

**IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT BESERTA HUBUNGANNYA
TERHADAP KETINGGIAN DAN KEMIRINGAN LERENG
MENGUNAKAN *VEGETATION SOIL SALINITY INDEX* (VSSI)
PADA CITRA SATELIT SENTINEL-2**

(Skripsi)

Oleh:

**LAUDITTA ZAHRA
NPM 1815013009**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT BESERTA HUBUNGANNYA TERHADAP KETINGGIAN DAN KEMIRINGAN LERENG MENGGUNAKAN *VEGETATION SOIL SALINITY INDEX* (VSSI) PADA CITRA SATELIT SENTINEL-2

Oleh

LAUDITTA ZAHRA

Wilayah pesisir merupakan wilayah yang rentan terhadap pencemaran air tanah, seperti intrusi air laut. Selain itu, kondisi fisik yang didominasi ketinggian berupa dataran dengan kemiringan lereng landai. Hal tersebut mendukung terjadinya fenomena intrusi air laut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi intrusi air laut beserta hubungannya terhadap ketinggian dan kemiringan lereng menggunakan *vegetation soil salinity index* (VSSI) pada citra satelit Sentinel-2. Data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data daya hantar listrik (DHL) yang dikumpulkan menggunakan teknik *stratified purposive sampling*, sehingga menghasilkan 73 titik sampel. Sementara itu, data sekunder yaitu citra satelit Sentinel-2A, *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dan batas administrasi. Citra satelit Sentinel-2A diekstraksi dan menghasilkan *vegetation soil salinity index* (VSSI). Data DHL dan VSSI digunakan untuk membangun pemodelan intrusi air laut menggunakan analisis regresi. Selain itu, data DEMNAS digunakan untuk mengekstraksi data ketinggian dan kemiringan lereng. Data ketinggian dan kemiringan lereng digunakan untuk melihat hubungannya terhadap intrusi air laut menggunakan uji korelasi. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 4 kondisi intrusi air laut di lokasi penelitian yaitu tidak ada intrusi air laut dengan luas 1861 ha, kondisi rendah 227 ha, kondisi sedang 29 ha dan tinggi 4 ha. Selain itu, hubungan antara intrusi air laut terhadap ketinggian dan kemiringan lereng menghasilkan nilai R^2 0,4597 dan R^2 0,247

Kata kunci: Intrusi Air Laut, VSSI, Ketinggian, Kemiringan Lereng, Teluk Lampung

ABSTRACT**IDENTIFICATION OF SEA WATER INTRUSION AND THEIR
RELATIONSHIP ON ELEVATION AND SLOPE USING THE
VEGETATION SOIL SALINITY INDEX (VSSI) ON SENTINEL-2
SATELLITE IMAGERY****By****LAUDITTA ZAHRA**

Coastal areas are areas that are vulnerable to groundwater pollution, such as seawater intrusion. In addition, the physical condition which is dominated by altitude is in the form of plains with a gentle slope. This supports the phenomenon of seawater intrusion. Therefore, this study aims to identify seawater intrusion and its relationship to the elevation and slope using the vegetation soil salinity index (VSSI) on Sentinel-2 satellite imagery. The data used are primary data and secondary data. The primary data is electrical conductivity data (DHL) collected using a stratified purposive sampling technique, resulting in 73 sample points. Meanwhile, secondary data, namely Sentinel-2A satellite imagery, National Digital Elevation Model (DEMNAS) and administrative boundaries. Sentinel-2A satellite imagery was extracted and produced the vegetation soil salinity index (VSSI). DHL and VSSI data were used to construct a seawater intrusion model using regression analysis. In addition, DEMNAS data is used to extract elevation and slope data. Data on the elevation and slope is used to see the relationship to seawater intrusion using a correlation test. The results showed that there were 4 conditions of seawater intrusion at the study site, namely no seawater intrusion with an area of 1861 ha, low conditions 227 ha, moderate conditions 29 ha and high 4 ha. In addition, the relationship between seawater intrusion on elevation and slope yields an R^2 value of 0.4597 and an R^2 of 0.247.

Keywords: Seawater Intrusion, VSSI, Elevation, Slope, Lampung Bay

**IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT BESERTA HUBUNGANNYA
TERHADAP KETINGGIAN DAN KEMIRINGAN LERENG
MENGUNAKAN *VEGETATION SOIL SALINITY INDEX* (VSSI)
PADA CITRA SATELIT SENTINEL-2**

Oleh

LAUDITTA ZAHRA

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
BESERTA HUBUNGANNYA TERHADAP
KETINGGIAN DAN KEMIRINGAN LERENG
MENGUNAKAN *VEGETATION SOIL
SALINITY INDEX (VSSI) PADA CITRA
SATELIT SENTINEL-2***

Nama Mahasiswa : Lauditta Zahra

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815013009

Program Studi : Teknik Geodesi

Fakultas : Teknik



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

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

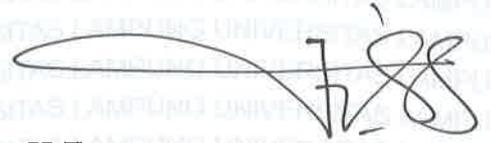
2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

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

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji



Ketua

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

Sekretaris

: **Tika Chisty Novianti, S.T., M.Eng**

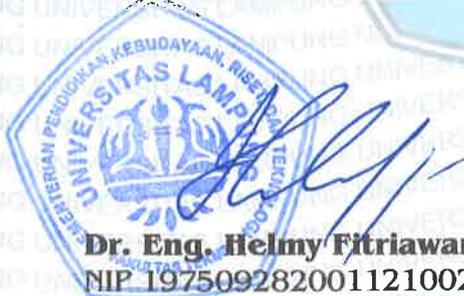


Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir. Armljon, S.T., M.T., IPU**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 Juni 2023**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lauditta Zahra
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815013009
Program Studi : 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, 27 Juni 2023
Yang Menyatakan,



The image shows a handwritten signature in black ink over a 10,000 Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METERAI TEMPEL', and '0FAKX532132820'. The signature is written in a cursive style and extends across the stamp.

Lauditta Zahra
NPM 1815013009

RIWAYAT HIDUP



Lauditta Zahra, lahir pada tanggal 26 Agustus 2000 di Kota Bandar Lampung. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak (*Alm*). Efi Edison dan Ibu Ayu Cik. Pendidikan formal pertama kali di Taman Kanak-kanak (TK) Dharma Wanita Universitas Lampung pada tahun 2006, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 2 Kampung Baru pada tahun 2012, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Islam Terpadu Miftahul Jannah dan lulus tahun 2015. Setelah itu menempuh Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 9 Bandar Lampung dan lulus tahun 2018. Selama menempuh SMA penulis aktif dalam berbagai kegiatan sekolah salah satunya pernah menjadi Sekretaris bidang Pendidikan ekstrakurikuler Karya Ilmiah Remaja (KIR) periode 2016-2017.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjabat sebagai asisten praktikum ilmu ukur tanah pada tahun 2019-2020. Penulis juga aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Universitas (UKM-U) Koperasi Mahasiswa Unila yang menjabat sebagai anggota bidang humas tahun 2020-2021. Serta menjabat di Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik sebagai anggota dinas eksternal tahun 2020. Selain itu, Penulis juga mengikuti kegiatan penelitian mengenai penginderaan jauh, diantaranya menjadi pemateri di acara Prosiding Seminar Nasional Konservasi Sumber Daya Alam Untuk Pembangunan Berkelanjutan tahun 2020. Tidak sampai disini, penulis juga berkesempatan mengikuti Lomba Riset Sawit Mahasiswa 2022/2023 yang diadakan oleh BDPKKS.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al Baqarah: 286)

“Orang yang hebat adalah orang yang memiliki kemampuan menyembunyikan kesusahan, sehingga orang lain mengira bahwa ia selalu senang”

(Imam Syafi’i)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayat-Nya. Pada kesempatan yang berbahagia ini, sebuah perjalanan panjang telah dilewati penulis, dari hal kecil yang belum diketahui hingga pada titik ini, dimana engkau selalu membimbing dan mengarahkan kepada hal yang baik. Oleh karena itu, dari lubuk hati yang paling dalam karya ini kupersembahkan sebagai bukti cinta kasihku kepada:

1. Ayahanda tercinta Efi Edison yang telah berjuang sekuat tenaga agar anak-anaknya dapat menempuh pendidikan setinggi-tingginya, walaupun sudah tiada.
2. Ibunda tercinta Ayu Cik yang tidak pernah letih untuk merawat penulis, menasihati penulis dalam hal baik, menyayangi penulis dan selalu berkorban mengutamakan kebahagiaan penulis dibandingkan dengan dirinya sendiri serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis tanpa lelah.
3. Kakakku Fadli Asyari, Adikku Ilham Tsaqibul Fikri dan Muhammad Husen, terima kasih atas doa, dukungan dan semangat yang selalu engkau berikan padaku. Terima kasih juga telah menjadi saudara yang baik dan perhatian.
4. Nenekku tercinta Sahani, terima kasih atas doa, dukungan, semangat dan kasih sayang yang selalu diberikan kepada penulis, walaupun sudah tiada.
5. Keluarga penulis yang selalu mendukung setiap langkah penulis, selalu mendoakan penulis, dan selalu menyayangi penulis.
6. 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
7. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, cerita, dan pengalaman baru kepada penulis
8. Almamater tercinta Universitas Lampung, terima kasih atas pendidikan yang diberikan serta pembelajaran yang sangat baik dan berharga.

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayat-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai syarat dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan judul “Identifikasi Intrusi Air Laut Beserta Hubungannya Terhadap Ketinggian dan Kemiringan Lereng Menggunakan *Vegetation Soil Salinity Index* (VSSI) pada Citra Satelit Sentinel-2”. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Dengan demikian, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Mochammad Firman Ghazali, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan masukan, nasehat, motivasi serta telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya sehingga penelitian pada skripsi ini dapat berjalan dengan baik
2. Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak 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 banyak memberikan ilmu serta pengalaman kepada penulis
5. Staff dan karyawan Program Studi Teknik Geodesi yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan
6. Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku ketua jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Universitas Lampung
7. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

8. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung
9. Drs. Syamsi Thamrin, selaku camat Teluk Betung Timur yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dan menyambut penulis dengan baik di Kecamatan Teluk Betung Timur.
10. Saimun, S.H., MM, selaku camat Teluk Pandan yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dan menyambut penulis dengan baik di Kecamatan Teluk Pandan.
11. Sahabatku, Nihil Dewy Pusvika, Nabila Salmarani dan Giyana Purnama Putri telah banyak membantu serta mendengarkan keluh kesah penulis
12. Teman-teman Bab's yang telah menghibur penulis dikala jenuh dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Caca, Mila, Mega dan Nanda selaku teman seperjuangan skripsi yang telah membantu penulis dalam melakukan pengambilan data penelitian dan pembuatan skripsi ini.
14. Teman-teman Kerja Praktik (KP) di PT EFORT Digital Multisolution, Albert dan Kak Tedy memberikan dukungan dan semangat kepada penulis. Kemudian kepada berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu selama kegiatan KP berlangsung
15. Teman-teman KKN periode II tahun 2021, Rahma, Kak Oliv, Fadel, Kak Saman, dan Kak Ilham yang telah menjadi keluarga selama kegiatan berlangsung serta senantiasa memberikan pengalaman baru, memberikan dukungan dan semangat kepada penulis. Kemudian kepada berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu selama kegiatan KKN berlangsung.
16. Keluarga besar Teknik Geodesi Angkatan 2018 yang telah menemani, membantu dan menjadi teman seperjuangan penulis dalam meraih gelar sarjana.
17. Teman-teman Alpha Family yang telah menemani penulis saat bermain *game* dikala jenuh dan selalu mendengarkan keluh kesah serta menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

18. Untuk *playlist-playlist* di spotify, terima kasih telah memperbaiki suasana hati serta menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
19. Terakhir, terima kasih untuk diri saya sendiri yang telah kuat dan bertahan hingga saat ini. Terima kasih selalu yakin dan sabar saat menghadapi situasi apapun. Maaf jika selama ini selalu menangis, mengeluh dan memaksa untuk tetap kuat. Semoga bisa menjadi manusia yang lebih baik lagi dan selalu bersyukur atas berkah yang telah diberikan oleh Allah SWT.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini, sehingga masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat berterima kasih dan menghargai segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari berbagai pihak agar penulis kedepannya dapat lebih baik lagi. Selain itu, penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca

