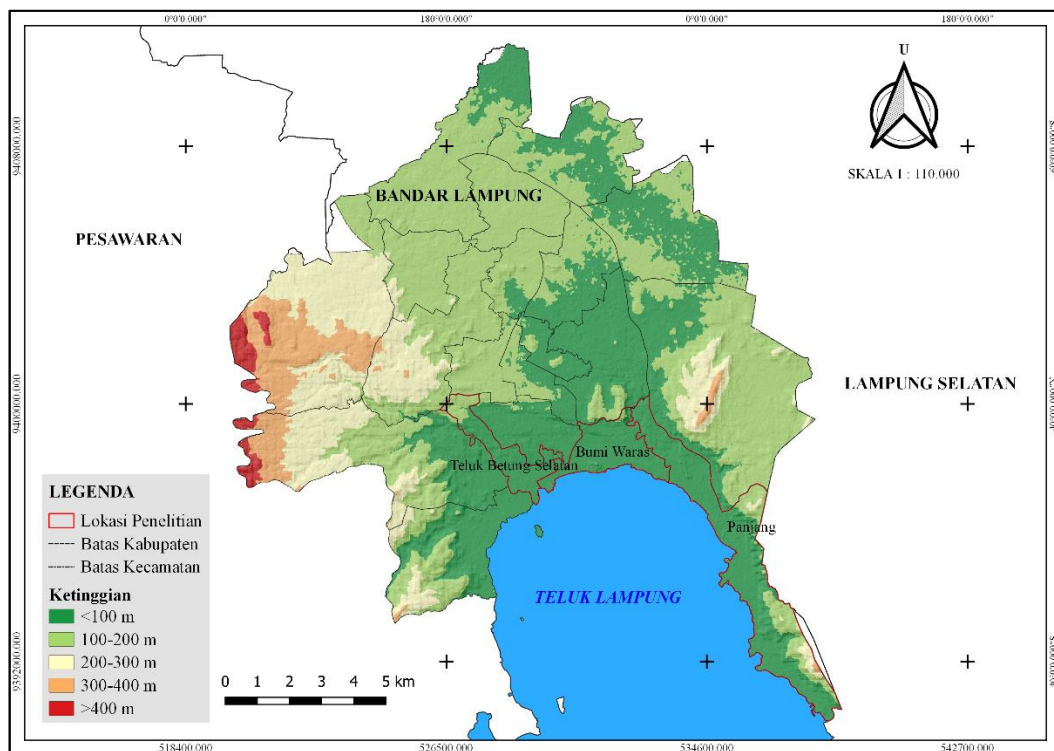
Adapun kriteria pada uji *chi-square* adalah sebagai berikut:

1. Jika *p-value* > 0,05, maka H_0 **diterima**, sedangkan H_1 **ditolak**.
2. Jika *p-value* < 0,05, maka H_1 **diterima**, sedangkan H_0 **ditolak**.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung. Lokasi penelitian dibagi menjadi tiga tempat yaitu Kecamatan Teluk Betung Selatan, Bumi Waras, dan Panjang (Gambar 4).



Gambar 4. Topografi Kota Bandar Lampung
(Sumber: hasil pengolahan DEMNAS tahun 2022)

Kota Bandar Lampung secara geografis terletak pada 5°20' - 5°30' Lintang Selatan dan 105°28' - 105°37' Bujur Timur. Kota Bandar Lampung memiliki luas wilayah 197,22 km² dan terletak pada ketinggian 0 – 700 m di atas permukaan laut. Bagian selatan Kota Bandar Lampung berbatasan langsung dengan Teluk Lampung dengan panjang garis pantai ± 27,01 km. Berdasarkan lokasi tersebut, letak wilayah

Kota Bandar Lampung cukup strategis karena merupakan daerah transit kegiatan perekonomian antar Pulau Sumatera dan Pulau Jawa.

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Maret sampai dengan Bulan Agustus 2022. Kegiatan penelitian dimulai dari studi literatur, penyusunan proposal, pengumpulan data sekunder, pengumpulan data primer, pengolahan data, dan penyusunan laporan skripsi. Waktu pelaksanaan penelitian disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rencana waktu pelaksanaan penelitian

No.	Kegiatan	Bulan																											
		Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus							
1	Studi literatur	■	■	■	■																								
2	Penyusunan proposal					■	■	■	■	■																			
3	Pengumpulan data sekunder									■	■	■	■																
4	Pengumpulan data primer													■	■	■	■												
5	Pengolahan data																	■	■	■	■								
6	Penyusunan laporan skripsi																					■	■	■	■	■	■	■	■

3.2. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dengan cara pengamatan langsung di lapangan atau survei lapangan. Penelitian ini menggunakan data lapangan berupa salinitas dan informasi tutupan lahan. Pengambilan kedua data tersebut dilakukan pada setiap sebaran titik sampel. Teknik penentuan sampel menggunakan *stratified random sampling* berdasarkan jenis tutupan lahan yang ada di lapangan.

Data sekunder adalah data yang diperoleh dengan cara mengumpulkan data dari sumber yang sesuai dengan kebutuhan jenis data. Penelitian ini memanfaatkan Data Citra Sentinel-2 untuk melakukan analisis terkait intrusi air laut dan klasifikasi tutupan lahan. Citra *Google Earth* juga digunakan sebagai referensi dalam mengklasifikasikan tutupan lahan di lokasi penelitian. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Sekunder

No.	Nama	Akuisisi	Sumber
1	L1C_T48MWV_A005506_20160712T032901	12 Juli 2016	https://earthexplorer.usgs.gov/
	L1C_T48MWV_A036251_20220601T032135	1 Juni 2022	
2	Google Earth	6 Agustus 2016	https://earth.google.com/
		5 Juni 2022	

