

**ANALISIS CITRA SENTINEL-2A UNTUK PEMETAAN BATIMETRI
LAUT DANGKAL PERAIRAN TELUK LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**Desmi Purnama Sari
1814221031**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

ANALISIS CITRA SENTINEL-2A UNTUK PEMETAAN BATIMETRI LAUT DANGKAL PERAIRAN TELUK LAMPUNG

Oleh

Desmi Purnama Sari

Pemetaan batimetri digunakan untuk memetakan dasar laut. Data dasar laut yang akurat dan terkini sangat dibutuhkan oleh banyak kegiatan manusia seperti untuk rute transportasi air dan konstruksi infrastruktur lepas pantai. Pemetaan *in situ* secara umum menggunakan *echosounder* memakan waktu, biaya tinggi, dan akses yang sulit ke daerah perairan dangkal karena akses kapal survei yang tidak dapat menjangkau perairan dangkal. Penelitian ini bertujuan untuk membuat peta batimetri hasil analisis citra Sentinel-2A. Ekstraksi kedalaman menggunakan citra Sentinel-2A dilakukan di sekitar perairan Teluk Lampung. *Dark object subtraction* (DOS) digunakan pada proses awal pengolahan citra Sentinel 2A untuk menghasilkan citra yang terkoreksi *atmosferik*. Metode yang digunakan untuk mengestimasi kedalaman adalah metode *band* tunggal dan *band* rasio. Nilai kedalaman pada *band* tunggal diperoleh dari hubungan antara nilai reflektansi tiap *band* dengan data batimetri nasional. Sedangkan untuk metode *band* rasio, nilai kedalaman diperoleh dari korelasi terbaik antara *band* pembandingan dengan data batimetri nasional. Hasil penelitian diperoleh untuk metode *band* tunggal dengan persamaan regresi $Z = 405,9457 + 152,0163(X1) + 115,0162(X2) + 68,6102(X3)$, dengan koefisien regresi 0,947. Sementara, hasil dengan metode *band* rasio diperoleh dari perbandingan *band* 2 (biru) dengan *band* 3 (hijau) dengan koefisien regresi 0,964. Korelasi terbaik diperoleh dari nilai reflektansi *band* 2 (biru). Hal ini disebabkan kemampuan cahaya biru mampu menembus ke kedalaman yang lebih dalam. Akurasi kedua metode yang dianalisis dengan metode RMSE memberikan hasil terbaik pada kedalaman 15-20 m. Nilai RMSE pada metode *band* rasio lebih kecil dari nilai RMSE metode *band* tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa metode *band* rasio lebih baik dibandingkan metode *band* tunggal.

Kata kunci: Batimetri, band tunggal, band rasio, Lyzenga, Stumpf, RMSE.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF SENTINEL-2A IMAGERY FOR BATHYMETRIC SHALLOW WATER MAPPING OF LAMPUNG BAY

By

Desmi Purnama Sari

Bathymetry was used to mapping of the sea floor condition. The recent data of sea floor condition that more accurate needed to support human activity such as for shipping transportation and off-shore platform. To mapping sea floor conditions using hydro acoustics with single/multi beam echosounder was ineffective and more expensive, especially in remote areas or shallow waters. This study aimed to determine the depth of shallow waters used sentinel-2A imagery. This study was conducted in Lampung bay. The methods used were single band and ratio band method. The single band method used Lyzenga algorithm, while the ratio band method used Stumpf algorithm. Preprocessing of Sentinel-2A imagery started with atmospheric correction using dark object subtraction method. The depth value obtained from connecting between reflectance of combination every single band with the depth of national bathymetry datas, for single band method. While for ratio band method was obtained from the best correlation between comparison band with depth value of national bathymetry datas. The result of this research obtained equation of regression $Z = 405,9457 + 152,0163(X1) + 115,0162(X2) + 68,6102(X3)$, with coefficient of regression is 0,947 for a single band method. The best result of ratio band method obtained from comparison between band 2 (blue) and band 3 (green) with coefficient regression is 0,964. The best correlation for both method determined by reflectance value of band 2 (blue). This is caused by the capability of blue light that could penetrate better than other light. The accuracy of both methods was analyzed using RMSE method, gave the best result at 15-20 m in depth. Otherwise, the RMSE value of the ratio band method was smaller than the single band method. This result showed that the ratio band method was better than single band method.

Keywords: Bathymetry, single band, ratio band, Lyzenga, Stumpf, RMSE.

**ANALISIS CITRA SENTINEL-2A UNTUK PEMETAAN BATIMETRI
LAUT DANGKAL PERAIRAN TELUK LAMPUNG**

Oleh

Desmi Purnama Sari

(Skripsi)

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

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : Analisis Citra Sentinel-2a untuk Pemetaan Batimetri Laut Dangkal Perairan Teluk Lampung

Nama Mahasiswa : Desmi Purnama Sari

NPM : 1814221031

Program Studi : Ilmu Kelautan

Jurusan : Perikanan dan Kelautan

Fakultas : Pertanian



Pembimbing I

Pembimbing II

Eko Efendi, S.T., M.Si.
NIP 19780329 200312 1 001

Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP 19900120 201903 1 011

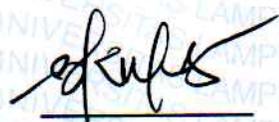
2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP 19700815 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