Bandar Lampung, 27 Juni 2023
Penulis,

Lauditta Zahra
NPM 1815013009

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Kerangka Pemikiran	4
1.6. Hipotesis Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	9
2.3. Intrusi Air Laut.....	10
2.3.1. Proses Terjadinya Intrusi Air Laut	11
2.3.2. Mengidentifikasi Intrusi Air Laut.....	11
2.4. Pemetaan Intrusi Air Laut Menggunakan Citra Sentinel-2.....	13
2.4.1. Citra Satelit Sentinel-2	15
2.4.2. Pra pengolahan Citra Satelit Sentinel-2.....	15
2.4.3. Vegetation Soil Salinity Index.....	16
2.4.4. Analisis Regresi	16
2.4.5. Uji Akurasi RMSE	18
2.4.6. Reclassify Data	18
2.5. <i>Digital Elevation Model</i> Nasional (DEMNAS)	19
2.6. Ketinggian dan Kemiringan Lereng	19
2.7. Hubungan Intrusi Air Laut Terhadap Ketinggian dan Kemiringan Lereng	20

2.8. Uji Hipotesis <i>Chi Square</i>	21
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	24
3.3. Metode	25
3.4. Pengambilan Data DHL	26
3.5. Pengolahan Data	28
3.5.1. Karakteristik Data DHL	28
3.5.2. Pra-Pengolahan Citra Sentinel-2A	29
3.5.3. Transformasi <i>Vegetation Soil Salinity Index</i>	30
3.5.4. Pemodelan Intrusi Air Laut	31
3.5.5. Uji Akurasi	32
3.5.6. Klasifikasi Tingkat Intrusi Air Laut	33
3.5.7. Karakteristik Data DEMNAS	33
3.5.8. Uji Hipotesis	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Hasil	35
4.1.1. Pemodelan Intrusi Air Laut	35
4.1.2. Uji Akurasi Pada Model Intrusi Air Laut	37
4.1.3. Klasifikasi Tingkat Intrusi Air Laut	38
4.1.4. Peta Ketinggian dan Kemiringan Lereng	40
4.1.5. Hubungan Intrusi Air Laut Terhadap Ketinggian dan Kemiringan Lereng	40
4.1.6. Uji Hipotesis	42
4.2. Pembahasan	42
4.2.1. Pemodelan Intrusi Air Laut Menggunakan VSSI pada Citra Satelit Sentinel-2	42
4.2.2. Kondisi Intrusi Air Laut Beserta Hubungannya Terhadap Ketinggian dan Kemiringan Lereng	43

V. SIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian terdahulu.....	6
Tabel 2. Batas administrasi lokasi penelitian.....	9
Tabel 3. Klasifikasi tingkat intrusi air laut berdasarkan nilai DHL.....	12
Tabel 4. Spesifikasi citra Sentinel-2.....	13
Tabel 5. Interpretasi R^2	17
Tabel 6. Klasifikasi ketinggian	19
Tabel 7. Klasifikasi nilai kemiringan lereng	20
Tabel 8. Waktu pelaksanaan penelitian.....	23
Tabel 9. Spesifikasi data penelitian.....	24
Tabel 10. Data lapangan.....	27
Tabel 11. Klasifikasi intrusi air laut berdasarkan nilai DHL	29
Tabel 12. Nilai DHL dan Nilai VSSI pada titik olah	31
Tabel 13. Nilai DHL aktual dan estimasi nilai DHL pada titik uji	32
Tabel 14. Model empiris dan nilai R^2 pada setiap persamaan regresi	35
Tabel 15. Hasil uji akurasi pada model estimasi nilai DHL	38
Tabel 16. Luas intrusi air laut	39

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahun 2030 diharapkan dapat mewujudkan rencana aksi global dikenal sebagai *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang memiliki tujuan menjaga lingkungan, meminimalisir kesenjangan dan mengakhiri kemiskinan dengan 17 target utama. Salah satu target utamanya adalah *clean water and sanitation* yang artinya menjamin ketersediaan serta pengelolaan air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh *World Resources Institute* (WRI), negara berkembang seperti Indonesia teridentifikasi mengalami keterbatasan dalam memperoleh air bersih dikarenakan ketersediaan yang menipis (WRI, 2016). Menurut laporan Bappenas, ketersediaan air bersih di sebagian Pulau Jawa dan Bali tergolong langka bahkan kritis dan diperkirakan pada tahun 2045 kota-kota lainnya akan mengalami kelangkaan ketersediaan air bersih. Ketersediaan air bersih yang digunakan oleh masyarakat sebagian besar berasal dari air tanah. Namun, terdapat area yang sulit dalam mendapatkan akses air tanah dikarenakan kondisi fisiknya, seperti wilayah pesisir. Menurut Trihatmoko dkk (2020) wilayah pesisir memiliki kondisi fisik yang didominasi oleh dataran dan tersusun dengan batuan alluvial. Hal tersebut menyebabkan wilayah pesisir sangat rentan terhadap pencemaran lingkungan, seperti intrusi air laut.

Intrusi air laut adalah pencemaran air tanah yang disebabkan oleh air laut masuk kedalam pori-pori batuan sehingga air tanah berubah menjadi air payau (Putranto dan Kusuma, 2009). Terjadinya intrusi air laut dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya eksploitasi air tanah yang berlebihan, alih fungsi lahan dan karakteristik pantai (Bartzas dkk., 2015). Karakteristik pantai berupa dataran dengan kemiringan lereng yang landai dapat mempercepat proses penyusupan air laut. Selaras dengan pendapat Hafiidh dkk (2018) yang menyatakan bahwa intrusi air laut biasa terjadi di area dengan ketinggian <50 meter diatas permukaan laut

(mdpl). Selain itu, parameter kemiringan lereng merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam mengevaluasi kerentanan air tanah akibat intrusi air laut (Putranto dkk., 2016). Menurut Gad dan El-Hattab (2019) daerah pesisir dengan kemiringan lereng <6% sangat rentan mengalami pencemaran air tanah akibat air laut. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka perlu dilakukan identifikasi intrusi air laut beserta hubungannya terhadap ketinggian dan kemiringan lereng.

Kajian terkait identifikasi intrusi air laut telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai metode seperti metode geolistrik dan uji salinitas (Adi dkk., 2014) serta *total dissolve solid* (TDS) dan konduktivitas (Radityo dkk., 2020). Mengidentifikasi intrusi air laut juga dapat dipermudah dengan adanya teknologi penginderaan jauh. Beragam pendekatan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi intrusi air laut seperti *salinity index* (SI), SAVI, NDSI, NDVI dan VSSI pada Landsat 8 OLI yang dikorelasikan dengan *electrical conductivity* (Nguyen dkk., 2020). Menurut Aboelsoud dkk (2022) intrusi air laut dapat diestimasi menggunakan algoritma SI, NDSI, VSSI, SAVI pada Landsat 8 OLI yang dikorelasikan dengan *electrical conductivity*. Selain itu, algoritma SI, INT, SBI, NDSI, VSSI, NSI dan SAVI pada Sentinel-2 yang dikorelasikan dengan nilai *electrical conductivity* dapat digunakan untuk pemetaan salinitas tanah di lahan pertanian (Al-Gaadi dkk., 2021). Ketiga penelitian tersebut menyatakan bahwa algoritma VSSI secara konsisten menghasilkan hubungan yang kuat dengan nilai $R^2 > 0,5$. Dengan demikian, algoritma VSSI dapat digunakan dalam mengidentifikasi intrusi air laut di permukaan bumi.

Penelitian ini dilakukan di wilayah yang dapat diperkirakan telah tercemar oleh intrusi air laut yaitu wilayah pesisir di Teluk Lampung (Pemda, 2000). Teluk Lampung berada di perairan Selat Sunda dan terletak diantara Kota Bandar Lampung, Kabupaten Lampung Selatan dan Kabupaten Pesawaran. Menurut Radityo dkk (2020) Kecamatan Teluk Pandan yang terletak di Kabupaten Pesawaran mengalami intrusi air laut dengan nilai EC mencapai 3mS/cm. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji tentang identifikasi intrusi air laut beserta hubungannya terhadap ketinggian dan kemiringan lereng di sebagian Teluk

Lampung. Dalam melakukan riset ini dibutuhkan beberapa data yaitu data lapangan berupa daya hantar listrik (DHL) dan algoritma VSSI pada citra satelit Sentinel-2 serta data ketinggian dan kemiringan lereng pada DEMNAS. Hasil yang diharapkan dari keempat data tersebut dapat mengidentifikasi intrusi air laut beserta hubungannya terhadap ketinggian dan kemiringan lereng menggunakan algoritma VSSI pada citra satelit Sentinel-2.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah penggunaan algoritma VSSI pada citra satelit Sentinel-2 dapat mengidentifikasi intrusi air laut di lokasi penelitian?
2. Apakah tingkat intrusi air laut memiliki hubungan terhadap ketinggian dan kemiringan lereng?

1.3. Tujuan Penelitian

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

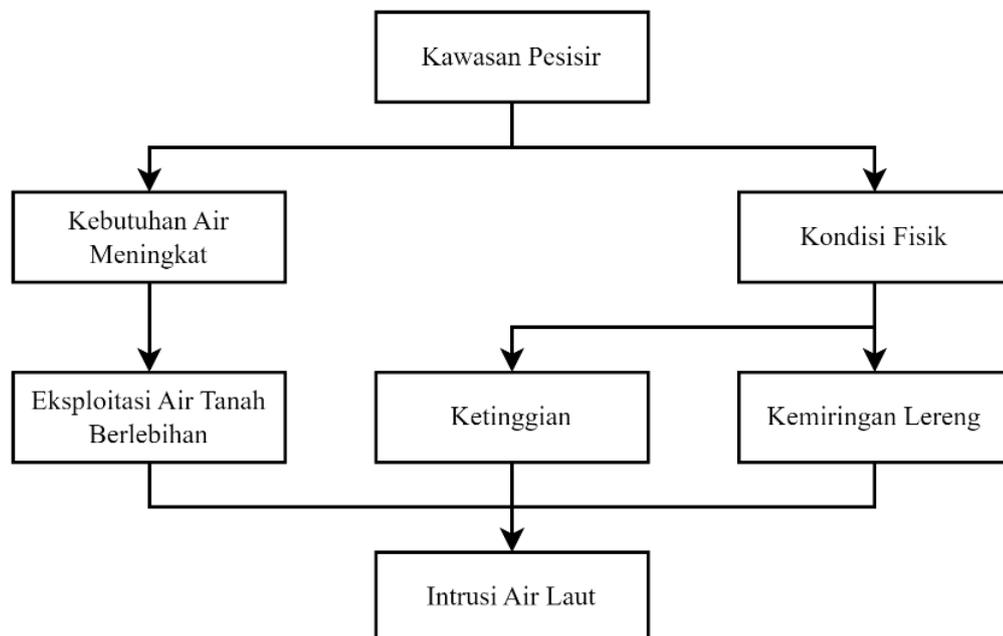
1. Menganalisis kemampuan algoritma VSSI dalam memprediksi intrusi air laut di lokasi penelitian dengan akurasi yang baik
2. Menganalisis hubungan antara intrusi air laut terhadap ketinggian dan kemiringan lereng

1.4. Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diperoleh peta tingkat intrusi air laut di lokasi penelitian pada tahun 2022, yang diharapkan dapat mendukung tercapainya tujuan ke-6 pada SDGs tentang menjamin ketersediaan air bersih dan sanitasi

1.5. Kerangka Pemikiran

Wilayah pesisir memiliki permasalahan seperti kebutuhan air bersih meningkat. Hal tersebut menyebabkan penduduk sekitar melakukan eksploitasi air tanah yang berlebihan. Dampak eksploitasi air tanah yang berlebihan mengakibatkan kekosongan pada rongga-rongga di dalam tanah sehingga terjadinya intrusi air laut. Selain itu, kondisi fisik kawasan pesisir yang didominasi daratan dengan kemiringan lereng yang landai, sehingga dapat mempercepat laju air laut kedalam air tanah. Ketiga faktor tersebut dapat menjadi faktor terjadinya intrusi air laut. Dengan demikian perlu dilakukan identifikasi intrusi air laut serta mengetahui hubungan terhadap ketinggian dan kemiringan lereng.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

1.6. Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah adanya pengaruh tingkat intrusi air laut terhadap ketinggian dan kemiringan lereng. Hal tersebut dapat diketahui dengan pengolahan data dan uji *chi square*. Berikut hipotesis dari penelitian ini:

H_0 : Tidak ada hubungan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng

H_1 : Terdapat hubungan yang signifikan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan tidak terlepas dari hasil penelitian terdahulu yang pernah dilakukan. Penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan acuan dan perbandingan dalam penelitian ini. Terdapat beberapa penelitian yang dijadikan sebagai referensi yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No.	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Data	Hasil
1.	<i>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</i> (Nguyen dkk., 2020)	Mengetahui kemampuan Landsat 8 OLI dalam memetakan salinitas tanah	Analisis regresi antara data EC dengan indeks penginderaan jauh berupa SI1, SI2, SI3, SI4, NDSI, NDVI, SAVI dan VSSI	Landsat 8 OLI dan data EC	Kanal NIR dan VSSI pada Landsat 8 OLI menghasilkan akurasi yang baik dalam memetakan intrusi pada lahan yang memiliki nilai salinitas rendah, namun pada lahan dengan nilai salinitas tinggi keakuratannya masih kurang baik.