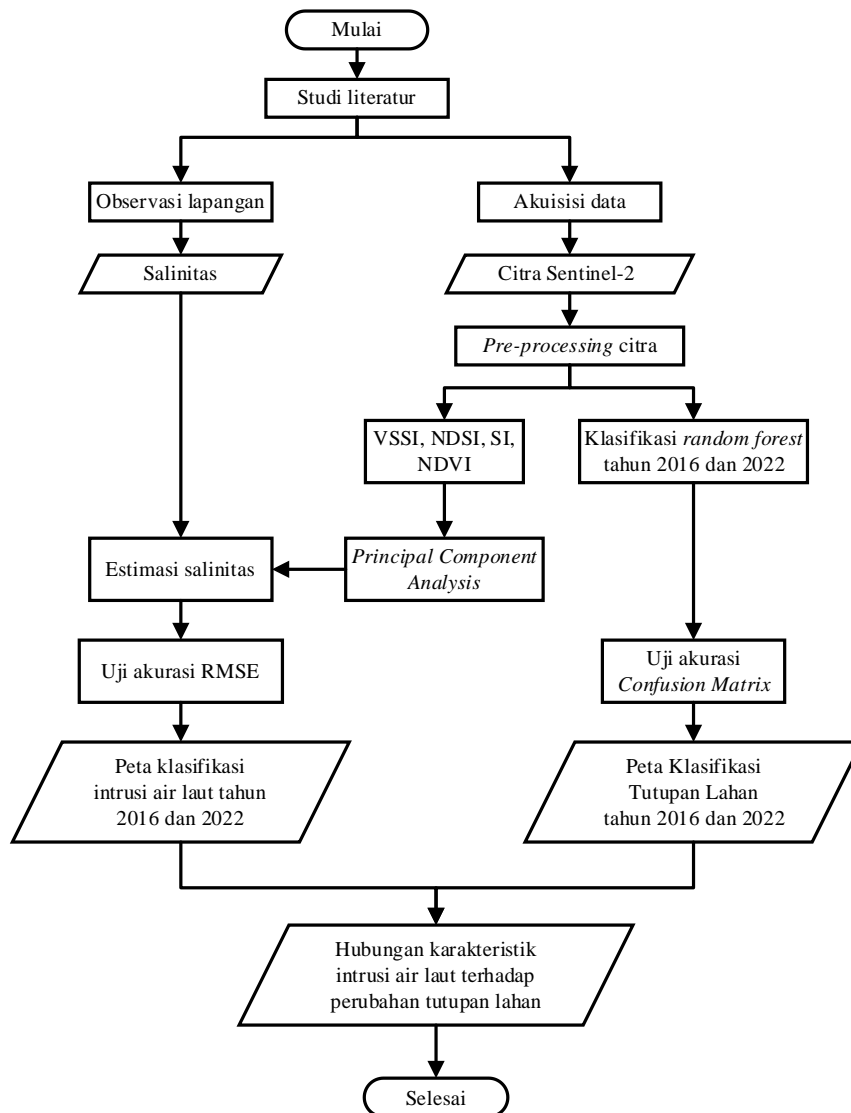
3.3. Metode

Proses penelitian dimulai dengan studi literatur terkait dengan intrusi air laut. Tahap ini berguna untuk menentukan data dan metode yang dipakai. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan pengambilan data nilai salinitas di lokasi penelitian menggunakan alat salinometer. Selain itu, pengambilan data Sentinel-2 tahun 2016 dan 2022 diunduh melalui laman <https://earthexplorer.usgs.gov/> yang mana pengolahan yang sama akan dilakukan pada citra tahun 2016 dan 2022. Citra Sentinel-2 sebelum dianalisis terlebih dahulu dilakukan *preprocessing*, dimana dilakukan koreksi radiometrik untuk meminimalisir gangguan atmosfer pada citra sehingga nilai spektral lebih akurat dalam menginterpretasi citra.

Pengolahan Citra Sentinel-2 dibagi menjadi dua yaitu untuk mendapatkan indeks salinitas (VSSI, NDSI, SI, dan NDVI) dan untuk interpretasi klasifikasi tutupan lahan. Hasil indeks salinitas dilakukan proses analisis PCA untuk mengurangi redudansi sehingga dapat mengeskrak informasi salinitas yang lebih akurat. Hasil PCA diintegrasikan dengan data salinitas di lapangan menggunakan persamaan regresi linier berganda untuk mendapatkan estimasi nilai salinitas.

Hasil estimasi nilai salinitas dan klasifikasi tutupan lahan masing-masing dilakukan uji akurasi menggunakan metode RMSE dan *confusion matrix*. Estimasi salinitas yang dinyatakan dapat digunakan sebagai analisis dikelompokkan sesuai dengan klasifikasi salinitas tanah pada Tabel 1 untuk mendapatkan peta intrusi air laut. Data intrusi air laut dan klasifikasi tutupan lahan akan digunakan sebagai analisis untuk menentukan hubungan intrusi air laut terhadap perubahan tutupan

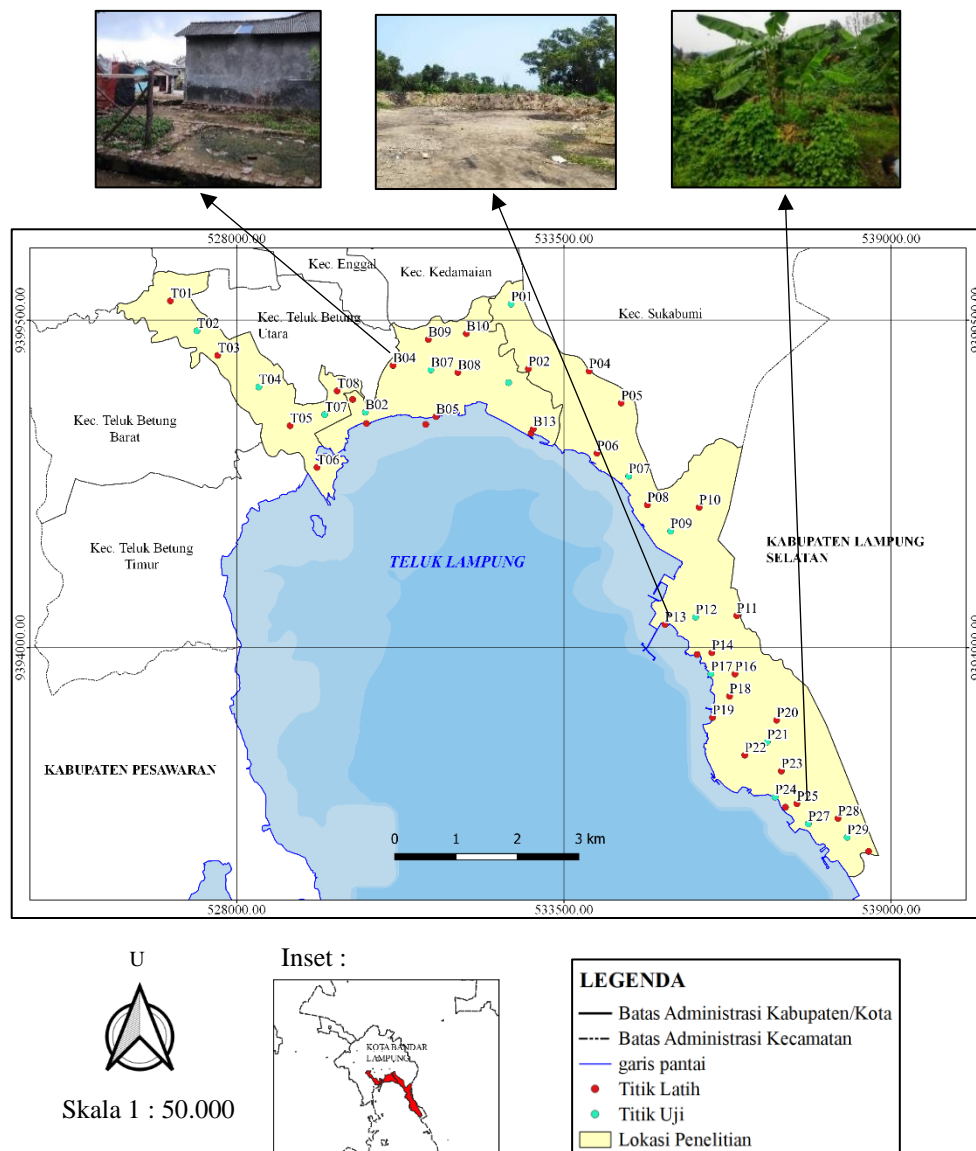
lahan. Seluruh rangkaian penelitian tersebut dirangkum dalam diagram alir berikut (Gambar 5).



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

3.4. Pengambilan Data Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengukur salinitas di 52 titik sampel yang tersebar di lokasi penelitian (Gambar 6). Titik sampel dibagi menjadi dua jenis yaitu titik latih yang digunakan dalam proses analisis, sedangkan titik uji digunakan pada proses uji akurasi dari hasil estimasi salinitas.



Gambar 6. Distribusi titik sampel pengukuran salinitas di lokasi penelitian. (Sumber: hasil analisis)

Survei dilakukan selama dua hari yaitu pada tanggal 21 dan 22 Juni 2022. Salinitas tanah diukur menggunakan alat *water quality tester* dengan satuan *part per million* (ppm). Alat tersebut bekerja dengan cara memasukkan *probe* logam langsung ke dalam plastik berisi tanah yang dicampur dengan aquades. Teknik pengambilan sampel merujuk pada (Nguyen dkk., 2020), dimana sampel tanah diambil pada kedalaman 10-20 cm dicampur dengan aquades dengan perbandingan tanah dan aquades adalah 1 berbanding 5. Hasil pengukuran salinitas pada 52 titik sampel akan digunakan sebagai data latih sebanyak 70% dan 30% sisanya

digunakan sebagai validasi (Abdi 2020). Pada Tabel 8 berikut merupakan hasil pengambilan data salinitas dan tutupan lahan di lapangan (selengkapnya lihat bagian lampiran). Berdasarkan analisis *outlier*, maka terdapat dua titik yang dieliminasi karena dapat mengurangi akurasi dari hasil penelitian.