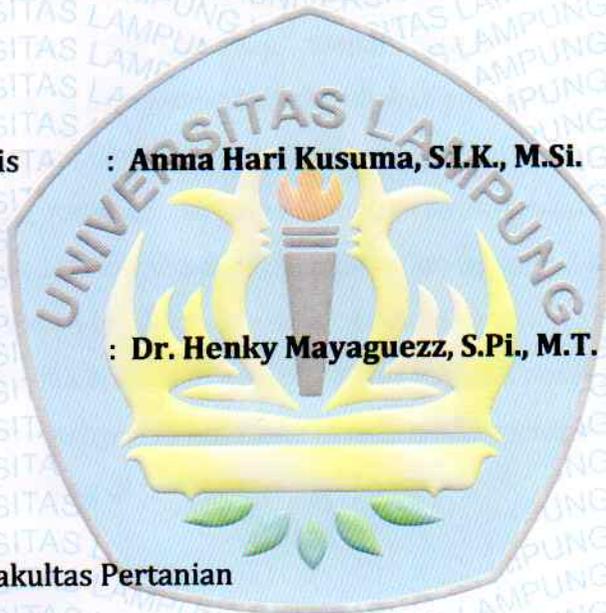
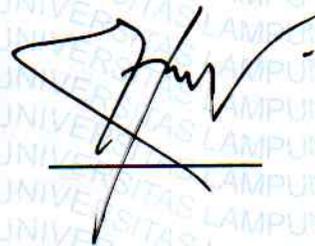
Ketua : Eko Efendi, S.T., M.Si.



Sekretaris : Anna Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



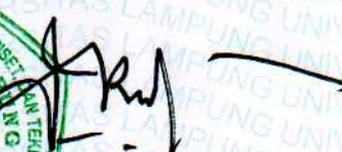
Anggota : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Oktober 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan dalam skripsi dengan judul “Analisis Citra Sentinel-2a untuk Pemetaan Batimetri Laut Dangkal Perairan Teluk Lampung” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 31 Januari 2023
Yang membuat pernyataan,



Desmi Purnama Sari

RIWAYAT HIDUP



Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Apriyal dan Ibu Asiah yang lahir pada tanggal 24 September 1999 di Negeri Agung, Kecamatan Bandar Negeri Semuong, Tanggamus. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Bantargebang 3 pada tahun (2006-2012), melanjutkan ke tingkat SMP di SMPN 10 Bekasi tahun (2012-2015), kemudian SMA di SMAN 15 Bekasi (2015-2018), kemudian pada tahun 2018 penulis diterima di Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Perikanan dan Kelautan melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Perikanan dan Kelautan Unila, penulis telah mengikuti beberapa organisasi, di antaranya Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) sebagai anggota pengurus pada periode 2019-2020. Pada tahun 2020 penulis mengikuti program pertukaran mahasiswa kampus merdeka di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Universitas Massamus selama 6 bulan. Pada tahun 2021 penulis mengikuti program pertukaran mahasiswa wilayah barat di Universitas Raja Ali Haji selama 6 bulan. Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Jaya Sridadi, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus. Pada Juli sampai Agustus 2021 melaksanakan Praktik Umum selama satu bulan di BPPT dengan judul laporan “Pemetaan Batimetri di Teluk Lampung Menggunakan Citra Sentinel-2A”.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap bismillahirrohmanirrohim kupersembahkan karya sederhana ku sebagai tanda baktiku kepada:

Kedua orang tuaku tercinta

Apriyal

Asiah

yang telah membesarkanku, menyayangiku dan membimbingku serta selalu memberikan semangat, selalu mendoakan dalam setiap langkah anak sulungnya demi kebahagiaanku. Berkat dukungan serta doa tiada hentinya, dan selalu berjuang memberikan yang terbaik kepada anak-anaknya,

Adik kandungku tersayang,

Amelia

Rezki Alamsyah

Terima kasih selalu menjadi saudara terbaik yang mendukung dan menjadi penyemangatku.

Almamaterku tercinta Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Perikanan dan Kelautan Universitas Lampung

MOTO

“Ingatlah, hanya dengan mengingat Allah hati menjadi tenang”

(QS. Ar-Rad ayat 28)

“Keep your eyes on the stars and your feet on the ground”

(Theodore Rosevelt)

“You never fail until you stop trying.”

(Albert Einstein)

“Orang lain mungkin bisa membuat bahagiamu meluap-luap, tapi sedih harusnya bisa kamu tanggung sendiri”

(WS)

SANWACANA

Syukur Alhamdulillah berkat rahmat dan hidayah Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Analisis Citra Sentinel-2A untuk Pemetaan Batimetri Laut Dangkal Perairan Teluk Lampung”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Lampung. Berkat bimbingan, saran, motivasi dan bantuan baik moral maupun spiritual serta arahan dari berbagai pihak sehingga segala kesulitan dapat terlewati dengan baik. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S. Pi., M. Si, sebagai Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. sebagai Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Eko Efendi, S. T., M.Si. sebagai Pembimbing Akademik dan sebagai Pembimbing I.
5. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si. sebagai Pembimbing II.
6. Keluargaku Bapak Apriyal, Ibu Asiah, Amelia, dan Rezki Alamsyah atas ketulusan, keikhlasan, kasih sayang dan kesabaran yang diberikan kepadaku, terima kasih telah merawatku dengan penuh keikhlasan dan selalu memberikan motivasi serta doa-doa yang tidak akan pernah terbayarkan.
7. Teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan angkatan 2018 yang selalu memberi senyuman sebagai penyemangat.

8. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Semoga ketulusan bapak, ibu, serta rekan-rekan mendapatkan pahala dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan penyajiannya. Akhirnya penulis berharap semoga dengan kesederhanaannya skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, Januari 2023

Desmi Purnama Sari
1814221031

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat.....	2
1.4 Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Batimetri	5
2.2 Batimetri Teluk Lampung	6
2.3 Penginderaan jauh	7
2.4 Penginderaan Jauh untuk Batimetri.....	11
2.5 Metode <i>band</i> Tunggal dan <i>band</i> Rasio.....	12
2.6 Satelit Sentinel-2	13
III. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Lokasi.....	15
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Metode Pengumpulan Data	16
3.4 Pengolahan Data.....	17
3.4.1 Pengolahan data Batimetri nasional	18
3.4.2 Pengolahan data Citra	21
3.4.3 Pengolahan Data Pemeruman	23
3.7 Analisis Data	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Pemetaan Batimetri dengan Metode <i>Band</i> Tunggal.....	27
4.2 Pemetaan Batimetri dengan Metode <i>Band</i> Rasio	30
4.3 Uji Akurasi	33
V. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik Citra Sentinel-2	14
2. Alat dan bahan yang digunakan	16

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir kerangka pemikiran.....	4
2. Komponen penginderaan jauh.....	8
3. Sistem sensor penginderaan jauh.....	9
4. Interaksi gelombang elektromagnetik terhadap berbagai objek.....	10
5. Peta Lokasi penelitian Teluk Lampung.....	15
6. Diagram alir tahapan penelitian.....	18
7. Peta perairan Teluk Lampung yang diperoleh dari data batimetri nasional	19
8. Peta titik pengambilan contoh kedalaman perairan Teluk Lampung.....	20
9. Peta jalur pemeruman batimetri perairan Pulau Tangkil.....	25
10. Hubungan nilai reflektansi dari (a) <i>band</i> biru, (b) <i>band</i> hijau, (c) <i>band</i> merah dengan kedalaman perairan.....	28
11. Peta batimetri Teluk Lampung hasil estimasi <i>band</i> tunggal.....	29
12. Hubungan nilai reflektansi rasio (a) <i>band</i> biru/ <i>band</i> hijau, (b) <i>band</i> biru/ <i>band</i> merah, (c) <i>band</i> hijau/ <i>band</i> merah dengan kedalaman perairan.....	31
13. Peta batimetri Teluk Lampung hasil estimasi <i>band</i> rasio.....	32
14. Perbandingan nilai kedalaman hasil pemeruman dengan metode <i>band</i> tunggal dan <i>band</i> rasio pada (a) kedalaman 0-5 m, (b) kedalaman 5-10m, (c) kedalaman 10-15 m, dan (d) kedalaman 15-20 m.....	33
15. Peta kedalaman Pulau Tangkil hasil pemeruman.....	34
16. Peta kedalaman Pulau Tangkil dari perhitungan menggunakan <i>band</i> tunggal.....	35
17. Peta kedalaman Pulau Tangkil hasil dari perhitungan menggunakan <i>band</i> rasio.....	36
18. Peta kedalaman perairan Pulau Balak metode <i>band</i> tunggal.....	52

19.	Peta kedalaman perairan Pulau Balak metode <i>band</i> rasio.....	53
20.	Peta kedalaman perairan Pulau Condong Darat metode <i>band</i> tunggal...	54
21.	Peta kedalaman perairan Pulau Condong Darat metode <i>band</i> rasio.....	55
22.	Peta kedalaman perairan Condong Laut metode <i>band</i> tunggal.....	56
23.	Peta kedalaman perairan Pulau Condong Laut metode <i>band</i> rasio.....	57
24.	Peta kedalaman perairan Pulau Helok metode <i>band</i> tunggal.....	58
25.	Peta kedalaman perairan Pulau Helok metode <i>band</i> rasio.....	59
26.	Peta kedalaman perairan Pulau Kubur metode <i>band</i> tunggal.....	60
27.	Peta kedalaman perairan Pulau Kubur metode <i>band</i> rasio.....	61
28.	Peta kedalaman perairan Pulau Lelangga metode <i>band</i> tunggal.....	62
29.	Peta kedalaman perairan Pulau Lelangga metode <i>band</i> rasio.....	63
30.	Peta kedalaman perairan Pulau Maitem metode <i>band</i> tunggal.....	64
31.	Peta kedalaman perairan Pulau Maitem metode <i>band</i> rasio.....	65
32.	Peta kedalaman perairan Pulau Pasaran metode <i>band</i> tunggal.....	66
33.	Peta kedalaman perairan Pulau Pasaran metode <i>band</i> rasio.....	67
34.	Peta kedalaman perairan Pulau Sulah metode <i>band</i> tunggal.....	68
35.	Peta kedalaman perairan Pulau Sulah metode <i>band</i> rasio.....	69
36.	Peta kedalaman perairan Pulau Tangkil metode <i>band</i> tunggal.....	70
37.	Peta kedalaman perairan Pulau Tangkil metode <i>band</i> rasio.....	71
38.	Peta kedalaman perairan Pulau Tegal metode <i>band</i> tunggal.....	72
39.	Peta kedalaman perairan Pulau Tegal metode <i>band</i> rasio.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta kedalaman perairan pada pulau-pulau yang berada di perairan Teluk Lampung menggunakan metode <i>band</i> tunggal dan <i>band</i> rasio	52
2. Tabel data kedalaman hasil pemeruman, hasil estimasi citra, dan data kedalaman batimetri nasional	74

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teluk Lampung merupakan salah satu dari dua teluk yang berada di ujung paling selatan dari Pulau Sumatera. Teluk Lampung berhadapan langsung dengan Selat Sunda yang menjadi perairan penghubung antara Laut Jawa di sebelah utara dan Samudera Hindia di selatan. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Lampung (2018), Teluk Lampung memiliki luas wilayah sekitar 161.178 ha. Perairan dangkal dengan kedalaman 0-20 m memiliki luas 37.797 ha dengan presentasi sebesar 23,45%. 80.262 ha dari Teluk Lampung merupakan daerah penangkapan ikan (*fishing ground*).