Tabel 1. Penelitian terdahulu (lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Data	Hasil
2.	<i>Analysis and Modeling of Soil Salinity Using Sentinel-2A and LANDSAT 8 Images in The Afambo Irrigated Area, Afar Region Ethiopia</i> (Mohammed dkk., 2022)	Menganalisis dan memodelkan salinitas tanah menggunakan Landsat 8 dan Sentinel-2A	Analisis regresi linier antara data EC dengan indeks penginderaan jauh berupa SI, NDSI, SAVI, EVI	Landsat 8, Sentinel-2A dan data EC	SI merupakan indeks terbaik pada Landsat 8 maupun Sentinel-2A dalam memodelkan salinitas tanah yang menghasilkan 3 kelas yaitu salinitas tinggi, salinitas sedang dan sedikit salinitas
3.	Sebaran Intrusi Air Laut di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat (Hafiidh dkk., 2018)	Menentukan peta zonasi intrusi air laut di Kabupaten Indramayu	Peta zonasi intrusi air laut menggunakan model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan <i>input layer</i> yang terdiri dari titik sampling koordinat X, koordinat Y, kedalaman sumur, dan elevasi	Nilai TDS, nilai EC, peta administrasi, peta topografi, peta tata guna lahan, peta geologi, peta hidrogeologi dan pengumpulan literatur penunjang	Pemetaan intrusi air laut di Kabupaten Indramayu menunjukkan nilai TDS antara 361-4081 ppm dan nilai EC antara 491-5884 ppm, persebaran nilai TDS dan EC relatif lebih tinggi pada bagian Utara Kabupaten Indramayu

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Nguyen dkk (2020) menyatakan bahwa salinitas tanah dapat diidentifikasi menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI dengan memanfaatkan beberapa algoritma seperti *Salinity Index (SI)*, *Normalized Difference Soil Index (NDSI)*, *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*,

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), dan *Vegetation Soil Salinity Index* (VSSI). Berbagai algoritma tersebut digunakan untuk membangun pemodelan salinitas tanah dengan menghubungkan data *Electrical Conductivity* (EC) menggunakan metode analisis regresi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan algoritma VSSI pada citra satelit Landsat 8 OLI menghasilkan akurasi paling baik dalam memetakan salinitas tanah yang memiliki nilai salinitas rendah. Selain itu, terdapat juga penelitian terkait salinitas tanah yang dilakukan oleh Mohammed dkk (2022) dengan menggunakan citra satelit Landsat 8 dan Sentinel-2A yang memanfaatkan beberapa algoritma seperti *Salinity Index* (SI), *Normalized Difference Soil Index* (NDSI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), dan *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Keempat algoritma tersebut dihubungkan dengan data *Electrical Conductivity* (EC) menggunakan metode analisis regresi yang bertujuan untuk pemodelan salinitas tanah. Hasil penelitian tersebut menunjukkan algoritma SI pada citra satelit Landsat 8 maupun Sentinel-2A merupakan algoritma terbaik dalam memodelkan salinitas tanah.

Pada penelitian ini, terdapat beberapa kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nguyen dkk (2020) dan Mohammed dkk (2022) dalam memetakan intrusi air laut yaitu menggunakan algoritma penginderaan jauh yang dihubungkan dengan data EC menggunakan metode analisis regresi. Namun, terdapat perbedaan pada lokasi penelitian, dimana penelitian terdahulu dilakukan di luar Indonesia sedangkan penelitian ini dilakukan di Indonesia. Selain itu, penelitian ini juga melihat hubungan antara intrusi air laut dengan ketinggian dan kemiringan lereng. Penelitian terkait hubungan intrusi air laut dengan elevasi pernah dilakukan oleh Hafidh dkk (2018) yang menyatakan bahwa 17 Kecamatan di Kabupaten Indramayu dengan ketinggian 0-7 meter di atas permukaan laut (mdpl) memiliki kondisi air tanah yang payau. Meski terdapat kesamaan pada parameter ketinggian, namun terdapat perbedaan pada parameter lainnya. Pada penelitian ini menambahkan parameter kemiringan lereng. Kedua parameter tersebut digunakan untuk mengetahui hubungannya terhadap intrusi air laut.

2.2. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian intrusi air laut dilaksanakan 2 kecamatan yaitu Kecamatan Teluk Betung Timur dan Kecamatan Teluk Pandan. Kecamatan Teluk Betung Timur merupakan salah satu kecamatan yang terletak di Kota Bandar Lampung (BPS, 2021a). Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bandar Lampung Nomor 04 Tahun 2012, Kecamatan Teluk Betung Timur memiliki luas sebesar 14,83 Km² yang terdiri dari 6 Kelurahan yaitu Kota Karang, Kota Karang Raya, Perwata, Keteguhan, Sukamaju dan Way Tataan. Sementara itu, Kecamatan Teluk Pandan merupakan salah satu kecamatan yang terletak di Kabupaten Pesawaran (BPS, 2021b). Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Pesawaran Nomor 12 Tahun 2014, Kecamatan Teluk Pandan memiliki luas sebesar 77,34 Km² yang terdiri dari 10 Desa yaitu Batu Menyan, Cilimus, Gebang, Hanura, Hurun, Munca, Sidodadi, Sukajaya Lempasing, Talang Mulya dan Tanjung Agung.

Penelitian ini lebih tepatnya dilaksanakan di 6 kelurahan dan 2 desa yaitu Kelurahan Kota Karang, Kelurahan Kota Karang Raya, Kelurahan Perwata, Kelurahan Keteguhan, Kelurahan Sukamaju dan Kelurahan Way Tataan serta Desa Sukajaya Lempasing dan Desa Munca. Lokasi penelitian memiliki luas sebesar 2123 ha dengan ketinggian hingga 352 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan kemiringan lereng yang bervariasi antara 1% sampai 32%. Selain itu, tutupan lahan pada lokasi penelitian didominasi dengan pemukiman, perkebunan, hutan, dan tambak. Secara administrasi, lokasi tersebut berbatasan dengan daerah-daerah lainnya (Tabel 2).

Tabel 2. Batas administrasi lokasi penelitian

No.	Arah	Daerah
1.	Utara	Kecamatan Teluk Betung Barat dan Kecamatan Teluk Betung Selatan
2.	Selatan	Desa Hanura
3.	Timur	Teluk Lampung
4.	Barat	Desa Tanjung Agung

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir yang terletak di bagian barat Teluk Lampung. Wilayah ini merupakan wilayah yang memiliki banyak potensi yang menyediakan berbagai sumberdaya untuk kepentingan pelayaran, perikanan, padang lamun dan terumbu karang serta pariwisata dan rekreasi. Namun pada lokasi penelitian diduga mengalami pencemaran lingkungan. Hal tersebut dikarenakan wilayah berbatasan langsung dengan Teluk Lampung, sehingga dapat menyebabkan sumberdaya air tanah terkontaminasi oleh air laut. Selaras dengan penelitian yang telah dilakukan Radityo dkk (2020) yang menyatakan bahwa Desa Sukajaya Lempasing mengalami permasalahan intrusi air laut dengan nilai konduktivitas 3mS/cm.

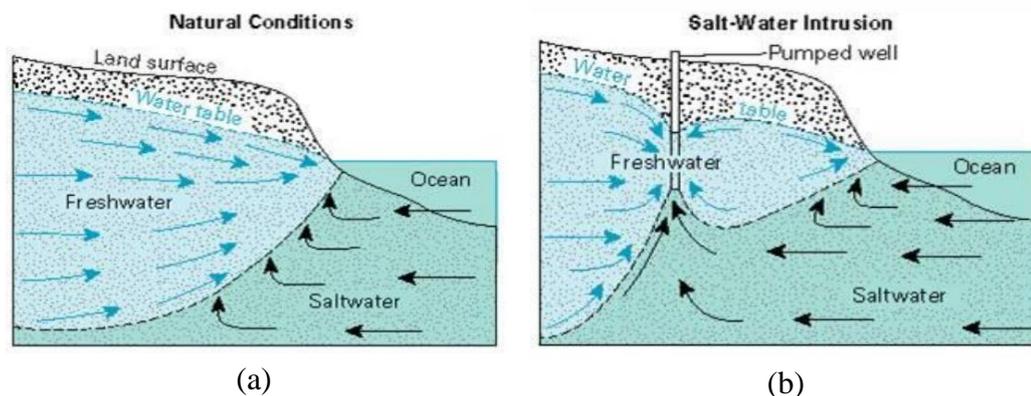
2.3. Intrusi Air Laut

Intrusi air laut merupakan proses penyusupan atau masuknya air laut ke dalam air tanah yang menyebabkan air tawar berubah menjadi air payau (Putranto dan Kusuma, 2009). Fenomena intrusi air laut menjadi permasalahan utama yang terjadi di daerah pesisir pantai (Wardhana dkk., 2017). Dampak yang ditimbulkan fenomena ini dapat merugikan masyarakat maupun lingkungan seperti terjadinya penurunan kualitas air tanah, kerusakan bangunan, penurunan kesuburan tanah dan lain sebagainya (Widada, 2007). Menurut Bartzas dkk (2015) terdapat beberapa faktor utama yang menjadi 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 sering terjadi adalah pemompaan air tanah secara berlebihan di daerah pesisir sehingga menyebabkan penurunan muka air tanah.
2. Alih fungsi lahan resapan air menjadi lahan terbangun yang menyebabkan siklus hidrologi terganggu sehingga kapasitas air tanah menipis.
3. Faktor batuan penyusun akuifer yang berongga mempengaruhi masuknya air laut ke dalam air tanah.
4. Pemanasan global yang menyebabkan es di kutub mencair, sehingga dapat menyebabkan kenaikan muka air laut.

2.3.1. Proses Terjadinya Intrusi Air Laut

Pada umumnya air laut tidak dapat masuk lebih jauh ke dalam akuifer tanah karena adanya tekanan *piezometric* pada air tanah yang dapat menekan air laut lebih kuat, kemudian terbentuklah *interface* atau batas antara air tanah dengan air laut (Pujianiki dan Simpen, 2018). Namun fenomena intrusi air laut sering terjadi karena adanya gangguan keseimbangan antara air tanah dengan air laut. Ilustrasi keseimbangan antara air tanah dengan air laut dapat dilihat pada gambar 2. Gambar 2a menunjukkan kondisi *interface* yang alami, dimana tekanan *piezometric* air tanah lebih tinggi dari pada muka air tanah. Sementara itu, gambar 2b menunjukkan terjadi adanya pengambilan air tanah secara berlebihan yang menyebabkan kekosongan pada akuifer tanah, sehingga tinggi muka air tanah lebih rendah daripada air laut. Hal tersebut mengakibatkan air laut merembes ke dalam akuifer dan mencemari air tanah (Suhartono dkk., 2013).



Gambar 2. Keseimbangan antara air tanah dan air laut (a) kondisi alami dan (b) kondisi terjadinya intrusi air laut (Sumber: Vienastra, 2010).