Tabel 8. Data Survei Lapangan

No.	Kode	Bujur	Lintang	Salinitas (ppm)	Salinitas (%)	Jenis Tutupan Lahan
1	T01	105,242707125	-5,429759723	43	0,0043	vegetasi rendah
2	P11	105,328650989	-5,477556926	45	0,0045	vegetasi rapat (hutan)
3	T03	105,249890579	-5,438041106	61	0,0061	vegetasi rendah
4	T04	105,256123602	-5,442845087	92	0,0092	vegetasi rendah (belukar)
5	P29	105,345427014	-5,511195721	114	0,0114	vegetasi rapat (hutan)
6	T02	105,246735960	-5,434314428	119	0,0119	vegetasi rendah
7	T08	105,268007528	-5,443427255	137	0,0137	Permukiman
8	P02	105,297019249	-5,440080700	147	0,0147	Vegetasi sedang
9	B11	105,294014879	-5,442162127	267	0,0267	Vegetasi sedang (Kebun singkong)
10	B09	105,281832660	-5,435611160	275	0,0275	Permukiman
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
40	P12	105,322404665	-5,477764998	1343	0,1343	Permukiman
41	P28	105,344020628	-5,508325805	1354	0,1354	Permukiman
42	B02	105,272286213	-5,446669567	1514	0,1514	Permukiman
43	P19	105,324984475	-5,493019345	1750	0,1750	lahan terbuka
44	P15	105,322651667	-5,483445000	1814	0,1814	Permukiman
45	B12	105,297437240	-5,449853697	1982	0,1982	Lahan terbuka
46	B03	105,272455604	-5,448384423	2064	0,2064	Permukiman
47	P26	105,336055067	-5,506626961	2067	0,2067	Sungai (dekat muara)
48	P17	105,324727134	-5,486392866	2069	0,2069	Permukiman
49	P13	105,317759633	-5,478884767	2208	0,2208	Permukiman
50	P24	105,334479018	-5,505102412	2800	0,2800	lahan terbuka (pantai)

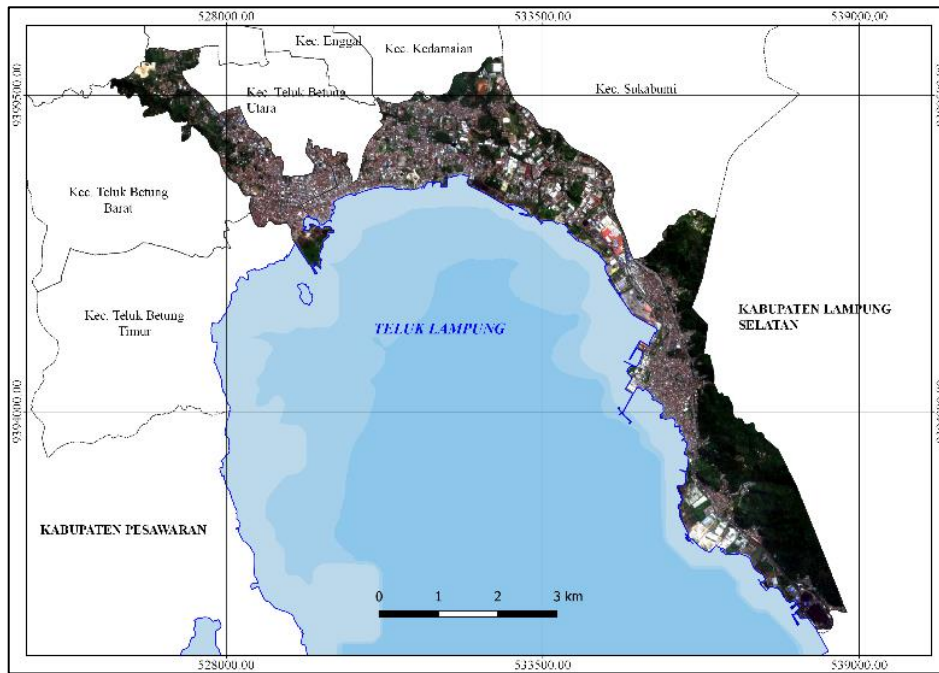
Keterangan: Warna oranye merupakan titik uji.
(Sumber: hasil analisis)

3.5. Pengolahan Data

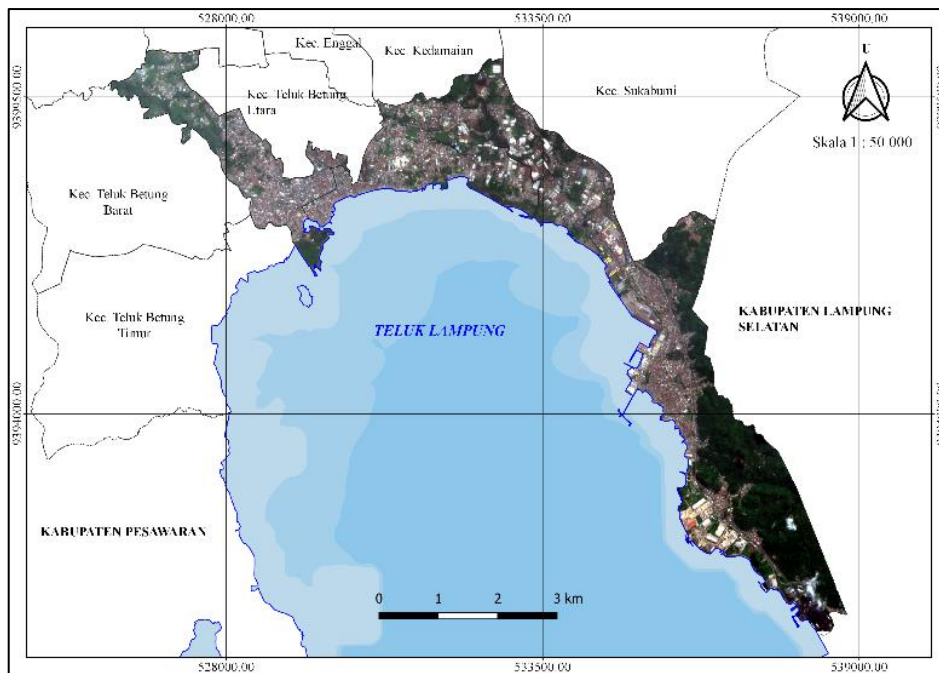
Metode pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan berikut.

3.4.1. *Preprocessing* Citra Sentinel-2

Tahapan ini meliputi koreksi radiometrik, penggabungan citra, dan pemotongan citra. Berikut merupakan hasil dari tahap *preprocessing* (Gambar 7).



(a)



(b)

Gambar 7. Citra Sentinel-2 yang telah dikoreksi (a) tahun 2016 dan (b) tahun 2022. (Sumber: hasil analisis)

Data citra satelit Sentinel-2 perlu dilakukan koreksi radiometrik sebelum diinterpretasikan untuk memperbaiki kualitas visual dan kalibrasi nilai *digital number* (biner) menjadi nilai reflektan, sehingga sesuai dengan spesifikasi citra yang sesungguhnya (Arhatin, 2010). Koreksi *Top of Atmosphere* (TOA) serta reflektan permukaan menggunakan metode *Dark Object Substraction* (DOS) (Sari dkk., 2019). Tahapan ini penting dilakukan untuk mengilangkan efek gangguan dari hamburan atmosfer dan dapat meningkatkan akurasi dari hasil klasifikasi (Lin dkk., 2015). Keseluruhan tahapan *preprocessing* pada data Citra Sentinel-2 pada penelitian ini menggunakan *software* QGIS 3.14 dengan memanfaatkan *semi-automatic classification plugin*.

3.4.2. Klasifikasi Tutupan Lahan dengan Algoritma *Random Forest*

Klasifikasi tutupan lahan lokasi penelitian menggunakan metode *Random Forest Classification*. Metode tersebut telah banyak diterapkan dalam klasifikasi data citra penginderaan jauh, karena memiliki beberapa keunggulan yaitu bersifat non-parametrik yang dinilai mampu mengeksekusi berbagai kondisi data (nilai spektral), algoritmanya tidak peka terhadap *noise*, dan tidak sensitif terhadap *overfitting* sehingga menghasilkan kinerja yang baik (Zulfajri dkk., 2021). Proses klasifikasi tutupan lahan dengan metode *random forest* menggunakan *software* QGIS 3.14 memanfaatkan menu *dzetsaka classification tool*.