Wilayah Teluk Lampung merupakan wilayah yang banyak dimanfaatkan untuk pelayaran, pariwisata, dan perikanan. Pemanfaatan-pemanfaatan tersebut memerlukan informasi tentang kedalaman perairan/batimetri. Ketersediaan data batimetri perairan Teluk Lampung saat ini bersumber dari peta Pushidrosal (Pusat Hidro-Oceanografi Angkatan Laut) dan BIG (Badan Informasi Geospasial). Kedua instansi tersebut menyediakan peta batimetri, namun terdapat keterbatasan pada perairan dangkal.

Untuk mendapatkan informasi kedalaman perairan dangkal telah banyak dilakukan penelitian, salah satunya memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Penelitian tentang pemanfaatan teknik penginderaan jauh untuk pemetaan batimetri, diantaranya Jagalingam (2015) yang menyatakan bahwa metode *band* rasio mampu mengestimasi kedalaman hingga kedalaman 20 m. Selanjutnya, Subarno (2015) menyatakan bahwa kedalaman maksimum yang dapat diestimasi dengan baik dari

citra WorldView-2 menggunakan algoritma rasio *band* adalah 13 m. Hasil analisis Bobsaid (2017) dari data citra Landsat 8 memiliki rentang estimasi kedalaman absolut yang lebih baik dibandingkan dengan hasil yang didapat dari citra Sentinel-2, namun kedua citra tidak berhasil mengestimasi kedalaman absolut lebih dari 13 m. Anida (2020), menyatakan bahwa model empiris batimetri terbaik yaitu rasio *band* biru dan *band* hijau. Selanjutnya, Aji (2021) menyatakan bahwa algoritma Lyzenga memiliki ketelitian pada kedalaman dari 1–20 m sebesar 1,888 m, sedangkan algoritma Stumpf memiliki ketelitian pemetaan kedalaman dari 1–20 m sebesar 2,093 m. Abdallah *et al.* (2013) & Yeu *et al.* (2018), menyatakan bahwa akurasi pengukuran batimetri menggunakan LiDAR mencapai sekitar 2 cm, namun memiliki kelemahan dari sisi biaya dan ketersediaan teknologi yang terbatas.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut, metode yang responentif untuk memetakan batimetri adalah metode *band* tunggal dan *band* rasio. Kedua metode tersebut dipilih sebagai bahan pertimbangan untuk mengetahui dari kedua metode tersebut metode mana yang mampu memetakan batimetri lebih baik pada perairan dangkal. Oleh karena itu, metode tersebut digunakan untuk memetakan kedalaman perairan Teluk Lampung. Citra yang digunakan adalah citra Sentinel-2A karena memiliki resolusi spasial yang paling baik di antara citra satelit resolusi menengah lainnya.

1.2 Tujuan Penelitian

- a. Menganalisis citra Sentinel-2A untuk memetakan perairan dangkal.
- b. Menganalisis metode *band* tunggal dengan *band* rasio dalam perolehan nilai kedalaman perairan dangkal.

1.3 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk pengembangan ilmu kelautan dalam hal metode atau teknik penggunaan citra satelit multispektral resolusi menengah seperti Sentinel-2A. Penelitian ini juga berguna untuk dijadikan