2.3.2. Mengidentifikasi Intrusi Air Laut

Dalam mengidentifikasi intrusi air laut dapat menggunakan parameter kualitas air tanah (Rismayatika dkk., 2019). Menurut studi analisis Bappeda Kota Tegal (2017) parameter kualitas air tanah yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi intrusi air laut salah satunya adalah salinitas. Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kandungan garam yang terlarut dalam air (Maghfiroh dan Mutadin, 2021). Selain itu, salinitas juga dapat melihat kandungan garam pada tanah (Kristiono dkk., 2013). Salinitas pada tanah dapat diperoleh dengan beberapa

metode seperti resistivitas, *total dissolve solid* (TDS) dan daya hantar listrik (DHL). Metode DHL merupakan metode *electrical conductivity meter* yang berfungsi memberikan informasi yang akurat terkait kandungan garam pada tanah (Muliawan dkk., 2016). Nilai DHL dipengaruhi oleh ion garam yang terlarut, dimana semakin tinggi kandungan garam yang terlarut, maka semakin tinggi pula nilai DHL (Indriastoni dan Kustini, 2014). DHL dapat dinyatakan dalam satuan *milimhos per centimeter* (mmhos/cm), *millisiemens per centimeter* (mS/cm) atau *microsiemens per centimeter* (μ S/cm) (Astuti, 2014).

Tabel 3. Klasifikasi tingkat intrusi air laut berdasarkan nilai DHL

No.	Daya Hantar Listrik (mS/cm)	Klasifikasi Salinitas Tanah	Klasifikasi Tingkat Intrusi Air Laut
1.	$\leq 0,7$	Non salinitas	Tidak Ada
2.	$>0,7$ s/d 2	Agak salinitas	Rendah
3.	>2 s/d 10	Salinitas sedang	Sedang
4.	>10 s/d 20,5	Salinitas tinggi	Tinggi
5.	$>20,5$ s/d 45	Salinitas sangat tinggi	Sangat Tinggi

Sumber: Rhoades dan Loveday, 1990 (dimodifikasi penulis)

Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk mengukur nilai DHL adalah salinometer tipe c-100. Dalam mengukur nilai DHL, alat ini memiliki rentang tes 0 s/d 400 mS/cm dengan resolusi 0,01 mS/cm. Salinometer tipe c-100 memiliki ketelitian dengan nilai $\pm 0,2$ mS/cm. Selain mengukur nilai DHL, alat ini juga dapat digunakan untuk mengukur besaran lain yaitu suhu air, *total dissolve solid* (TDS), salinitas dan nilai pH. Cara penggunaan salinometer C-100 pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Masukkan sampel tanah sebanyak 7 gram ke dalam gelas
2. Larutkan sampel tanah dengan air suling sebanyak 35 ml
3. Pilih pengaturan EC pada salinometer tipe c-100
4. Celupkan salinometer c-100 ke dalam gelas
5. Nilai DHL akan terbaca pada layar salinometer tipe c-100



Gambar 3. Salinometer tipe c-100 (Sumber: www.testingaid.com).

2.4. Pemetaan Intrusi Air Laut Menggunakan Citra Sentinel-2

Citra satelit Sentinel-2 merupakan salah satu produk citra satelit penginderaan jauh milik *European Space Agency* (ESA). Citra satelit Sentinel-2 memiliki 2 satelit konstelasi yaitu Sentinel-2A dan Sentinel-2B yang masing-masing diluncurkan pada 23 Juni 2015 dan 7 Maret 2017. Citra satelit Sentinel-2 memiliki resolusi spasial menengah dengan dengan dengan waktu orbit setiap 10 hari untuk satu satelit atau 5 hari untuk dua satelit. Citra satelit Sentinel-2 memiliki luas cakupan sebesar 290 km yang telah dipoyeksikan kedalam otho UTM/WGS84. Citra satelit Sentinel-2 mempunyai 13 band spektral dengan resolusi spasial yang berbeda, yaitu resolusi spasial 10 meter (B2, B3, B4 dan B8), 20 meter (B5, B6, B7, B8A, B11 dan B12) dan 60 meter (B1, B9 dan B10) (ESA, 2015). Spesifikasi Sentinel-2 disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi citra Sentinel-2

No Band	Nama Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
1	<i>Coastal Aerosol</i>	443	60	Koreksi atmosferik (hamburan aerosol)

Tabel 4. Spesifikasi citra Sentinel-2 (lanjutan)

No Band	Nama Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
2	<i>Blue</i>	490	10	Perkembangan vegetasi, karotenoid, keadaan tanah, koreksi atmosferik (hamburan aerosol)
3	<i>Green</i>	560	10	Puncak sinar hijau, sensitif terhadap total klorofil pada vegetasi
4	<i>Red</i>	665	10	Absorpsi klorofil maksimum
5	<i>Vegetation Red Edge</i>	705	20	Konsolidasi koreksi atmosferik/ dasar fluoresensi, posisi tepi kanal merah
6	<i>Vegetation Red Edge</i>	740	20	Deteksi batas warna merah; koreksi atmosferik; penerimaan beban aerosol
7	<i>Vegetation Red Edge</i>	783	20	Indeks area daun, tepi puncak NIR
8	<i>NIR</i>	842	10	Indek area daun
8A	<i>Narrow NIR</i>	865	20	Puncak NIR yang sensitif dengan total klorofil, biomassa, indeks tepi daun dan protein; referensi penyerapan uap air, penerimaan beban dan tipe aerosol
9	<i>Water Vapour</i>	945	60	Koreksi atmosferik untuk mengetahui absorpsi uapair
10	<i>SWIR-Cirrus</i>	1375	60	Koreksi atmosferik untuk mengetahui awan yang tipis (cirrus)
11	<i>SWIR</i>	1610	20	Sensitif terhadap lignin, pati dan hutan di atas biomassa tanah; pemisahan salju/ es/ awan
12	<i>SWIR</i>	2190	20	Penilaian kondisi vegetasi; pembedaan tanah liat untuk pemantauan erosi tanah; perbedaan antara biomassa hidup, mati dan tanah

Penggunaan citra satelit Sentinel-2 telah banyak dimanfaatkan dalam mengidentifikasi berbagai fenomena di permukaan bumi, salah satunya pemantauan salinitas tanah di wilayah pesisir. Selaras dengan pernyataan Mukhtar dkk (2021) yang menyatakan bahwa satelit Landsat 8 dan Sentinel-2 dengan memanfaatkan algoritma salinitas dapat digunakan untuk mengidentifikasi intrusi air laut, berdasarkan hasil yang diperoleh Sentinel-2 lebih baik dibandingkan dengan Landsat 8 karena memperoleh nilai R^2 lebih tinggi.

2.4.1. Citra Satelit Sentinel-2

2.4.2. Pra pengolahan Citra Satelit Sentinel-2

Citra satelit Sentinel-2 level 1C yang telah diunduh di laman resmi perlu dilakukan tahapan pra pengolahan. Tahapan pra pengolahan merupakan proses awal pada penggunaan citra satelit sebelum dilakukan pengolahan selanjutnya. Tahapan ini terdiri dari koreksi radiometrik, koreksi geometrik dan pemotongan citra. Koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual serta nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan spektral objek sesungguhnya akibat gangguan atmosfer (Nilasari dkk., 2017). Koreksi radiometrik terdiri dari kalibrasi radiometrik (*radiometric calibration*) dan koreksi atmosferik (*atmospheric correction*). Kalibrasi radiometrik digunakan untuk mengubah data citra dalam bentuk *Digital Number* (DN) menjadi *radiance* (L) dan/atau *reflectance* (ρ) *Top of Atmospheric* (ToA). Sementara itu, koreksi atmosfer digunakan untuk mengubah reflektan yang diterima sensor (ρ ToA) menjadi reflektan permukaan (ρ BoA) dan/atau merubah radian yang diterima sensor (LToA) menjadi radian permukaan (LBoA)

Sementara itu, koreksi geometrik bertujuan untuk mereduksi terjadinya distorsi geometrik pada citra hasil penginderaan jauh. Citra Sentinel-2 yang telah dilakukan koreksi radiometrik dan koreksi geometrik, kemudian dilakukan pemotongan citra. Proses pemotongan Sentinel-2 pada penelitian ini dilakukan berdasarkan batas administrasi lokasi penelitian. Pemotongan citra berfungsi untuk membatasi citra sesuai dengan area yang diinginkan. Selain itu, pemotongan citra

juga berfungsi memperkecil memori penyimpanan sehingga dapat mempercepat proses pengolahan citra (Setiawan dkk., 2012).

2.4.3. Vegetation Soil Salinity Index

Vegetation soil salinity index (VSSI) merupakan salah satu indeks vegetasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi salinitas tanah di permukaan bumi. Selaras dengan pendapat Nguyen dkk (2020) yang menyatakan bahwa algoritma VSSI yang diekstraksi dari citra satelit Landsat 8 memiliki korelasi paling kuat terhadap *electrical conductivity* (EC) dibandingkan algoritma lainnya (SI, NDSI, NDVI dan SAVI) dengan nilai R^2 0,77. Nilai VSSI dapat diketahui dengan memanfaatkan kanal merah, hijau dan *near infrared* (NIR) dari citra satelit Sentinel-2 yang telah dikoreksi (Dehni dan Lounis, 2012). VSSI dapat diketahui berdasarkan persamaan dibawah ini:

$$VSSI = 2 \times \rho_{Green} - 5 \times (\rho_{Red} + \rho_{NIR}) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

VSSI = *Vegetation Soil Salinity Index*

ρ_{Green} = *Reflektan* kanal hijau (*Band 3*)

ρ_{Red} = *Reflektan* kanal merah (*Band 4*)

ρ_{NIR} = *Reflektan* kanal *Near Infrared* (*Band 8*)

2.4.4. Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan teknik pemodelan dan analisis beberapa variabel atas dasar bentuk hubungan antara satu variabel terikat dan satu atau lebih variabel bebas (prediksi) (Armstrong, 2012). Penelitian terkait penggunaan analisis regresi dalam mengidentifikasi salinitas tanah pernah dilakukan sebelumnya oleh Nguyen dkk (2020) dan Mohammed dkk (2022) dengan menghubungkan antara indeks salinitas dan nilai *electrical conductivity* (EC). Berdasarkan kedua penelitian tersebut, menyatakan bahwa model regresi dapat digunakan untuk mengestimasi

salinitas tanah dengan cukup baik. Pada penelitian ini terdapat beberapa model analisis regresi yang akan digunakan yaitu *linier* (2), *exponential* (3) dan *polynomial* (4). Model persamaan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2)$$

$$Y = a + b^X \dots\dots\dots(3)$$

$$Y = a + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_nX^n \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

X = Nilai VSSI

Y = Estimasi nilai DHL

a = *Konstanta*

b = Koefisien variabel X

Model regresi akan menghasilkan nilai koefisien determinasi atau biasa disebut *R-square* (R^2). R^2 merupakan informasi yang digunakan untuk mengetahui besar hubungan antara variabel dalam bentuk angka indeks (Harahap dkk., 2013). Besarnya nilai R^2 memiliki kisaran $0 \leq R^2 \leq 1$. Dalam menginterpretasi R^2 dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Interpretasi R^2

Nilai Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat Lemah
0,20-0,399	Lemah
0,40-0,599	Cukup Kuat
0,60-0,799	Kuat
0,80-1	Sangat Kuat

Sumber: Harahap dkk., 2013

2.4.5. Uji Akurasi RMSE

RMSE (*Root Mean Square Error*). adalah metode yang paling umum digunakan untuk mengukur tingkat akurasi model regresi. Suatu model dapat diterima apabila hasil perhitungan RMSE mendekati angka 0 atau tidak lebih dari 1 ($0 < \text{RMSE} < 1$). Menurut Suprayogi dkk (2014) apabila nilai RMSE mendekati 0 maka semakin kecil kesalahan pada model regresi dalam melakukan estimasi. Selaras dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Hamuna dan Dimara, 2017) yang menggunakan RMSE sebagai metode uji akurasi model regresi pada estimasi konsentrasi klorofil-a. Uji akurasi RMSE dapat dirumuskan seperti persamaan dibawah ini:

$$\text{RMSE} = \frac{\sqrt{\sum(X_i - Y_i)^2}}{n} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

X_i = Nilai DHL estimasi ke- i

Y_i = Nilai DHL aktual ke- i

n = Jumlah data

2.4.6. Reclassify Data

Reclassify data merupakan metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan ulang suatu data spasial menjadi data spasial baru. Proses klasifikasi dilakukan berdasarkan kriteria atribut atau acuan yang telah ditentukan. *Reclassify data* pada penelitian ini digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat intrusi air laut berdasarkan nilai DHL. Nilai DHL diklasifikasi berdasarkan acuan Rhoades dan Loveday (1990) yang terbagi menjadi 5 kelas yaitu non salinitas, salinitas rendah, salinitas sedang, salinitas tinggi dan salinitas sangat tinggi.