Penentuan *training sample* menggunakan klasifikasi terbimbing, dimana *training sample* ditentukan secara acak pada setiap kelas dan terdistribusi secara merata di seluruh lokasi penelitian. Citra sentinel tahun 2016, didapatkan 242 area *training*, sedangkan tahun 2022 didapatkan 248 area *training*. Terdapat sedikit gangguan awan pada citra tahun 2022, namun keberadaannya masih bisa ditoleransi. *Training sample* yang digunakan pada penelitian ini dirangkum pada tabel berikut (Tabel 9).

Tabel 9. Statistik *Training Sample Random Forest*

Kelas	Jumlah <i>Training Sample</i>	
	2016	2022
Vegetasi Rapat	45	47
Vegetasi Sedang	20	20
Vegetasi Rendah	23	19
Tanah Terbuka	39	41
Pertambangan	5	5
Perairan	4	4
Permukiman	50	48
Bangunan Industri	56	60
Awan	0	4
Total	242	248

(Sumber: hasil analisis)

Penelitian ini menemukan delapan kelas tutupan dan penggunaan lahan yang dijelaskan pada Tabel 10.

Tabel 10. Jenis tutupan dan penggunaan lahan di lokasi penelitian

No.	Tutupan dan Penggunaan Lahan	Deskripsi
1	Bangunan Industri	Gudang, pabrik, pelabuhan
2	Permukiman	Rumah penduduk dan bangunan umum
3	Pertambangan	Kawasan yang diperuntukkan untuk kegiatan pertambangan
4	Sungai	Permukaan air sungai
5	Tanah Terbuka	Kawasan yang tidak memiliki tutupan lahan
6	Vegetasi Rapat	Hutan dengan kerapatan tinggi
7	Vegetasi Sedang	pertanian, rawa-rawa
8	Vegetasi Rendah	Semak, ladang, belukar, padang rumput, alang – alang, sebagian lahan pertanian

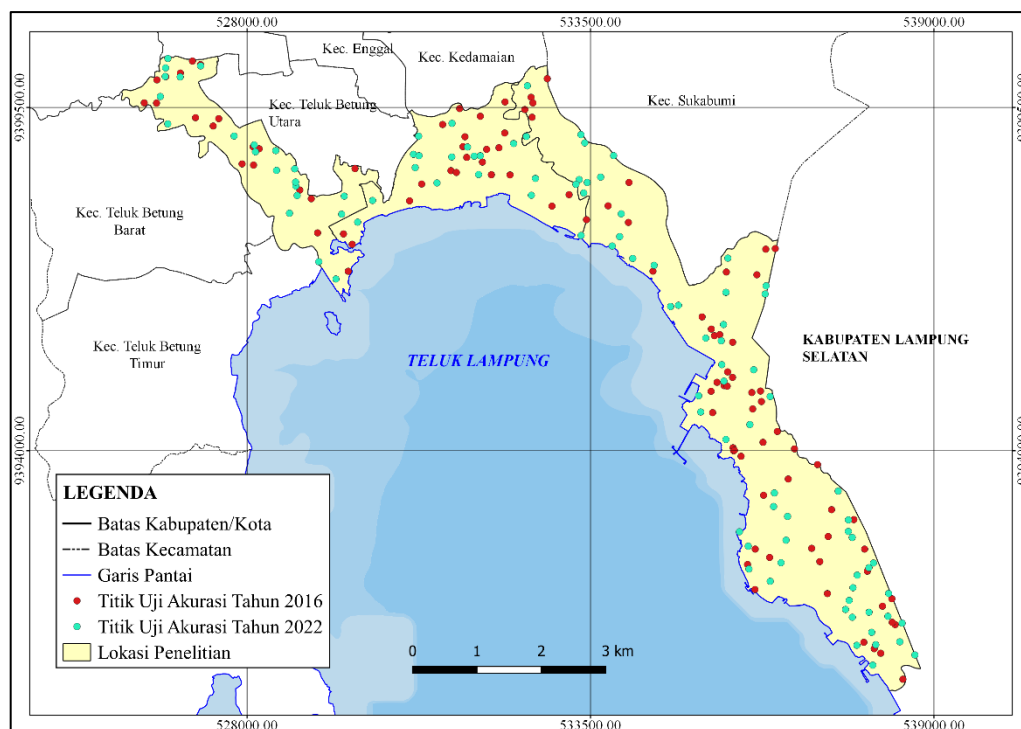
(Sumber: hasil analisis)

3.4.3. Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan dari tahun 2016 hingga 2022 perlu dilakukan uji akurasi guna untuk menentukan kelayakan hasil klasifikasi yang diperoleh dari penelitian. Proses *confusion matrix* dilakukan menggunakan QGIS 3.14 dengan memanfaatkan fitur *Accuracy Assessment of Thematic Maps*. Penelitian ini menggunakan kombinasi dari data lapangan dan *Google Earth* sebagai referensi dalam proses uji akurasi ini. Hasil klasifikasi layak untuk digunakan sebagai hasil

penelitian ini jika nilai *overall accuracy* minimal berkisar antara 80% hingga 85% (Sutanto 2013).

Sebanyak 100 titik sampel yang digunakan sebagai validasi ditentukan menggunakan *stratified random sampling* (Gambar 8), dimana distribusi titik disebar secara acak berdasarkan kebutuhan setiap luas tutupan lahan.



Gambar 8. Distribusi titik uji akurasi tutupan lahan.
(Sumber: hasil analisis)

Data hasil uji akurasi tutupan lahan tahun 2016 dan 2022 disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12 (selengkapnya lihat bagian lampiran).

Tabel 11. Data titik uji akurasi tutupan lahan tahun 2016

ID	Bujur	Lintang	Kelas Sesungguhnya	Peta Tutupan Lahan	Akurasi
1	105,2822349	-5,441829564	Vegetasi Rendah	Vegetasi Rendah	Benar
2	105,2536357	-5,438391935	Permukiman	Permukiman	Benar
3	105,3274623	-5,488857837	Vegetasi Rapat	Vegetasi Rapat	Benar
4	105,3079802	-5,443531297	Permukiman	Permukiman	Benar
5	105,3222566	-5,470978916	Permukiman	Permukiman	Benar
6	105,2938176	-5,431192764	Tanah Terbuka	Tanah Terbuka	Benar
7	105,3229748	-5,466686902	Tanah Terbuka	Tanah Terbuka	Benar
8	105,3203469	-5,46573613	Permukiman	Permukiman	Benar
9	105,3217459	-5,472971721	Permukiman	Permukiman	Benar

ID	Bujur	Lintang	Kelas Sesungguhnya	Peta Tutupan Lahan	Akurasi
10	105,3352599	-5,484407196	Vegetasi Sedang	Vegetasi Sedang	Benar
:	:	:	:	:	:
98	105,3420744	-5,496654121	Vegetasi Sedang	Vegetasi Sedang	Benar
99	105,2900527	-5,431873119	Vegetasi Sedang	Vegetasi Sedang	Benar
100	105,3273703	-5,481183348	Vegetasi Rapat	Vegetasi Rapat	Benar

(Sumber: hasil analisis)