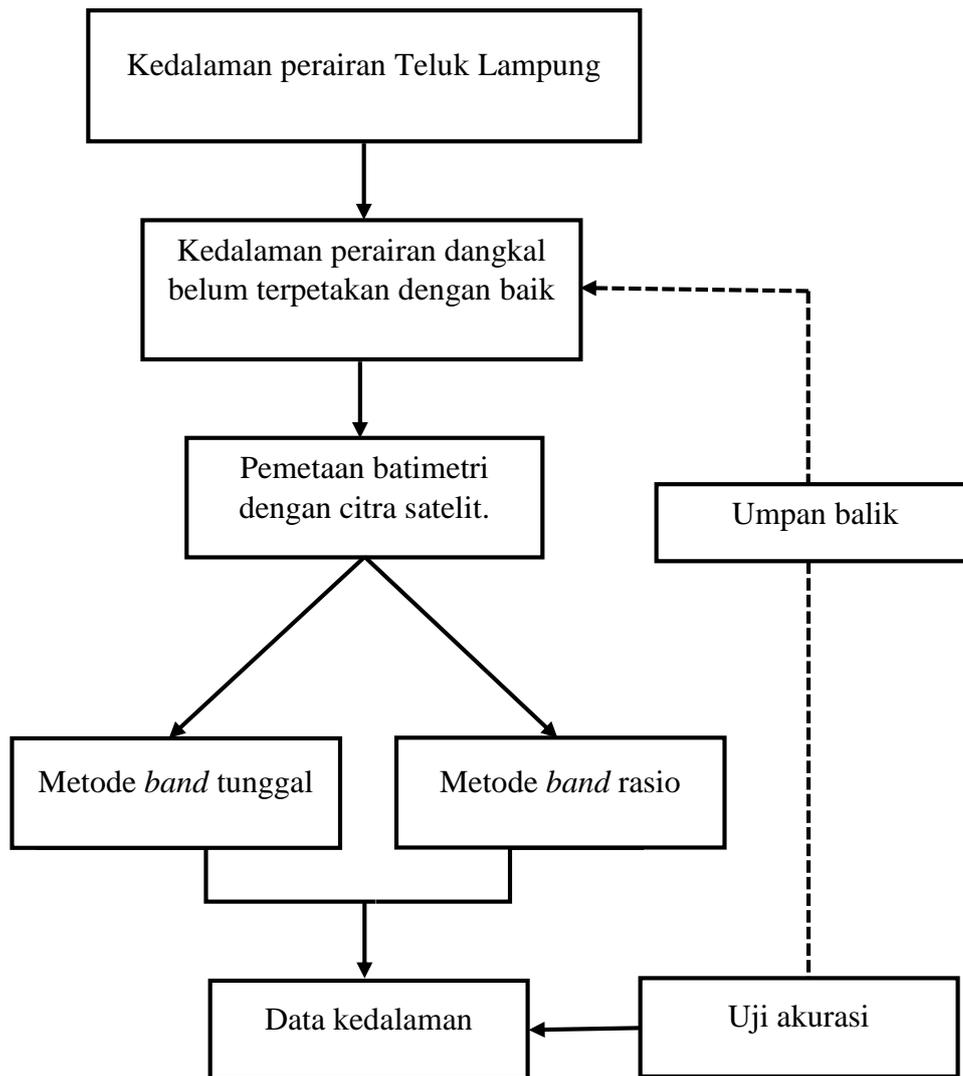
referensi dalam mengestimasi kedalaman perairan dangkal di pulau-pulau kecil yang sulit dijangkau untuk aplikasi rekayasa kelautan dan perikanan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Teluk Lampung memiliki banyak perairan disekitar pulau-pulau kecil yang kedalamannya belum terpetakan dengan baik. Pemetaan batimetri dengan metode pemeruman belum dilakukan pada perairan di sekitar pulau-pulau kecil di Teluk Lampung karena kondisi perairannya dangkal. Selain itu, untuk melakukan pemeruman batimetri memerlukan waktu yang cukup lama dan biaya yang relatif lebih mahal sehingga dianggap tidak efisien.

Pemetaan batimetri dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Teknik penginderaan jauh dipilih karena memiliki banyak kelebihan, diantaranya cakupan wilayahnya yang luas, data yang tersedia selalu dilakukan pembaruan, dan tidak perlu mengeluarkan biaya yang mahal sehingga lebih fleksibel dan efisien. Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Sentinel-2A.

Citra Sentinel kemudian dianalisis menggunakan metode *band* tunggal dan *band* rasio. Untuk mendapatkan nilai kedalaman perairan analisis dilakukan dengan menggunakan nilai reflektansi terhadap kedalaman yang diperoleh dari data batimetri nasional. Hasil analisis kemudian dipetakan menjadi peta batimetri. Hasil analisis di uji tingkat akurasi menggunakan data hasil pemeruman. Hasil uji akurasi akan memberikan informasi peta kedalaman Teluk Lampung hasil analisis citra. Secara ringkas, kerangka pemikiran disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir kerangka pemikiran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batimetri

Batimetri adalah ilmu yang mempelajari pengukuran kedalaman lautan atau badan air lainnya (Heryoso, 1996), serta mempelajari terkait kondisi di bawah permukaan air (Becker *et al.*, 2009). Batimetri adalah salah satu teknik yang digunakan dalam penentuan kedalaman atau profil dasar laut yang didapatkan dari analisis data kedalaman yang dihasilkan dari aktivitas penyelaman ilmiah, pemeruman, maupun pengelolaan pesisir secara terpadu (Prananda *et al.*, 2018). Peta batimetri adalah peta yang diperoleh dari kedalaman suatu perairan. Data dan peta batimetri merupakan data penting serta dibutuhkan untuk pengelolaan lautan dan pengembangan wilayah pesisir secara terpadu.

Peta batimetri memiliki manfaat dalam bidang kelautan dan perikanan, untuk bidang kelautan antara lain penentuan jalur pelayaran yang aman, perencanaan bangunan pinggir pantai, pendeteksi potensi bencana tsunami, dan mengetahui kondisi morfologi suatu perairan. Peta batimetri untuk bidang perikanan dibutuhkan dalam menentukan lokasi potensi untuk perikanan laut (Arief *et al.*, 2013). Selain itu, pemetaan batimetri memiliki manfaat untuk banyak hal, sebagai contoh bisa membantu penentuan lokasi peletakkan *fish apartment* dengan mengukur kedalaman perairan. Pemetaan batimetri sangat penting bagi wilayah pesisir dalam memberi informasi kedalaman untuk pembangunan ataupun aspek penelitian (Andik *et al.*, 2020).

Teknologi pemetaan batimetri terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu. Batimetri pertama kali diukur memakai tali namun hasilnya hampir selalu

kurang akurat. Metode ini dipengaruhi oleh arus air di bawah permukaan yang dapat menarik tali dan pemberat sebelum menyentuh dasar perairan sehingga kedalaman yang didapatkan seringkali tidak tepat (Suwargana, 2017). Pada saat menurunkan tali ke dasar perairan memakan waktu yang cukup lama hingga pemberat menyentuh dasar perairan, dan saat menaikkan pemberat kembali membutuhkan tenaga yang ekstra sehingga dianggap kurang efisien.