2.5. *Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)*

Citra *Digital Elevation Model Nasional* atau biasa disebut dengan citra DEMNAS merupakan salah satu produk Badan Informasi Geospasial (BIG) yang menyediakan data elevasi di Indonesia dalam bentuk digital. DEMNAS merupakan hasil integrasi dari beberapa data elevasi yang terdiri dari IFSAR memiliki resolusi 5 meter, TERRASAR-X dengan resolusi 5 meter dan ALOS PALSAR resolusi 11,25 meter serta data tambahan *mass point* hasil *stereoplotting* (Nugraha dkk., 2021). Resolusi spasial DEMNAS adalah $0,27\text{-arcsecond}$ dengan menggunakan datum vertikal yaitu *Earth Gravitational Model 2008* (EGM2008). Citra DEMNAS atau citra elevasi lainnya dapat diekstraksi sehingga menghasilkan citra baru seperti data kontur, data kemiringan lereng dan lain-lain.

2.6. Ketinggian dan Kemiringan Lereng

Ketinggian merupakan posisi vertikal dari permukaan air laut dan dinyatakan dalam satuan meter. Ketinggian dapat diklasifikasikan berdasarkan tabel 6 Sementara itu, kemiringan lereng merupakan ukuran kemiringan lahan relatif terhadap bidang datar yang dinyatakan dalam bentuk persen atau derajat (Dengen dkk., 2019). Kemiringan lereng dapat diklasifikasi berdasarkan tabel 7.

Tabel 6. Klasifikasi ketinggian

Ketinggian (m)	Keterangan
≤ 50	Dataran Rendah
>50 s/d 200	Perbukitan Rendah
>200 s/d 500	Perbukitan
>500 s/d 1.000	Perbukitan Tinggi
>1.000	Pegunungan

Sumber : Widyatmanti dkk., 2016

Tabel 7. Klasifikasi kemiringan lereng

Kemiringan Lereng (%)	Keterangan
≤8	Datar
>8 s/d 15	Landai
>15 s/d 25	Agak Curam
>25 s/d 45	Curam
>45	Sangat Curam

Sumber: Asdak, 1995

2.7. Hubungan Intrusi Air Laut Terhadap Ketinggian dan Kemiringan Lereng

Fenomena intrusi air laut dapat diidentifikasi dengan mengukur kandungan salinitas pada tanah menggunakan berbagai metode, seperti mengevaluasi kerentanan air tanah di daerah pesisir. Menurut Putranto dkk (2016) kerentanan air tanah dapat dianalisis menggunakan metode DRASTIC yaitu metode pembobotan berdasarkan beberapa parameter seperti kedalaman muka air tanah (D), jumlah area *recharge* (R), litologi akuifer (A), jenis media tanah (S), topografi (T), jenis media zona tak jenuh air (I) dan konduktivitas hidrolika (C). Parameter topografi merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam mengevaluasi kerentanan air tanah yang disebabkan intrusi air laut di daerah pesisir. Daerah pesisir yang didominasi oleh dataran dengan kemiringan lereng yang landai dapat mempercepat laju masuknya air laut kedalam tanah. Selaras dengan pendapat Trihatmoko dkk (2020) yang menyatakan bahwa daerah pesisir yang didominasi dengan dataran dan tersusun oleh batuan aluvial dapat menyebabkan daya resap yang tinggi dan mempercepat masuknya air laut. Menurut Hafiidh dkk (2018) daerah pesisir dengan ketinggian <25 mdpl rawan terjadinya intrusi ai laut.

2.8. Uji Hipotesis *Chi Square*

Uji Chi-square merupakan jenis uji statistik non parametris yang digunakan untuk membandingkan dua kelompok atau lebih berdasarkan data-data yang sudah dikelompokkan (Negara dan Prabowo, 2018). Rumusan hipotesis yang digunakan pada penelitian ini adalah H_0 berarti tidak ada hubungan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng, sedangkan H_1 berarti terdapat hubungan yang signifikan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng. Uji Chi square dapat dirumuskan seperti pada persamaan 6.

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(6)$$

dimana,

X^2 = Distribusi *Chi-square*

O_i = Nilai observasi (pengamatan) ke- i

E_i = Nilai ekspektasi ke- i

n = Jumlah data

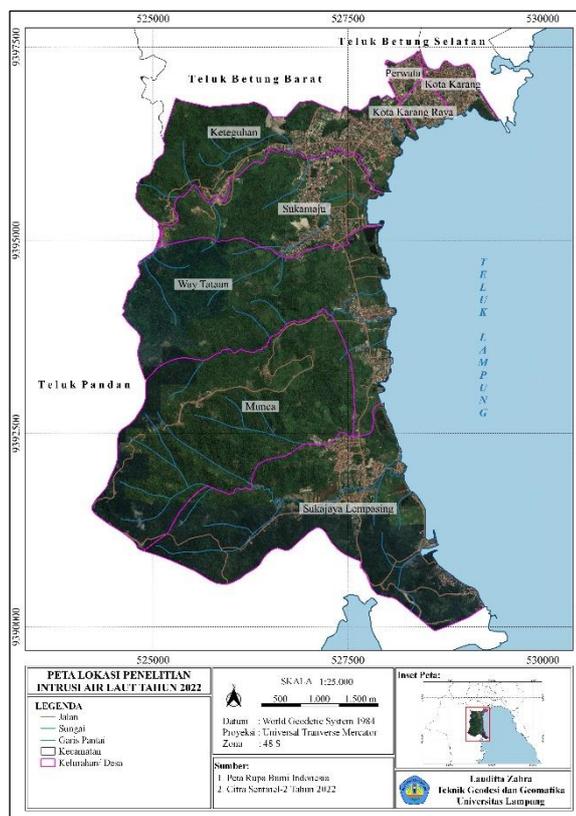
Adapun syarat pada uji *Chi-square* adalah sebagai berikut:

1. Jika p-value $\geq 0,05$, maka H_0 **Diterima**
2. Jika p-value $\leq 0,05$, maka H_0 **Ditolak**

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian intrusi air laut dilaksanakan di 6 Kecamatan dan 2 Desa yaitu Kelurahan Kota Karang, Kota Karang Raya, Perwata, Keteguhan, Sukamaju dan Way Tataan serta Desa Sukajaya Lempasing dan Munca. Secara administrasi lokasi penelitian berbatasan dengan Kecamatan Teluk Betung Barat dan Teluk Betung Selatan di sebelah utara, sebelah selatan berbatasan dengan Desa Hanura, sebelah timur berbatasan dengan Teluk Lampung dan barat berbatasan dengan Desa Tanjung Agung. Lokasi penelitian memiliki luas sebesar 2123 ha dengan kemiringan lereng yang bervariasi antara 1% sampai 32% dan ketinggian hingga 352 meter di atas permukaan laut (mdpl). Tutupan lahan pada lokasi penelitian didominasi dengan pemukiman, perkebunan, hutan, dan tambak.



Gambar 4. Lokasi penelitian.

Waktu pelaksanaan penelitian dilaksanakan selama ± 5 bulan yang dimulai pada bulan Juni 2022 sampai dengan Oktober 2022. Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan yaitu:

Tabel 8. Waktu pelaksanaan penelitian

Kegiatan	Bulan														
	Jun			Jul			Agt			Sep			Okt		
Studi Literatur	■	■	■												
Penyusunan Proposal		■	■	■											
Persiapan Perizinan			■	■	■										
Pengumpulan Data Primer					■	■									
Pengumpulan Data Sekunder					■	■	■	■	■						
Pengolahan Data								■	■	■	■				
Validasi Data											■	■	■	■	
Penyusunan Laporan Skripsi														■	■

3.2. Data

3.2.1. Data Primer

Populasi dalam penelitian ini adalah tanah di Kecamatan Teluk Betung dan Teluk Pandan. Data primer yang digunakan berupa nilai daya hantar listrik (DHL) pada tanah. Dalam pengambilan data DHL perlu dilakukan penentuan titik sampel menggunakan teknik *stratified purposive sampling*. Data DHL digunakan untuk mengidentifikasi intrusi air laut di lokasi penelitian. Data DHL dilakukan pengukuran pada tanah hingga 10 cm, kemudian diambil sebanyak 7 gram yang dilarutkan kedalam 35 ml air suling. Pengukuran nilai DHL dilakukan menggunakan alat salinometer tipe c-100 dalam satuan *millisiemens per centimeter* (mS/cm) dan memiliki ketelitian alat sebesar $\pm 0,2$ dalam satuan.

3.2.2. Data Sekunder

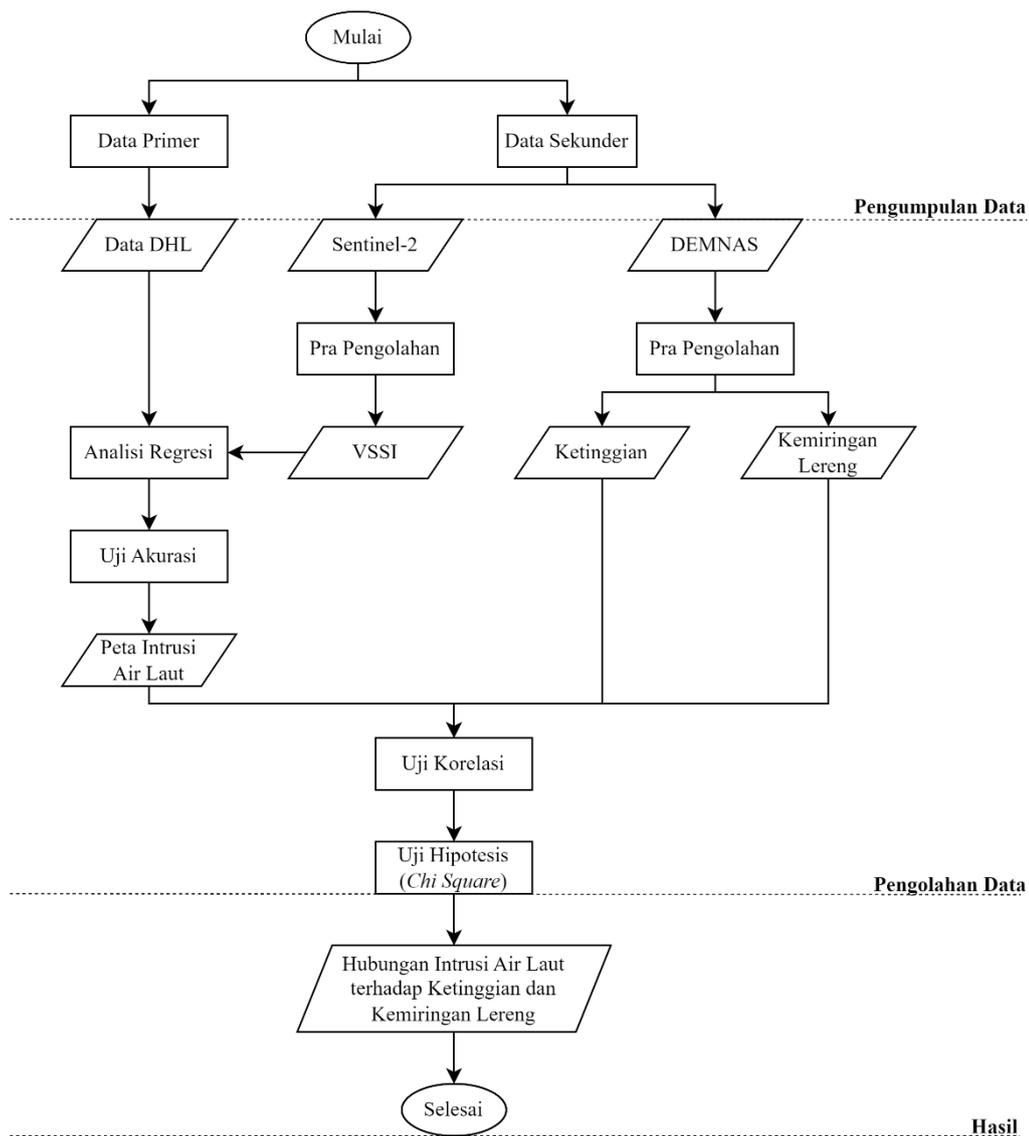
Data sekunder merupakan data yang diperoleh dengan cara mengumpulkan dari instansi-instansi seperti Badan Informasi Geospasial (BIG) dan *European Space Agency* (ESA). Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini berupa citra satelit Sentinel-2A, *digital elevation model* nasional (DEMNAS) dan batas administrasi. Citra satelit Sentinel-2A merupakan citra dengan resolusi spasial menengah yang memiliki 13 kanal spektral (ESA, 2015). Pada penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel-2A level 1C yang diakuisisi pada 1 Juli 2022. Sementara itu, *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) merupakan salah satu produk dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang menyediakan data elevasi di Indonesia. DEMNAS memiliki resolusi spasial sebesar $0,27 \text{ arc second}$ atau setara dengan 8m. Citra DEMNAS yang digunakan pada penelitian ini membutuhkan 4 citra DEMNAS yaitu DEMNAS 1110-13, DEMNAS 1110-14, DEMNAS 1110-41 dan DEMNAS 1110-42. Batas administrasi juga salah satu produk dari BIG yang menyediakan informasi teknis yang diperlukan untuk mengetahui batas dan letak suatu daerah.