Tabel 12. Data titik uji akurasi tutupan lahan tahun 2022

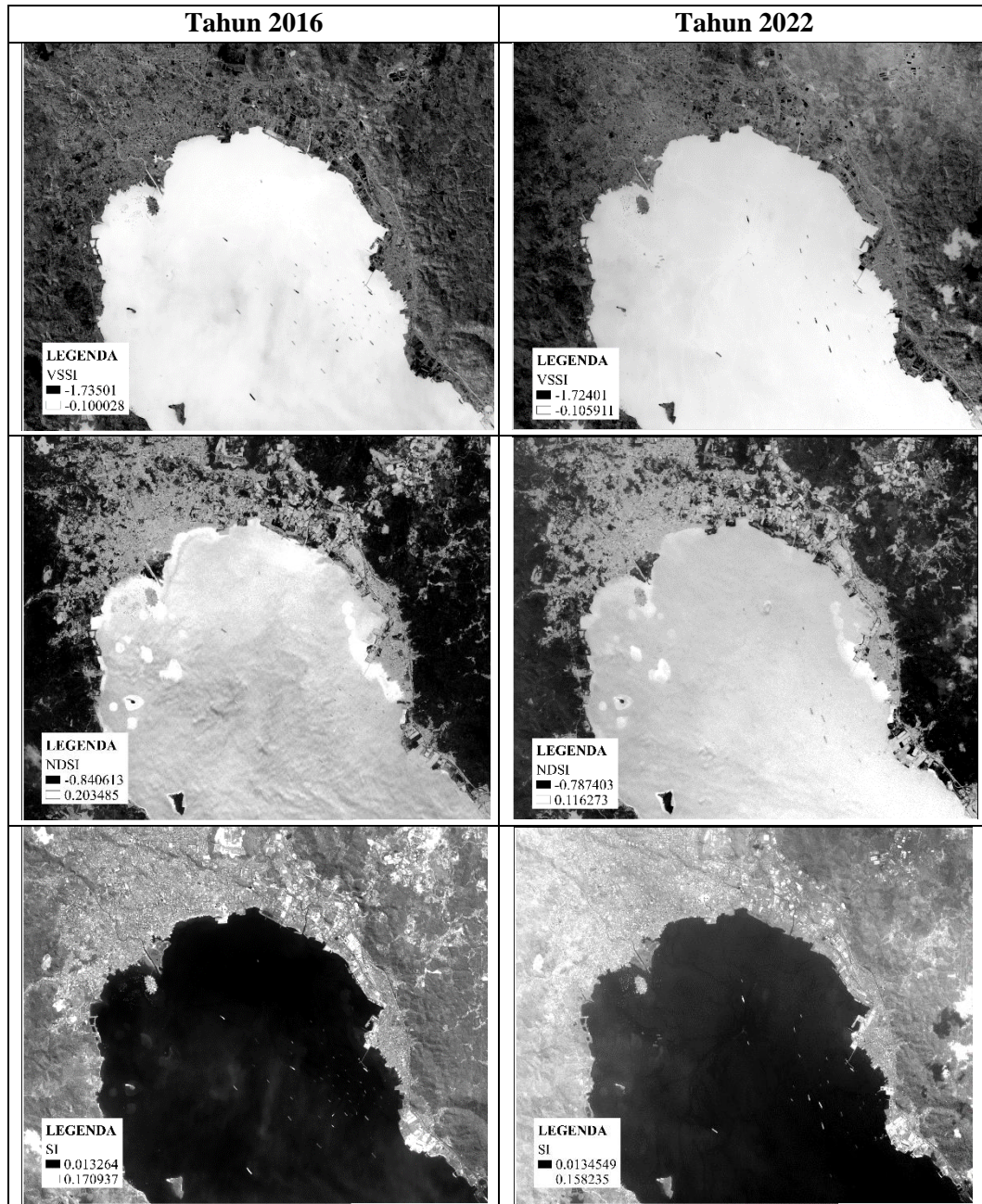
ID	Bujur	Lintang	Kelas Sesungguhnya	Peta Tutupan Lahan	Akurasi
1	105,3253453	-5,499548496	Tanah Terbuka	Tanah Terbuka	Benar
2	105,2631367	-5,455045455	Tanah Terbuka	Tanah Terbuka	Benar
3	105,2823530	-5,439845041	Tanah Terbuka	Tanah Terbuka	Benar
4	105,3431018	-5,508716863	Permukiman	Tanah Terbuka	Salah
5	105,3284104	-5,474546688	Vegetasi Sedang	Vegetasi Sedang	Benar
6	105,2912976	-5,437895023	Bangunan Industri	Tanah Terbuka	Salah
7	105,3290224	-5,488521142	Vegetasi Rapat	Vegetasi Rapat	Benar
8	105,2402232	-5,431103962	Permukiman	Permukiman	Benar
9	105,2664397	-5,448141326	Permukiman	Permukiman	Benar
10	105,2412950	-5,435078878	Vegetasi Rendah	Vegetasi Rendah	Benar
:	:	:	:	:	:
98	105,3066326	-5,451380197	Tanah Terbuka	Tanah Terbuka	Benar
99	105,3085223	-5,454546445	Vegetasi Sedang	Vegetasi Sedang	Benar
100	105,3015786	-5,43779862	Vegetasi Rendah	Perairan	Salah

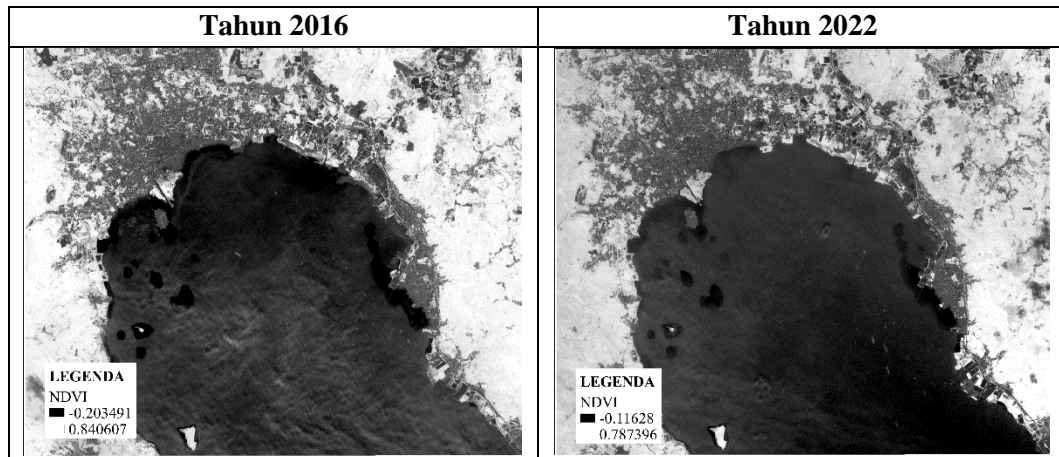
(Sumber: hasil analisis)

3.4.4. Transformasi Indeks Spektral Salinitas

Indeks spektral salinitas terbaik menurut Asfaw dkk., (2018) dan Nguyen dkk., (2020) yaitu *vegetation soil salinity index*, *normalize difference salinity index*, *salinity index*, dan *normalize difference vegetation index* digunakan untuk mengindikasikan salinitas tanah di lokasi penelitian. Berdasarkan penelitian sebelumnya, keempat indeks salinitas tersebut telah mampu memprediksi salinitas di lokasi studi masing-masing. Namun, informasi nilai spektral tersebut hanya menunjukkan indikasi atau anomali, sehingga perlu dilakukan integrasi dengan data

pengukuran salinitas untuk mendapatkan nilai estimasi salinitas. Keempat indeks tersebut diolah menggunakan QGIS 3.4 dengan memanfaatkan fitur *raster calculator*. Hasil indeks salinitas yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada tabel berikut (Gambar 9).