Teknik pengukuran mengalami perkembangan dengan ditemukannya *echosounder*. Metode ini menggunakan prinsip perambatan suara pada dalam air. Metode ini bekerja dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan dari *transducer*. *Transducer* memancarkan gelombang suara yang kemudian dipantulkan dan diterima kembali oleh *receiver*. Metode ini sulit dilakukan di perairan dangkal karena pada kondisi kedalaman sangat dangkal akan mengakibatkan kapal yang membawa peralatan akan kandas. Pengukuran menggunakan metode ini juga memerlukan biaya yang besar dan waktu yang lama sesuai dengan luasan area survei (Akhrianti *et al.*, 2020).

Pemetaan batimetri menggunakan sistem penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi alternatif yang sering digunakan dalam memperoleh informasi batimetri (Akhrianti, 2018). Pemetaan batimetri menggunakan sistem penginderaan jauh adalah metode yang paling mudah dilakukan untuk memperoleh informasi kedalaman suatu perairan dengan data yang selalu terbaru sehingga efektif dan efisien terutama untuk daerah–daerah yang memiliki tingkat perubahan kedalaman secara cepat, contohnya pada daerah pelabuhan.

2.2 Batimetri Teluk Lampung

Teluk Lampung merupakan perairan dangkal dengan kedalaman rata-rata 25 m. Bagian selatan atau mulut teluk kedalaman rata-rata berkisar pada 35 m dengan kedalaman maksimum 75 m di sekitar Selat Legundi yang terletak di sebelah barat laut mulut teluk. Bagian utara yaitu menuju Teluk Betung kedalaman perairan semakin dangkal hingga *isobath* 5 m pada jarak yang relatif dekat dengan garis pantai (Pushidrosal TNI AL, 2015). Secara umum, ada perbedaan kenampakan fisik

yang sangat menonjol antara pantai barat serta pantai timur Teluk Lampung. Pantai barat memiliki garis pantai relatif lebih berkelok-kelok dengan beberapa teluk kecil di antaranya adalah Teluk Ratai, Teluk Punduh, dan Teluk Pedada. Sepanjang pantai bagian barat lebih banyak dijumpai gugusan pulau-pulau kecil. Pantai bagian barat juga relatif lebih landai dibandingkan dengan pantai timur Teluk Lampung.

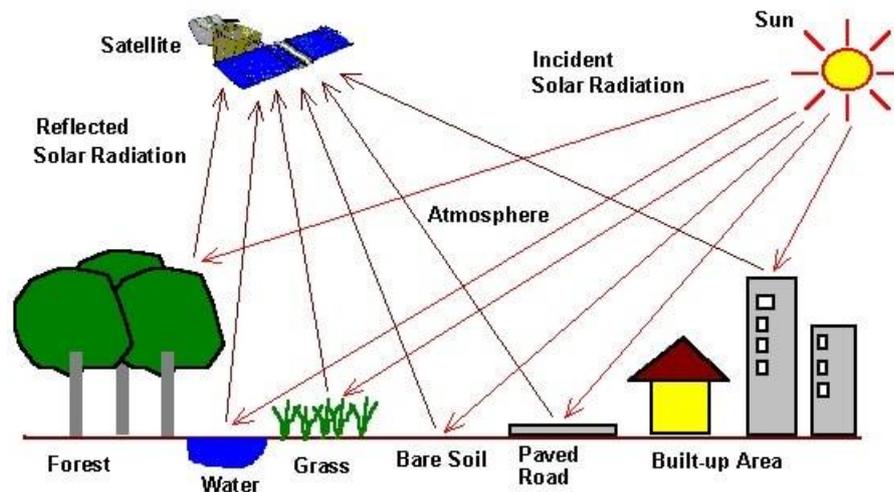
Dasar laut pada sisi utara Teluk Lampung cukup landai karena memiliki kedalaman 5 sampai 20 m. Namun, semakin ke arah selatan, kedalaman dasar laut semakin curam. Pada daerah Tanjung Tua dan arah selatan Pulau Legundi, dasar laut memiliki kedalaman hingga mencapai 100 m pada jarak kurang lebih 1 km dari pantai. Pada sisi timur teluk, yaitu di wilayah perairan Kabupaten Lampung Selatan termasuk ke dalam kategori landai, dengan kedalaman terdalam kurang lebih 40 m.

2.3 Penginderaan jauh

Penginderaan jauh adalah suatu teknik untuk mengumpulkan informasi mengenai objek dan lingkungannya dari jarak jauh tanpa sentuhan fisik (Handayani, 2003). Tujuan utama penginderaan jauh adalah mengumpulkan data sumber daya alam serta lingkungannya. Informasi mengenai objek disampaikan ke pengamat melalui energi elektromagnetik yang merupakan pembawa informasi dan sebagai penghubung komunikasi. Data penginderaan jauh pada dasarnya merupakan informasi intensitas panjang gelombang yang perlu dikodefikasi sebelum informasi tersebut bisa dipahami secara penuh. Proses kodefikasi ini merupakan interpretasi citra penginderaan jauh yang sangat sesuai dengan pengetahuan kita tentang sifat-sifat radiasi elektromagnetik.

Hadi (2019) menyatakan bahwa penginderaan jauh terdiri dari 5 komponen, yaitu sumber tenaga, objek, sensor, detektor, dan wahana. Sumber tenaga yang digunakan dalam penginderaan jauh yaitu tenaga alami dan tenaga buatan. Objek penginderaan jauh adalah semua benda yang ada di permukaan bumi, seperti tanah, gunung, air, vegetasi, dan hasil budi daya manusia, kota, lahan pertanian, hutan atau

benda-benda yang di angkasa seperti awan. Sensor adalah alat yang digunakan untuk menerima tenaga pantulan maupun pancaran radiasi elektromagnetik. Wahana adalah sarana untuk menyimpan sensor, seperti pesawat terbang, satelit dan pesawat ulang-alik. Komponen penginderaan jauh dapat dilihat pada Gambar 2.