Tabel 9. Spesifikasi data penelitian

No.	Data	Akuisisi	Sumber
1.	Nilai Daya Hantar Listrik (DHL)	06 Juli 2022	Observasi langsung di lapangan
		07 Juli 2022	
		26 Juli 2022	
		27 Juli 2022	
2.	Citra Satelit Sentinel-2A	01 Juli 2022	European Space Agency (ESA) (https://sentinel.esa.int/)
3.	DEMNAS	2018	Badan Informasi Geospasial (BIG) (https://www.big.go.id/)
4.	Batas Administrasi	2020	Badan Informasi Geospasial (BIG) (https://www.big.go.id/)

3.3. Metode

Langkah awal pada penelitian ini yaitu pengambilan data daya hantar listrik (DHL) berdasarkan teknik *stratified purposive sampling*. Data DHL diakuisisi menggunakan alat salinometer tipe c-100. Langkah selanjutnya yaitu pengumpulan data sekunder yang terdiri dari citra satelit Sentinel-2A, DEMNAS dan batas administrasi. Citra satelit Sentinel-2A perlu dilakukan proses pra pengolahan yaitu koreksi atmosferik dan pemotongan citra. Kemudian, citra satelit Sentinel-2A diekstraksi dan menghasilkan VSSI. Data DHL dan VSSI digunakan untuk pemodelan intrusi air laut menggunakan persamaan analisis regresi. Hasil pemodelan intrusi air laut dilakukan uji akurasi RMSE yang bertujuan untuk melihat kelayakan suatu model regresi tersebut. Model yang menghasilkan nilai RMSE yang mendekati 1 akan diklasifikasikan berdasarkan acuan tingkat intrusi air laut dan menghasilkan peta tingkat intrusi air laut. DEMNAS juga dilakukan proses pra pengolahan yang terdiri dari penggabungan, proyeksi ulang dan pemotongan citra. Selanjutnya DEMNAS diekstraksi yang menghasilkan data ketinggian dan kemiringan lereng. Data ketinggian, kemiringan lereng dan hasil pemodelan intrusi air laut dilakukan uji korelasi dan uji *chi square* untuk melihat perubahan intrusi air laut terhadap ketinggian dan kemiringan lereng. Rincian keseluruhan rangkaian proses penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian (Gambar 5).



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

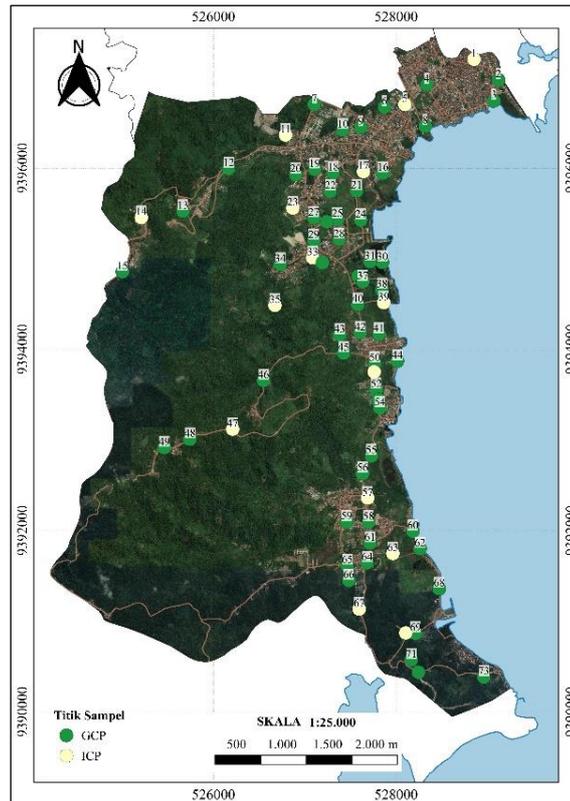
3.4. Pengambilan Data DHL

Data DHL diakuisisi pada tanggal 06, 07, 26 dan 27 Juli 2022. Waktu akuisisi data DHL dilakukan berdasarkan waktu perekaman citra satelit Sentinel-2. Penentuan titik sampel berdasarkan teknik *stratified purposive sampling* dengan mempertimbangkan jarak setiap titiknya yang bertujuan agar informasi yang diperoleh lebih representatif (Sugiyono, 2013). Titik sampel ditentukan dengan mempertimbangkan 2 jarak yang berbeda yaitu $\pm 250\text{m}$ dan $\pm 500\text{m}$. Pengambilan titik sampel dengan jarak $\pm 250\text{m}$ digunakan pada cakupan area $\leq 1\text{ km}$ dari garis

pantai, sedangkan jarak ± 500 m digunakan pada cakupan area ≥ 1 km dari garis pantai. Terdapat beberapa titik sampel yang tidak dapat diakuisisi karena kondisi lapangan yang tidak memungkinkan karena akses jalan yang tidak memadai. Berdasarkan hasil akuisisi diperoleh sebanyak 73 titik sampel yang terdiri dari 58 titik olah dan 15 titik uji (Tabel 10). Pada penelitian ini titik olah digunakan untuk pembuatan model intrusi air laut, sedangkan titik uji digunakan untuk uji kelayakan pada model yang telah dibuat. Persebaran spasial titik olah dan titik uji dapat dilihat pada gambar 6.

Tabel 10. Data lapangan

Id	Longitude	Latitude	Nilai DHL (mS/cm)	Jenis Titik
1	105,26046	-5,45350	0,22	Titik uji
2	105,26287	-5,45555	2,09	Titik olah
3	105,26243	-5,45763	13,44	Titik olah
4	105,25580	-5,45602	1,68	Titik olah
5	105,25363	-5,45801	0,40	Titik uji
6	105,25161	-5,45826	0,37	Titik olah
7	105,24468	-5,45801	0,26	Titik olah
8	105,25563	-5,46017	0,88	Titik olah
9	105,24929	-5,46028	0,61	Titik olah
10	105,24750	-5,46055	2,29	Titik olah
...
65	105,24796	-5,50403	0,18	Titik olah
66	105,24811	-5,50553	0,35	Titik olah
67	105,24914	-5,50838	0,42	Titik uji
68	105,25704	-5,50635	0,81	Titik olah
69	105,25471	-5,51080	0,25	Titik olah
70	105,25375	-5,51076	0,23	Titik uji
71	105,25429	-5,51345	0,31	Titik olah
72	105,25499	-5,51468	0,18	Titik olah
73	105,26146	-5,51516	0,20	Titik olah



Gambar 6. Persebaran titik sampel.

3.5. Pengolahan Data

3.5.1. Karakteristik Data DHL

Data daya hantar listrik (DHL) yang diakuisisi sebanyak 58 titik olah digunakan untuk memprediksi kondisi intrusi air laut di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil akuisisi, lokasi penelitian memiliki nilai DHL terendah DHL berada pada 0,07 mS/cm dan DHL tertinggi dengan nilai 13,44 mS/cm (Tabel 11). Menurut (Rhoades dan Loveday, 1990) area penelitian dengan nilai DHL <13,44 mS/cm terbagi menjadi 4 tingkatan yaitu non salinitas, agak salinitas, salinitas sedang dan salinitas tinggi. Pada tabel 11 menunjukkan area dengan tingkatan non salinitas berada pada rentang 0,07 mS/cm hingga 0,61 mS/cm sedangkan area dengan kondisi agak salinitas memiliki rentang nilai 0,81 sampai 1,68 mS/cm. Sementara itu, area dengan kondisi salinitas sedang memiliki rentang nilai 2,01 mS/cm hingga 8,80 mS/cm dan kondisi salinitas tinggi dengan nilai 13,44 mS/cm.

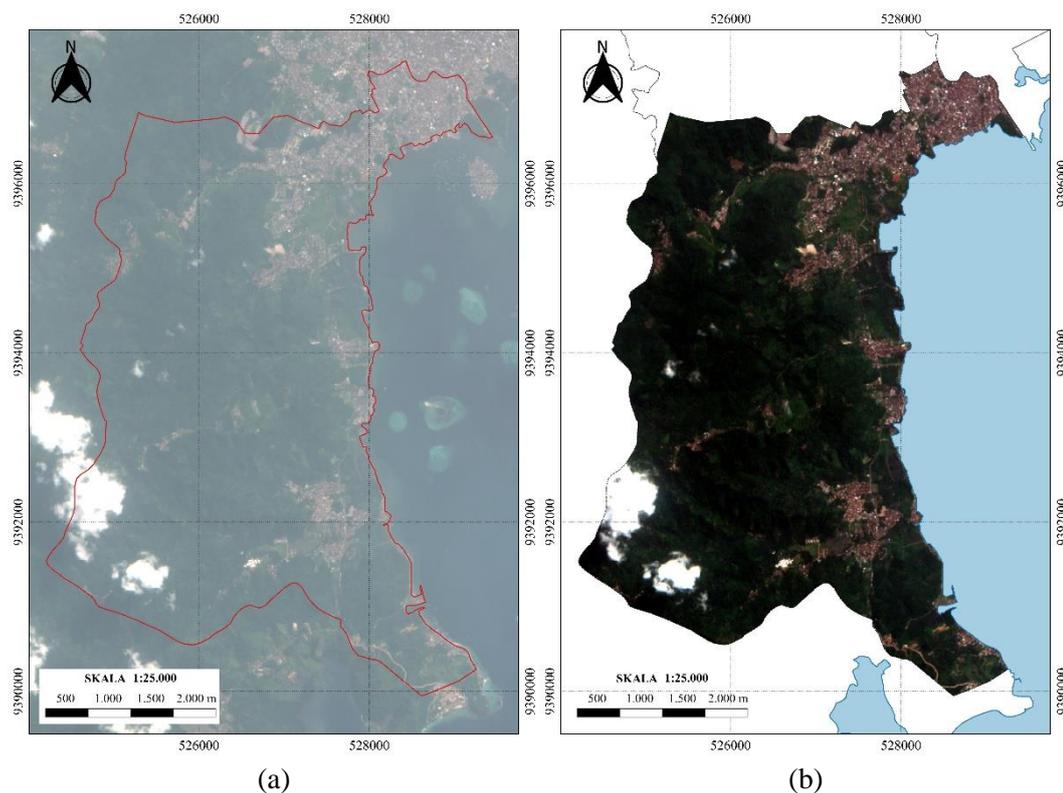
Tabel 11. Klasifikasi salinitas pada tanah berdasarkan nilai DHL

No.	Tingkatan Salinitas Tanah	Nilai DHL (mS/cm)	
		Minimal	Maksimal
1.	Non Salinitas	0,07	0,61
2.	Salinitas Rendah	0,81	1,68
3.	Salinitas Sedang	2,01	8,80
4.	Salinitas Tinggi	13,44	13,44

3.5.2. Pra-Pengolahan Citra Sentinel-2A

Citra satelit Sentinel-2A yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil perekaman pada tanggal 1 Juli 2022. Waktu perekaman citra satelit Sentinel-2A berbeda dengan pengambilan data lapangan, dikarenakan citra Sentinel-2A pada tanggal 6 dan 26 Juli 2022 sebagian besar tertutup awan. Oleh karena itu, pemilihan waktu citra satelit Sentinel-2A berdasarkan bulan yang sama dan kualitas citra yang baik dengan tutupan awan paling sedikit. Citra satelit Sentinel-2A yang digunakan pada penelitian ini adalah level 1C yang telah dilakukan koreksi geometrik dan koreksi radiometrik dalam bentuk nilai ρ ToA (ESA, 2015). Dengan demikian, tahapan pra pengolahan citra satelit Sentinel-2A selanjutnya terdiri dari koreksi atmosferik metode *Dark Object Subtraction* (DOS) dan pemotongan citra. Seluruh tahapan pra pengolahan diproses menggunakan aplikasi QGIS 3.16 yang menghasilkan citra Sentinel-2A dengan cakupan area penelitian.