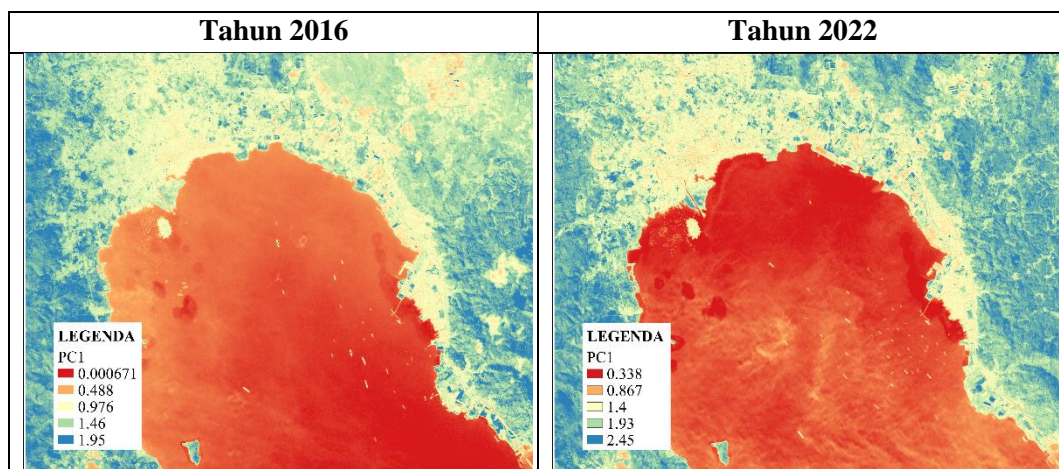


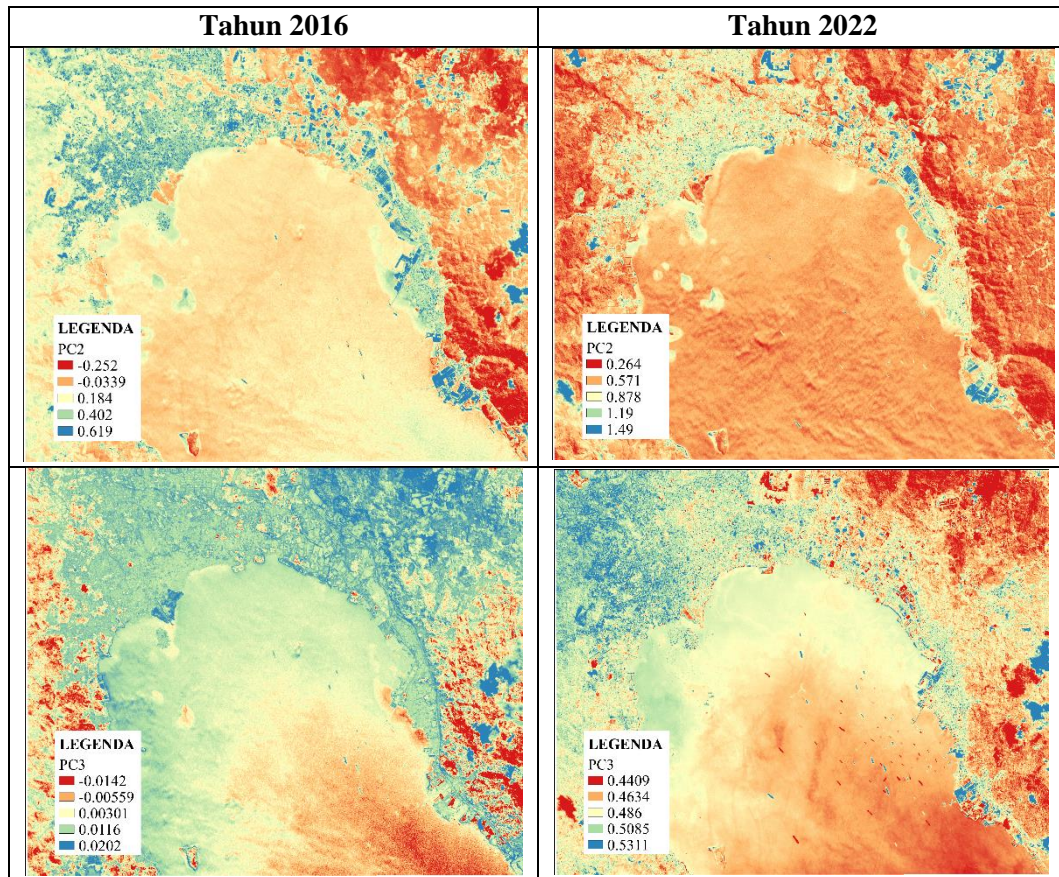
Gambar 9. Perbandingan indeks salinitas tahun 2016 dan 2022.

(Sumber: hasil analisis)

3.4.5. *Principal Component Analysis terhadap Salinitas*

Indeks spektral yang digunakan dalam penelitian ini memiliki redundansi, sehingga penting dilakukan transformasi *principal component analysis* (PCA). Proses ini dilakukan menggunakan *software* ArcMap 10.8 dengan memanfaatkan fitur *Principal Component Analysis (for raster)*. PCA menghasilkan empat citra baru (*principal component*) yang mengestak nilai spektral salinitas. *principal component 1* (PC1) akan memuat variansi data spektral salinitas paling besar, diikuti oleh PC2, PC3, dan terakhir PC4 hanya akan memuat *noise* (Raharja dkk., 2019). Hasil PCA tahun 2016 dan 2022 disajikan pada tabel berikut (Gambar 10).





Gambar 10. Hasil PCA tahun 2016 dan 2022.

(Sumber: hasil analisis)

3.4.6. Pemodelan Intrusi Air Laut

Pemodelan intrusi air laut didapatkan melalui persamaan regresi linier berganda. Analisis ini pada umumnya digunakan untuk membuat model relasi antara lebih dari satu variabel bebas, dimana variabel satu biasanya sulit untuk diukur (seperti salinitas dari pengukuran lapangan), dan variabel lainnya relatif mudah diperoleh (Indeks salinitas dari Citra Sentinel-2) (Sakai dkk., 2021). Variabel terikat yang digunakan dalam analisis regresi merupakan data salinitas lapangan, sedangkan variabel bebas merupakan citra hasil dari PCA tahun 2022 yaitu PC1, PC2, dan PC3. Terdapat 35 titik latih yang digunakan dalam analisis regresi (Tabel 13).

Tabel 13. Data salinitas dan komponen PCA untuk analisis regresi

No.	Kode	Salinitas (%)	PC1	PC2	PC3
1	B01	0,0337	1,594	0,645	0,516
2	B03	0,2064	1,361	1,250	0,480
3	B04	0,0741	1,058	0,431	0,513
4	B05	0,0969	1,736	1,166	0,491
5	B06	0,0665	1,752	1,476	0,527
6	B08	0,0988	1,445	0,992	0,497
7	B09	0,0275	1,808	0,618	0,503
8	B10	0,0865	1,612	0,895	0,488
9	B12	0,1982	1,584	0,748	0,466
10	B13	0,1254	1,693	0,616	0,482
11	P02	0,0147	1,923	0,445	0,495
12	P04	0,0911	1,781	0,826	0,469
13	P05	0,0698	1,387	0,587	0,501
14	P06	0,0709	1,711	0,515	0,499
15	P08	0,0973	1,474	0,599	0,504
16	P10	0,0325	1,756	0,329	0,487
17	P11	0,0045	1,704	0,204	0,506
18	P13	0,2208	1,541	1,258	0,472
19	P14	0,0674	1,948	0,927	0,481
20	P15	0,1814	1,272	1,093	0,497
21	P16	0,0502	1,709	0,753	0,501
22	P18	0,0352	1,749	0,254	0,482
23	P19	0,1750	1,416	0,995	0,491
24	P20	0,0887	1,583	0,876	0,488
25	P22	0,0624	1,726	0,583	0,481
26	P23	0,0763	1,539	0,746	0,493
27	P25	0,0517	2,051	0,588	0,469
28	P26	0,2067	1,748	0,425	0,457
29	P28	0,1354	1,421	0,895	0,465
30	P30	0,0939	1,362	0,793	0,496
31	T01	0,0043	1,997	0,701	0,519
32	T03	0,0061	1,957	0,647	0,510
33	T05	0,0647	1,331	0,911	0,526
34	T06	0,1026	1,599	0,860	0,491
35	T08	0,0137	1,901	0,759	0,515

(Sumber: hasil analisis)

Kekuatan model estimasi ditunjukkan berdasarkan Koefisien determinasi (R^2) dalam rentang nilai dari 0 hingga 1. Apabila koefisien determinasi mendekati 1 maka dapat dikatakan bahwa komponen PCA memiliki hubungan yang kuat terhadap salinitas di lapangan, sehingga model estimasi dinilai dapat menjelaskan salinitas di lokasi penelitian. Klasifikasi tingkat hubungan berdasarkan koefisien determinasi dapat dilihat pada tabel berikut (Tabel 14).