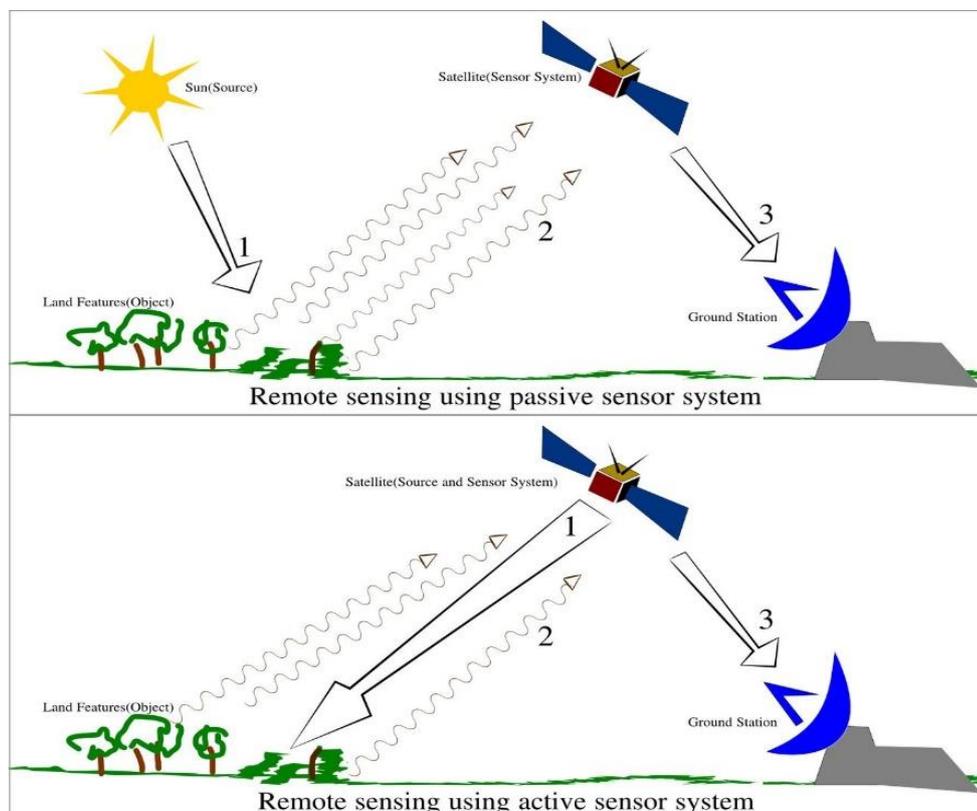
Gambar 2. Komponen penginderaan jauh.
Sumber: Hadi (2019)

Tenaga dalam penginderaan jauh yaitu sumber pencahayaan dalam menerangi objek. Sumber tenaga yang utama dalam penginderaan jauh adalah radiasi sinar matahari sebagai tenaga alami (Sari, 2014). Jika perekaman tersebut dilakukan pada malam hari maka dibuat tenaga buatan berupa tenaga elektromagnetik. Proses perekaman obyek melalui pancaran tenaga buatan ini disebut sistem aktif. Tenaga matahari yang mencapai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh banyak hal, antara lain waktu, lokasi dan kondisi cuaca. Jumlah tenaga yang diterima pada siang hari akan berbeda dengan jumlah tenaga yang diterima pada pagi hari. Kedudukan matahari terhadap tempat dipermukaan bumi berubah sesuai dengan perubahan musim. Di samping itu, jumlah tenaga yang diterima juga dipengaruhi oleh letak di permukaan bumi.

Objek merupakan bagian dari komponen penginderaan jauh. Objek adalah segala sesuatu yang menjadi sasaran dalam penginderaan jauh, antara lain atmosfer, biosfer, hidrosfer, dan litosfer. Interaksi antara tenaga dan objek terlihat pada rona yang dihasilkan. Objek dalam penginderaan jauh yaitu berupa data geospasial

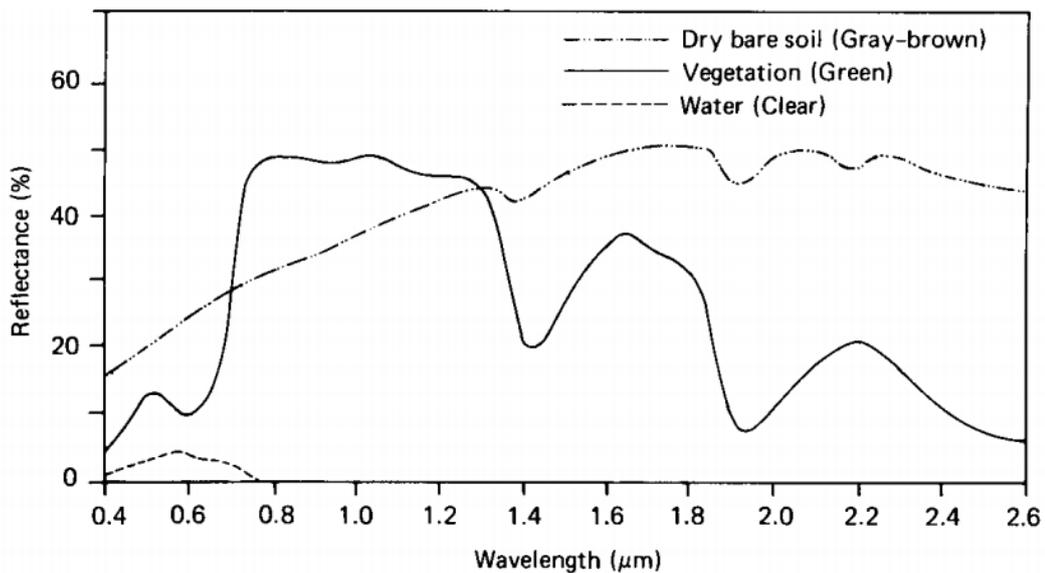
(objek fisik dan sosial). Objek fisik dapat berupa hutan, gunung, sungai, danau. Objek sosial merupakan hasil karya manusia seperti jalan raya, jembatan, gedung, permukiman. Setiap objek memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam memantulkan dan memancarkan tenaga. Objek yang banyak memancarkan tenaga akan tampak cerah pada citra, sedangkan objek yang pantulannya sedikit akan tampak gelap (Sari, 2019).