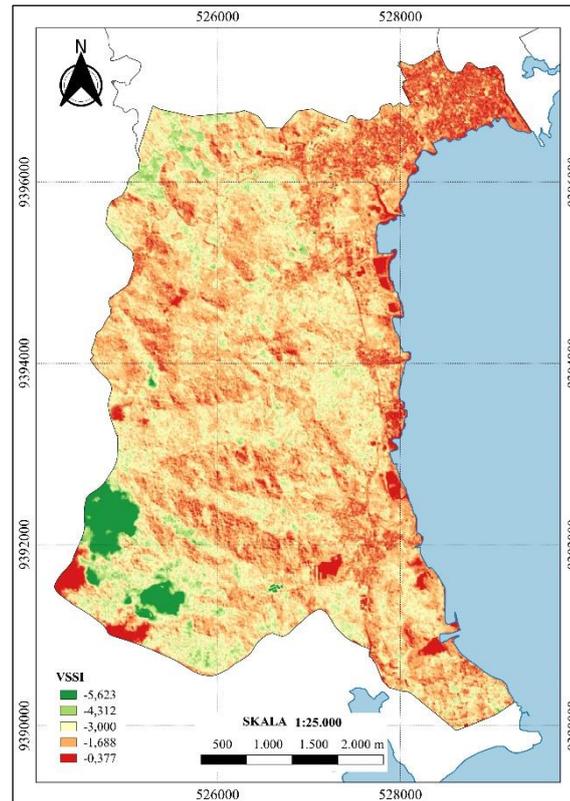
Citra satelit Sentinel-2A memiliki perbedaan yang signifikan antara belum dilakukan pra pengolahan dan telah dilakukan pra pengolahan (Gambar 7). Pada gambar 7a menunjukkan citra satelit Sentinel-2A terdapat gangguan atmosfer yang dapat dilihat pada permukaan citra memiliki kualitas visual buruk. Citra satelit Sentinel-2A dengan kualitas visual buruk akan berdampak pada nilai pantulan yang tidak sesuai dengan objek sesungguhnya. Selain itu, citra Sentinel-2A pada gambar 7a memiliki cakupan yang luas yang belum terfokus pada lokasi penelitian. Sementara itu, gambar 7b menunjukkan citra satelit Sentinel-2 dengan cakupan lokasi penelitian yang tidak terpengaruhi oleh efek atmosfer



Gambar 7. Sentinel-2 (a) sebelum proses pra pengolahan dan (b) sesudah proses pra pengolahan.

3.5.3. Transformasi *Vegetation Soil Salinity Index*

Citra satelit Sentinel-2A yang telah dilakukan proses pra pengolahan, lalu dilakukan tahapan pengolahan data. Pengolahan data pada citra satelit Sentinel-2A berupa ekstraksi menggunakan *raster calculator* dengan memanfaatkan reflektan kanal merah, hijau dan NIR (Persamaan 1). Proses ekstraksi menghasilkan persebaran spasial VSSI dengan rentang nilai $-0,377$ s/d $-5,623$ (Gambar 8). Gambar 8 hanya menunjukkan sebaran VSSI yang belum dapat mengidentifikasi sebaran nilai salinitas. Dengan demikian data VSSI perlu dilakukan integrasi terhadap data DHL agar kandungan garam di lokasi penelitian dapat diidentifikasi dengan akurat.



Gambar 8. Transformasi *vegetation soil salinity index* (VSSI).

3.5.4. Pemodelan Intrusi Air Laut

Pemodelan intrusi air laut dibangun dengan model persamaan regresi. Terdapat 3 model persamaan regresi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *linier*, *exponential* dan *polynomial*. Proses pemodelan intrusi air laut menggunakan data DHL dan VSSI pada 58 titik olah (Tabel 12). Proses pemodelan akan menghasilkan model empiris dan angka indeks. Angka indeks digunakan untuk mengetahui hubungan antara data DHL terhadap VSSI, sedangkan model empiris digunakan untuk mengestimasi nilai DHL pada cakupan area penelitian.

Tabel 12. Nilai DHL dan Nilai VSSI pada titik olah

No.	Id	DHL (mS/cm)	VSSI	No.	Id	DHL (mS/cm)	VSSI
1.	2	2,09	-1,203	48.	60	0,24	-1,152
2.	3	13,44	-1,043	49.	61	0,20	-1,119
3.	4	1,68	-1,186	50.	62	8,80	-0,970

Tabel 12. Nilai DHL dan Nilai VSSI pada titik olah (lanjutan)

No.	Id	DHL (mS/cm)	VSSI	No.	Id	DHL (mS/cm)	VSSI
4.	6	0,37	-1,240	51.	64	0,37	-1,184
5.	7	0,26	-1,241	52.	65	0,18	-1,423
6.	8	0,88	-1,127	53.	66	0,35	-1,363
7.	9	0,61	-1,403	54.	68	0,81	-1,331
8.	10	2,29	-1,098	55.	69	0,25	-1,168
9.	12	0,12	-1,643	56.	71	0,31	-1,162
10.	13	0,27	-1,284	57.	72	0,18	-1,373
....	58.	74	0,20	-1,484

3.5.5. Uji Akurasi

Model empiris yang telah dibangun perlu dilakukan uji akurasi menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE). Perhitungan uji RMSE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan pada pemodelan intrusi air laut. Perhitungan RMSE dilakukan pada setiap model empiris menggunakan 15 titik uji pada nilai DHL aktual dan nilai DHL estimasi (Tabel 13). Model empiris yang menghasilkan nilai RMSE terbesar dan berada diantara 0 hingga 1 akan digunakan pemodelan intrusi air laut di lokasi penelitian.

Tabel 13. Nilai DHL aktual dan estimasi nilai DHL pada titik uji

No.	Id	DHL (mS/cm)	Estimasi DHL		
			Linier	Exponential	Polynomial
1.	1	0,310	1,71	0,48	1,17
2.	5	0,399	2,04	0,59	1,99
3.	11	0,283	0,53	0,24	-0,45
4.	14	0,331	2,44	0,75	3,17
5.	17	0,248	0,82	0,28	-0,23
6.	23	0,236	-0,92	0,10	0,25
7.	33	0,305	0,80	0,28	-0,25
8.	35	0,259	1,02	0,32	-0,01

Tabel 13. Nilai DHL aktual dan estimasi nilai DHL pada titik uji (lanjutan)

No.	Id	DHL (mS/cm)	Estimasi DHL		
			Linier	Exponential	Polynomial
9.	39	0,869	2,12	0,62	2,20
10.	47	0,239	-0,73	0,11	-0,01
11.	51	0,372	2,10	0,61	2,14
12.	57	0,314	-1,35	0,08	1,05
13.	63	0,248	-1,21	0,08	0,76
14.	67	0,409	0,25	0,20	-0,55
15.	70	0,313	0,37	0,21	-0,52
9.	39	0,869	2,12	0,62	2,20

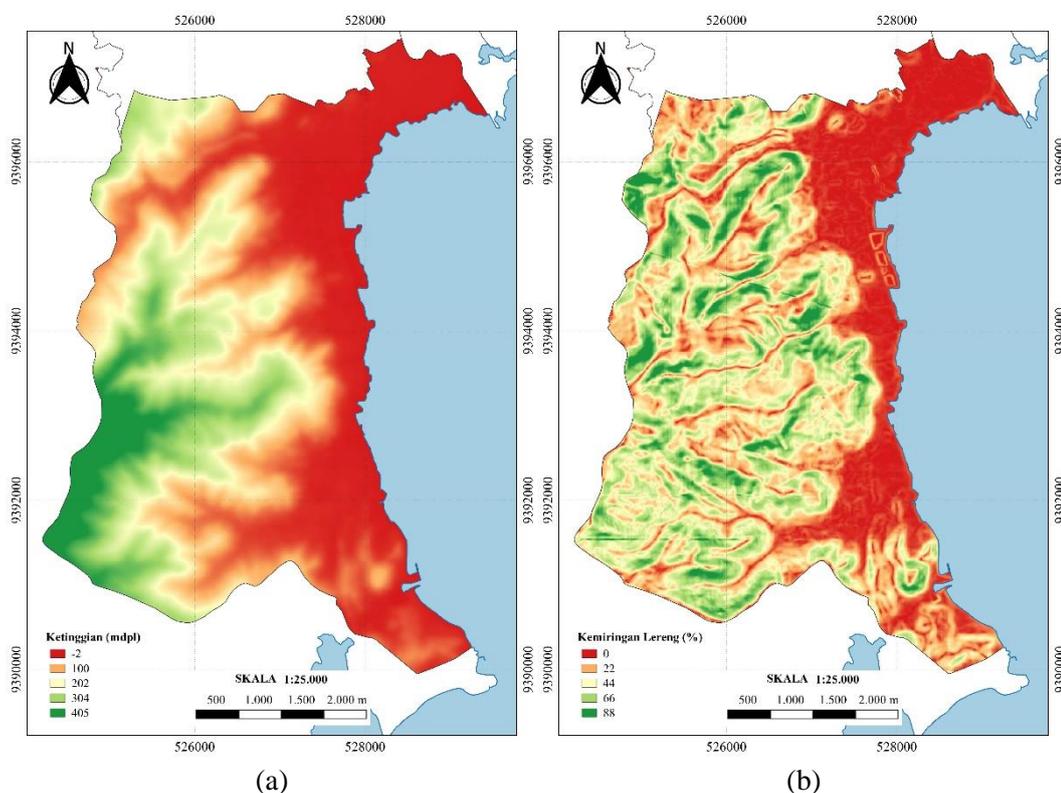
3.5.6. Klasifikasi Tingkat Intrusi Air Laut

Model empiris yang menghasilkan nilai RMSE tertinggi dan berada pada rentang nilai 0 sampai dengan 1 akan dilakukan proses klasifikasi. Proses klasifikasi menggunakan metode *reclassify* berdasarkan klasifikasi nilai daya hanta listrik (DHL)². Proses klasifikasi akan menghasilkan peta tingkat intrusi air laut yang terbagi menjadi 5 kelas yaitu tidak ada intrusi air laut, intrusi air laut rendah, intrusi air laut sedang, intrusi air laut tinggi dan intrusi air laut sangat tinggi (Tabel 3).

3.5.7. Karakteristik Data DEMNAS

Citra DEMNAS yang telah diunduh perlu dilakukan tahapan pra pengolahan yang terdiri dari penggabungan, proyeksi ulang dan pemotongan citra. Citra DEMNAS yang digunakan pada penelitian ini membutuhkan 4 citra DEMNAS yaitu DEMNAS 1110-13, DEMNAS 1110-14, DEMNAS 1110-41 dan DEMNAS 1110-42. Keempat citra tersebut dilakukan proses penggabungan agar data elevasi di lokasi penelitian terpenuhi. Kemudian citra DEMNAS diproyeksikan ulang kedalam sistem koordinat yang sesuai dengan lokasi penelitian yaitu UTM WGS 1984 zona 48S. Selanjutnya dilakukan pemotongan citra berdasarkan batas administrasi lokasi penelitian. Citra DEMNAS yang telah dilakukan tahapan pra

pengolahan, kemudian diekstraksi yang menghasilkan data ketinggian dan kemiringan lereng. Berdasarkan hasil ekstraksi, lokasi penelitian memiliki nilai ketinggian dengan rentang nilai -2 s/d 405 meter diatas permukaan laut (mdpl), sedangkan kemiringan lereng memiliki nilai antara 0 s/d 88% (Gambar 9)



Gambar 9. Karakteristik data DEMNAS (a) ketinggian dan (b) kemiringan lereng.

3.5.8. Uji Hipotesis

Uji hipotesis pada penelitian ini menggunakan metode *chi square*. Uji *chi square* berfungsi untuk mengetahui hubungan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng. Pengolahan uji *chi square* dilakukan dengan menggunakan aplikasi *R-studio*. Rumusan hipotesis yang digunakan pada penelitian ini adalah H_0 berarti tidak ada hubungan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng, sedangkan H_1 berarti terdapat hubungan yang signifikan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng. Apabila pengolahan uji *chi square* menghasilkan nilai *p-value* $\geq 0,05$ maka H_0 diterima, sedangkan nilai *p-value* $\leq 0,05$ maka H_1 diterima.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa fenomena intrusi air laut dapat diidentifikasi dengan memanfaatkan algoritma *vegetation soil salinity index* (VSSI) pada citra satelit sentinel-2. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil pemodelan regresi *exponential* yang menghasilkan nilai RMSE yang akurat dengan nilai 0,27. Berdasarkan hasil pemodelan, lokasi penelitian dengan jarak ± 1 km dari garis pantai mengalami intrusi air laut. Namun, sebagian besar area tidak mengalami intrusi air laut yaitu 87,74% dengan luas 1861 ha.