Tabel 14. Klasifikasi Koefisien Determinasi

No.	Koefisien Determinasi (R^2)	Tingkat Hubungan
1	0 – 0,199	Sangat rendah
2	0,2 – 0,399	Rendah
3	0,4 – 0,599	Cukup kuat
4	0,6 – 0,799	Kuat
5	0,8 – 1	Sangat kuat

(Sumber: Harahap dkk., 2013)

3.4.7. Uji Akurasi Estimasi Salinitas

Hasil estimasi salinitas berdasarkan komponen PCA harus dilakukan uji akurasi untuk menentukan kelayakan model prediksi. Uji akurasi menggunakan perhitungan *root mean square error* (RMSE). Perhitungan RMSE dilakukan menggunakan 15 titik uji yang tersebar di lokasi penelitian (Tabel 15). Hasil akurasi dapat diterima jika nilai RMSE berada pada rentang 0 hingga 0,1.

Tabel 15. Data nilai salinitas dan hasil estimasi salinitas untuk uji akurasi

No	Kode	Salinitas (%)	Estimasi Salinitas (%)
1	T04	0,0092	0,0119
2	P29	0,0114	0,0035
3	T02	0,0119	0,0023
4	B11	0,0267	0,0540
5	B07	0,0535	0,0604
6	P01	0,0559	0,0889
7	P07	0,0884	0,0605
8	P27	0,0996	0,0683
9	P21	0,1135	0,1608
10	T07	0,1138	0,1414
11	P09	0,1284	0,1494
12	P12	0,1343	0,1314
13	B02	0,1514	0,1393
14	P17	0,2069	0,1466
15	P24	0,2800	0,2211

(Sumber: hasil analisis)

3.4.8. Uji Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan menggunakan *chi-square* untuk mengetahui hubungan tingkat intrusi air laut dengan tutupan lahan di lokasi penelitian. *Chi*

square merupakan jenis uji komparatif untuk dua variabel, dimana skala data kedua variabel bersifat nominal. Maka data penelitian yang digunakan dalam uji *chi square* dikategorikan dalam bentuk nominal. Penelitian ini menggunakan 108 titik uji hipotesis yang didistribusikan secara *stratified random sampling* (Tabel 16).

Tabel 16. Data uji hipotesis

ID	Kelas	Tingkat Intrusi
1	Bangunan Industri	Rendah
2	Bangunan Industri	Rendah
3	Bangunan Industri	Tidak Terdampak
⋮	⋮	⋮
107	Vegetasi Sedang	Tidak Terdampak
108	Vegetasi Sedang	Tidak Terdampak

(Sumber: hasil analisis)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan kajian intrusi air laut yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya.

1. Intrusi air laut di lokasi penelitian mayoritas lebih tinggi di lahan permukiman dan tanah terbuka, sementara pada lahan bervegetasi tingkat intrusi cenderung lebih rendah. Selain itu, ditemukan bahwa area yang berlokasi dekat dengan laut memiliki salinitas yang lebih tinggi dibandingkan area yang jauh dari laut.
2. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa variasi tutupan lahan mempengaruhi tingkat intrusi air laut. Tingkat intrusi cenderung lebih tinggi di lahan tidak bervegetasi dan lebih rendah di lahan bervegetasi. Hasil ini didukung dengan uji *chi-square* yang menunjukkan nilai probabilitas lebih kecil dari 0,05. Maka hipotesis penelitian H1 diterima dimana terdapat hubungan signifikan terhadap perubahan tutupan lahan dengan tingkat intrusi air laut.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang perlu dipertimbangkan.

1. Keberadaan lahan bervegetasi cukup mempengaruhi tingkat intrusi air laut. Oleh sebab itu, penting untuk melakukan penghijauan kembali sehingga lahan resapan air memadai. Selain itu, penanaman hutan *mangrove* juga dapat berperan untuk menghambat laju intrusi air laut.
2. Hasil estimasi salinitas menggunakan Citra Sentinel-2 pada penelitian ini sangat berpengaruh terhadap cuaca, dimana objek permukaan bumi yang tertutup oleh awan tidak dapat menginterpretasikan nilai spektral yang sesungguhnya. Dalam

hal ini, data citra radar bisa menjadi alternatif karena memanfaatkan pantulan gelombang mikro, sehingga mampu menembus awan dan gangguan cuaca lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, A.M., 2020. Land Cover and Land Use Classification Performance of Machine Learning Algorithms in a Boreal Landscape Using Sentinel-2 Data. *Giscience and Remote Sensing*, 57 (1), 1–20.
- Adi, S., Zaenudin, A., Kusumastuti, D.I., and Suharno, 2014. Penggunaan Metode Geolistrik untuk Pemodelan Distribusi Intrusi Air Laut di Daerah Pesisir Kota Bandar Lampung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 2 (1), 91–101.
- Al-Khakani, E.T. and Yousif, S.R., 2019. An Assessment of Soil Salinity and Vegetation Cover Changes for a Part of An-Najaf Governorate Using Remote Sensing Data. *Journal of Physics: Conference Series*, 1234.
- Allbed, A., Kumar, L., and Sinha, P., 2018. Soil Salinity and Vegetation Cover Change Detection From Multi-temporal Remotely Sensed Imagery in Al Hassa Oasis in Saudi Arabia. *Geocarto International*, 33 (8), 830–846.
- Ardiansyah, Subiyanto, S., and Sukmono, A., 2015. Identifikasi Lahan Sawah Menggunakan NDVI dan PCA pada Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kabupaten Demak, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 4 (4), 316–324.
- Arhatin, R.E., 2010. *Modul Pelatihan Pembangunan Indeks Kerentanan Pantai*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Asfaw, E., Suryabagavan, K. V., and Argaw, M., 2018. Soil Salinity Modelling and Mapping Using Remote Sensing and GIS: The Case of Wonji Sugar Cane Irrigation Farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17 (3), 250–258.
- Badan Standardisasi Nasional, 2010. *Klasifikasi Penutup Lahan*. Badan Standarisasi Nasional. Indonesia.
- Bartzas, G., Tinivella, F., Medini, L., Zaharaki, D., and Komnitsas, K., 2015. Assessment of Groundwater Contamination Risk in an Agricultural Area in North Italy. *Information Processing in Agriculture*, 2 (2), 109–129.
- Bhattachan, A., Jurjonas, M.D., Morris, P.R., Taillie, P.J., Smart, L.S., Emanuel,

- R.E., and Seekamp, E.L., 2019. Linking Residential Saltwater Intrusion Risk Perceptions to Physical Exposure of Climate Change Impacts in Rural Coastal Communities of North Carolina. *Natural Hazards*, 97 (3), 1277–1295.
- Bouaziz, M., Chtourou, M.Y., Triki, I., Mezner, S., and Bouaziz, S., 2018. Prediction of Soil Salinity Using Multivariate Statistical Techniques and Remote Sensing Tools. *Advances in Remote Sensing*, 07 (04), 313–326.
- BPS Kota Bandar Lampung, 2021. *Kota Bandar Lampung dalam Angka 2021*. Bandar Lampung: BPS Kota Bandar Lampung.
- Davis, E., Wang, C., and Dow, K., 2019. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in Soil Salinity Detection: A Case Study of Agricultural Lands in Coastal North Carolina. *International Journal of Remote Sensing*, 40 (16), 6134–6153.
- Dehni, A. and Lounis, M., 2012. Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to The Oran Region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33, 188–198.
- Estornell, J., Martí-Gavliá, J.M., Sebastiá, M.T., and Mengual, J., 2013. Principal Component Analysis Applied to Remote Sensing. *Modelling in Science Education and Learning*, 6 (7), 83.
- Fantaye, Y., Motuma, M., and Tsegaye, G., 2017. Land Use Land Cover Change Analysis using Geospatial Tools in Case of Asayita District , Zone one , Afar Region , Ethiopia. *Journal of Resources Development and Management*, 29, 10–15.
- Ghazali, M.F., Wikantika, K., and Harto, A.B., 2022. Potential Use of Spectral Analysis to Delineate Coastal Boundary of a Landmass Based on Estimation Soil Salinity and Salt Water Intrusion: A Preliminary Result. *Journal of Coastal Conservation*, 26 (3).
- Gorji, T., Yildirim, A., Hamzehpour, N., Tanik, A., and Sertel, E., 2020. Soil Salinity Analysis of Urmia Lake Basin Using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A Based Spectral Indices and Electrical Conductivity Measurements. *Ecological Indicators*, 112.
- Harahap, Y.M., Bu'ulolo, F., and Sitepu, H.R., 2013. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Air Minum Pada Perusahaan Daerah Air Minum

- (PDAM) Tirtanadi Medan. *Saintia Matematika*, 1 (4), 323–336.
- Heryana, A., 2020. Uji Chi-Square. *Jurnal Esa Unggul*, 1–20.
- Hikmat, M., Yatno, E., and Suryani, E., 2021. Salinity of Paddy Field in Main Landforms in Indramayu Regency, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 684 (1).
- Hilmi, E., Kusmana, C., Suhendang, E., and Iskandar, 2017. Correlation Analysis Between Seawater Intrusion and Mangrove Greenbelt. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 4 (2), 151–168.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., and Shiozawa, S., 2005. Assessment of Hydrosaline Land Degradation by Using A Simple Approach of Remote Sensing Indicators. *Agricultural Water Management*, 77, 96–109.
- Kilic, O.M., Budak, M., Gunal, E., Acir, N., Halbac-Cotoara-Zamfir, R., Alfarraj, S., and Ansari, M.J., 2022. Soil Salinity Assessment of A Natural Pasture Using Remote Sensing Techniques in Central Anatolia, Turkey. *PLoS ONE*, 17 (4), 1–14.
- Li, S., Peng, S., Jin, B., Zhou, J., and Li, Y.X., 2019. Multi-scale Relationship Between Land Use/Land Cover Types and Water Quality in Different Pollution Source Areas in Fuxian Lake Basin. *PeerJ: Environmental Science*, 23–52.
- Lin, C., WU, C.C., Tsogt, K., Ouyang, Y.C., and 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.
- Ma, D. and Chen, S., 2020. Bayesian Compressive Principal Component Analysis. *Frontiers of Computer Science*, 14 (4), 1–10.
- Meer, F.D. Van Der, Werff, H.M.A. Van Der, and Ruitenbeek, F.J.A. Van, 2014. Potential of ESA's Sentinel-2 for Geological Applications. *Remote Sensing of Environment*, 148, 124–133.
- Morgan, R.S., El-Hady, M.A., and Rahim, I.S., 2018. Soil Salinity Mapping Utilizing Sentinel-2 and Neural Networks. *Indian Journal of Agricultural Research*, 52 (5), 524–529.
- Morshed, M.M., Islam, M.T., and Jamil, R., 2016. Soil Salinity Detection from

- Satellite Image Analysis: An Integrated Approach of Salinity Indices and Field Data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188 (2).
- Muliawan, N., Sampurno, J., and Jumarang, M.I., 2016. Identifikasi Nilai Salinitas Pada Lahan Pertanian di Daerah Jungkat Berdasarkan Metode Daya Hantar Listrik (DHL). *Prisma Fisika*, 4 (2), 69–72.
- Nguyen, K.A., Liou, Y.A., Tran, H.P., Hoang, P.P., and Nguyen, T.H., 2020. Soil Salinity Assessment by Using Near-Infrared Channel and Vegetation Soil Salinity Index Derived from Landsat 8 OLI Data: A Case Study in The Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7 (1), 1–16.
- Oktaviani, N. and Kusuma, H.A., 2017. Pengenalan Citra Satelit Sentinel-2 untuk Pemetaan Kelautan. *Oseana*, 42 (3), 40–55.
- Omuto, C., Vargas, R., El Mobarak, A., Mohammed, N., Viarkin, K., and Yigini, Y., 2020. *Mapping of Salt-affected Soils: Technical Manual*. Rome: FAO.
- Radityo, D., Alviyanda, A., Natalia, H.C., Hamdani, A., Huseina, A.A., Denhi, A.D.A., Naufal, R.A., and Zayadah, Z., 2020. Identifikasi Keberadaan Intrusi Air Laut pada Kawasan Pemukiman di Sekitar Pesisir Pantai Daerah Desa Sukajaya Lempasing Kecamatan Teluk Pandan. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4 (2), 110.
- Raharja, B., Setianto, A., and Titisari, A.D., 2019. Application of Principle Component Analysis in the Mapping of Hydrothermal Alteration Using Landsat 8 Image in Kokap, Kulon Progo. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-12*, (September), 873–893.
- Riko, Y., Meha, A.I., and Prasetyo, S.Y.J., 2019. Perubahan Konversi Lahan Menggunakan NDVI, EVI, SAVI dan PCA pada Citra Landsat 8 (Studi Kasus : Kota Salatiga). *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, 1, 25–30.
- Rustadi, Setiawan, A., Darmawan, I.G.B., Suharno, and Haerudin, N., 2022. Identification of Saline Water Intrusion Using Integrated Geoelectrical Method in the Coastal Aquifer of Holo-Quaternary Formation, Lampung Bay. *Applied Environmental Research*, 44 (3), 76–87.
- Sahana, M.I. and Wasposito, R.S.B., 2020. Mapping of Seawater Intrusion into

- Coastal Aquifer: A Case Study of Pekalongan Coastal Area in Central Java. *Journal of Civil Engineering Forum*, 6 (2), 183–192.
- Sahbeni, G., 2021. Soil Salinity Mapping Using Landsat 8 OLI Data and Regression Modelling in The Great Hungarian Plain. *SN Applied Sciences*, 3 (587).
- Sakai, T., Omori, K., Oo, A.N., and Zaw, Y.N., 2021. Monitoring Saline Intrusion in The Ayeyarwady Delta, Myanmar, Using Data from The Sentinel-2 Satellite Mission. *Paddy and Water Environment*, 19 (2), 283–294.
- Sari, C.A., Syah, A.F., Prayuda, B., and Salatalohi, A., 2019. Pemetaan Habitat Bentik di Pulau Liki, Papua, Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-6*, 17 (1), 335–344.
- Sari, Y., Dwidayati, N.K., and Hendikawati, P., 2018. Estimasi Parameter pada Regresi Spatial Error Model (SEM) yang Memuat Outlier menggunakan Iterative Z Algorithm. *Prisma, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 1 (1), 456–463.
- Surandono, A., 2013. Pengembangan Potensi dan Penataan Wilayah Pesisir Kota Bandar Lampung. *TAPAK*, 2 (2), 119–126.
- Sutanto, 2013. *Metode Penelitian Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Ombak.
- Taghadosi, M.M. and Hasanlou, M., 2017. Trend Analysis of Soil Salinity in Different Land Cover Types Using Landsat Time Series Data (Case Study Bakhtegan Salt Lake). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42 (4), 251–257.
- Thiam, S., Villamor, G.B., Faye, L.C., Sène, J.H.B., Diwediga, B., and Kyei-Baffour, N., 2021. Monitoring Land Use and Soil Salinity Changes in Coastal Landscape: A Case Study from Senegal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (259).
- Tran, P.H., Nguyen, A.K., Liou, Y.A., Hoang, P.P., and Nguyen, H.T., 2018. Estimation of Salinity Intrusion by Using Landsat 8 OLI Data in The Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7 (1).
- Wijatna, A.B., Kayyis, M., Satrio, and Pujiindiyati, E.R., 2019. Study of Seawater Intrusion in Deep Aquifers of Semarang Coast Using Natural Isotopes and Hydrochemicals. *Indonesian Journal on Geoscience*, 6 (1), 17–28.
- Zulfajri, Danoedoro, P., and Murti, S.H., 2021. Klasifikasi Tutupan Lahan Data

Landsat-8 OLI Menggunakan Metode Random Forest. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 3 (1).