Intrusi air laut terhadap ketinggian memiliki hubungan negatif cukup kuat dengan nilai R^2 0,4597 sedangkan intrusi air laut terhadap kemiringan lereng memiliki hubungan negatif lemah dengan nilai R^2 0,247. Berdasarkan kondisi tersebut, dapat dinyatakan bahwa tingkat intrusi air laut dipengaruhi oleh ketinggian dan kemiringan lereng. Dimana, semakin tinggi tingkat intrusi air laut maka semakin kecil nilai ketinggian maupun kemiringan lereng. Hal ini juga didukung dengan uji *chi square* yang menunjukkan nilai *p-value* $\leq 0,05$. Maka hipotesis penelitian H_1 diterima, dimana terdapat hubungan yang signifikan antara tingkat intrusi air laut terhadap perubahan ketinggian dan kemiringan lereng.

5.2 Saran

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

1. Penggunaan berbagai indeks yang dapat mengidentifikasi intrusi air laut selain VSSI perlu dipertimbangkan agar mendapatkan akurasi yang lebih baik lagi dalam estimasi intrusi air laut.

2. Dalam menghasilkan estimasi intrusi air laut dengan akurasi yang lebih baik, perlu mempertimbangkan metode pengukuran data lapangan terkait cuaca teknik *sampling*, metode pengambilan dan alat yang digunakan.
3. Mempertimbangkan hubungan antara intrusi air laut terhadap variabel-variabel lainnya seperti jenis akuifer, jarak dari pantai, tutupan lahan dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboelsoud, H. M., AbdelRahman, M. A. E., Kheir, A. M. S., Eid, M. S. M., Ammar, K. A., Khalifa, T. H., & Scopa, A. (2022). Quantitative Estimation of Saline-Soil Amelioration Using Remote-Sensing Indices in Arid Land for Better Management. *Land, 11*(7), 1–19.
<https://doi.org/10.3390/land11071041>
- Adi, S., Zaenudin, A., Kusumastuti, D. I., & Suharno, S. (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-Gaadi, K. A., Tola, E. K., Madugundu, R., & Fulleros, R. B. (2021). Sentinel-2 Images for Effective Mapping of Soil Salinity in Agricultural Fields. *Current Science, 121*(3), 384–390. <https://doi.org/10.18520/cs/v121/i3/384-390>
- Armstrong, J. S. (2012). Illusions in Regression Analysis. *Forthcoming in International Journal of Forecasting*.
- Asdak, C. (1995). Hidrologi dan pengelolaan DAS. *Yogyakarta: Gadjah Mada University*.
- Astuti, A. D. (2014). Kualitas Air irigasi Ditinjau dari Parameter DHL, TDS, pH Pada Lahan Sawah Desa Bulumanis Kidul Kecamatan Margoyoso. *Jurnal Litbang, X*(1), 35–42.
- Bappeda. (2017). *Study Analisis Dampak Intrusi Air Laut Kota Tegal-Tahun Anggaran 2017*. CV. Mitra Muda Rekayasa.
<https://doi.org/10.47655/dialog.v44i1.470>
- Bartzas, G., Tinivella, F., Medini, L., Zaharaki, D., & Komnitsas, K. (2015). Assessment of Groundwater Contamination Risk in an Agricultural Area in North Italy. *Information Processing in Agriculture, 2*(2), 109–129.
- BPS. (2021a). Kecamatan Teluk Betung Timur Dalam Angka 2021. In *BPS Kota*

Bandar Lampung. BPS Kota Bandar Lampung.

BPS. (2021b). Kecamatan Teluk Pandan Dalam Angka 2021. In *BPS Kabupaten Pesawaran*. BPS Kabupaten Pesawaran.

Dehni, A., & Lounis, M. (2012). Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil mMapping: Application to the Oran Region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1193>

Dengen, C. N., Nurcahyo, A. C., & Kusriani. (2019). Penentuan Jenis Tanaman Berdasarkan Kemiringan Lahan Pertanian Menggunakan Adopsi Linier Programming Berbasis Pengolahan Citra. *Jurnal Buana Informatika*, 10(2), 99–111. <https://doi.org/10.24002/jbi.v10i2.2253>

ESA. (2015). Sentinel-2 User Handbook. In *European Commission* (Issue 1, pp. 1–64).

Febriarta, E., Marfai, M. A., Hizbaron, D. R., & Larasati, A. (2020). Kajian Spasial Multi Kriteria DRASTIC Kerentanan Air tanah Pesisir Akuifer Batugamping di Tanjungbuni Madura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3), 476–487. <https://doi.org/10.14710/jil.18.3.476-487>

Gad, M., & El-Hattab, M. (2019). Integration of Water Pollution Indices and DRASTIC Model for Assessment of Groundwater Quality in El Fayoum Depression, Western Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 158(February), 103554. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103554>

Hafiidh, A. A., Saptomo, S. K., Arif, C., & Waspodo, R. S. B. (2018). Sebaran Intrusi Air Laut di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. *JSIL Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 03(02), 69–76.

Hamuna, B., & Dimara, L. (2017). Pendugaan Konsentrasi Klorofil-A dari Citra Satelit Landsat 8 di Perairan Kota Jayapura. *Maspari Journal*, 9(2), 139–148.

Harahap, Y. M., Bu'ulolo, F., & 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.

Hidayat, M. R. (2015). Pemetaan Intrusi Air Laut Kecamatan Pekalongan Utara

- Kota Pekalongan. In *Universitas Negeri Semarang*. Universitas Negeri Semarang.
- Indriastoni, R. N., & Kustini, I. (2014). Intrusi Air Laut Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal di Kota Surabaya. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(3), 228–232.
- Indriatmoko, R. H. (2018). Analisis Terhadap Perubahan Salinitas Air Tanah Dangkal Pada Sistem Akuifer Tak Tertekan Cekungan Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 9(1), 37–46. <https://doi.org/10.29122/jai.v9i1.2474>
- Kristiono, A., Purwaningrahyu, R. D., & Taufiq, A. (2013). Respons Tanaman Kedelai, Kacang Tanah, dan Kacang Hijau Terhadap Cekaman Salinitas. *Buletin Palawija*, 26, 45–60.
- Maghfiroh, & Mutadin. (2021). Analisis Kualitas Air Tanah Daerah Terdampak ROB Sebagai Upaya untuk Mendapatkan Sumber Air Bersih dan Menanggulangi Penurunan Tanah. *PENA Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 35(2), 11. <https://doi.org/10.31941/jurnalpena.v35i2.1564>
- Mohammed, A., Hanchiso, T., & Abi, S. (2022). *Analysis and Modeling of Soil Salinity Using Sentinel-2A and LANDSAT-8 Images in the Afambo Irrigated Area, Afar Region, Ethiopia*. 1–12. <https://doi.org/10.20944/preprints202204.0250.v1>
- Mukhtar, M. K., Supriatna, & Manessa, M. D. M. (2021). The Validation of Water Quality Parameter Algorithm Using Landsat 8 and Sentinel-2 Image in Palabuhanratu Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 846(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/846/1/012022>
- Muliawan, N. R. E., Sampurno, J., & Jumarang, M. I. (2016). Identifikasi Nilai Salinitas Pada Lahan Pertanian di Daerah Jungkat Berdasarkan Metode Daya Hantar Listrik (DHL). *Prisma Fisika*, IV(02), 69–72. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/15849>
- Negara, I. C., & Prabowo, A. (2018). Penggunaan Uji Chi-Square untuk Mengetahui Pengaruh Tingkat Pendidikan dan Umur terhadap Pengetahuan Penasun Mengenai HIV–AIDS di Provinsi DKI Jakarta. *Prosiding Seminar Nasional Matematika Dan Terapannya 2018*, 1–8.

- Nguyen, K. A., Liou, Y. A., Tran, H. P., Hoang, P. P., & 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. <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0311-0>
- Nilasari, M., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2017). Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Memetakan Kekeringan Lahan Pertanian dengan Metode Thermal Vegetation Index (Studi Kasus: Kabupaten Kudus, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(3), 97–105.
- Nugraha, H. S., Permana, L. A., & Sekaesih. (2021). Analisis Citra Satelit Landsat 8 Dan Demnas Untuk Identifikasi Prospek Panas Bumi Di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(3), 166–184. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v16i3.322>
- Pemda, P. L. (2000). *Rencana Strategis Pengelolaan Wilayah Pesisir Lampung*. Kerjasama Pememrintah Daerah Provinsi Lampung dengan Proyek Pesisir Lampung dan PKSPL-IPB. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Pujianiki, N. N., & Simpen, I. N. (2018). Aplikasi Geolistrik Pada Pemetaan Daerah Intrusi Air Laut di Pantai Candidasa. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 29–34. <https://doi.org/10.14710/mkts.v24i1.17574>
- Putranto, T. T., & Kusuma, K. I. (2009). Permasalahan Airtanah Pada Daerah Urban. *Teknik*, 30(1), 48–56.
- Putranto, T. T., Widiarso, D. A., & Yuslihanu, F. (2016). Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Kontaminan Menggunakan Metode Drastic di Kota Pekalongan. *Teknik*, 37(1), 26–31. <https://doi.org/10.14710/teknik.v37i1.9637>
- Radityo, D., Alviyanda, A., Natalia, H. C., Hamdani, A., Huseina, A. A., Denhi, A. D. A., Naufal, R. A., & Zayadah. (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), 110–115.

<https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.366>

Rhoades, J. D., & Loveday, J. (1990). Salinity in Irrigated Agriculture. *Irrigation of Agriculture Crops*, 30(30), 1089–1142.

<http://www.cabdirect.org/abstracts/19901946231.html;jsessionid=488BDBB6CF6C61C8FA7776278F23C750?gitCommit=4.13.8-6-g6e31ff9>

Rismayatika, F., Ikhsanti, H., & Tirani, N. R. (2019). Identifikasi Perubahan Salinitas Air di Perairan Sekitar Pembangunan Reklamasi Citraland City Kota Makassar Menggunakan Citra Landsat 8. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke-6, Desember*, 41–47.

Setiawan, F., Harahap, S. A., Andriani, Y., & Hutahaean, A. A. (2012). Deteksi Perubahan Padang Lamun Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Kaitannya Dengan Kemampuan Menyimpan Karbon di Perairan Teluk Banten. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 3(3), 275–286.

Sugiyono, D. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan : Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*.

Suhartono, E., Purwanto, & Suripin. (2013). Faktor Penyebab Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah Pada Akuifer Dalam di Kota Semarang. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 18(2), 76–87.

Suprayogi, I., Trimaijon, & Mahyudin. (2014). Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (JST) (Studi Kasus : Sub DAS Siak Hulu). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains*, 1(1), 1–18.

Trihatmoko, E., Wiguna, H. S., Sanjoto, T. B., Juhadi, Hariyadi, Widada, S., Josanova, D. M., Mukhlas, A. B., & Taqy, M. (2020). Penelitian Pendahuluan (Preliminary Research) Intrusi Air Laut di Desa Sriwulan, Demak, Indonesia. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(4), 396–402.
<https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i4.9304>

Wardhana, R. R., Warnana, D. D., & Widodo, A. (2017). Identifikasi Intrusi Air Laut Pada Air Tanah Menggunakan Metode Resistivitas 2D Studi Kasus Surabaya Timur. *Jurnal Geosaintek*, 3(1), 17.

<https://doi.org/10.12962/j25023659.v3i1.2946>

Widada, S. (2007). Gejala Intrusi Air Laut di Daerah Pantai Kota Pekalongan. *Ilmu Kelautan*, 12(1), 45–52.

Widyatmanti, W., Wicaksono, I., & Syam, P. D. R. (2016). Identification of Topographic Elements Composition Based on Landform Boundaries from Radar Interferometry Segmentation (Preliminary Study on Digital Landform Mapping). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 37(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012008>

World Resources Institute. (2016). *Measuring, Mapping, and Understanding Water Risks Around the Globe*. Diakses dari <https://www.wri.org/aqueduct>