Lwin (2008) menyatakan bahwa berdasarkan sumber energinya, penginderaan jauh dibagi menjadi 2, yaitu sensor pasif dan aktif. Sumber energi yang utama dalam pengindraan jauh adalah energi matahari. Sensor pasif adalah alat yang digunakan untuk mengukur ketersediaan energi alam, dimana alat ini akan berfungsi ketika matahari menyinari bumi. Sensor aktif adalah alat yang memiliki sumber energi tersendiri untuk memancarkan energi. Sumber energi sensor aktif adalah *synthetic aperture radar (SAR)*. Prinsip kerja sensor pasif dan sensor aktif dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem sensor penginderaan jauh.
Sumber: Lwin, (2008).

Tenaga elektromagnetik pada penginderaan jauh sistem pasif dan sistem aktif untuk sampai di alat sensor dipengaruhi oleh kondisi atmosfer. Kondisi atmosfer memengaruhi tenaga elektromagnetik yaitu bersifat selektif terhadap panjang gelombang, karena itu timbul istilah jendela atmosfer, yaitu bagian spektrum elektromagnetik yang dapat mencapai bumi. Jendela atmosfer yang sering digunakan dalam penginderaan jauh ialah spektrum tampak yang memiliki panjang gelombang 0,4 μm hingga 0,7 μm (Projo, 2012). Atmosfer bersifat selektif terhadap panjang gelombang karena spektrum elektromagnetik merupakan spektrum yang sangat luas, namun hanya sebagian kecil yang dapat digunakan dalam penginderaan jauh. Hal ini karena sebagian gelombang elektromagnetik mengalami hambatan, yang disebabkan oleh butir-butir yang ada di atmosfer seperti debu, uap air, dan gas. Proses penghambatannya terjadi dalam bentuk serapan, pantulan dan hamburan (Kurniawan, 2022). Interaksi gelombang elektromagnetik terhadap berbagai objek dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Interaksi gelombang elektromagnetik terhadap berbagai objek.
Sumber: Lillesand *et al.*, (2004)

Perekaman objek permukaan bumi dalam penginderaan jauh harus dilakukan di angkasa maupun di luar angkasa, maka diperlukan wahana untuk menyimpan alat perekam. Hasil yang diperoleh penginderaan jauh dipengaruhi oleh kerincian objek, sehingga diperlukan wahana yang mampu pada ketinggian yang berbeda, selain harus ditunjang alat perekam yang mempunyai resolusi kecil (Hartoko, 2010).

Wahana yang digunakan untuk penginderaan jauh di antaranya; balon udara, pesawat terbang, roket, pesawat ulang alik, dan satelit. Khusus wahana yang menggunakan pesawat terbang, maka tingkat kerincian objek dapat ditingkatkan, karena dapat digunakan secara multi tingkat (pada ketinggian yang berbeda). Wahana selain pesawat, seperti satelit, ketinggian wahana sudah ditentukan sebelumnya, sehingga tingkat kerincian objek bergantung pada kemampuan piksel dan kemampuan lensa dalam merekam objek terkecil (Lillesand, 2004).

2.4 Penginderaan Jauh untuk Batimetri

Pemetaan batimetri menggunakan teknologi penginderaan jauh sudah dimulai sejak perang dunia kedua ketika teknik fotogramtrik yang memakai foto udara untuk mengukur kedalaman dekat pantai di Pasifik (George, 1997). Teknik penginderaan jauh juga termasuk pengukuran LiDAR (*Light distance and ranging*) dan penginderaan jauh optik untuk pemetaan batimetri. Lyon *et al.* (1992) dan Guenther *et al.* (1996) menunjukkan metode yang lebih fleksibel, efisien serta hemat biaya dan cakupan wilayah yang lebih luas.

Aplikasi teknologi penginderaan jauh dalam pemetaan batimetri, saat ini menggunakan metode algoritma baru yaitu SDB (*satellite derived bathymetry*) yang merupakan teknik penginderaan jauh multispektral dengan cara mengidentifikasi nilai kedalaman dengan membandingkan rasio antara *band* hijau dan *band* biru. Pengukuran batimetri dari citra multispektral salah satunya menggunakan metode Stumpf. Prinsip algoritma Stumpf ini adalah mempertimbangkan faktor atenuasi kolom air yang akan melemahkan energi cahaya ketika masuk ke kolom air tersebut (Stumpf *et al.*, 2003; Lyzenga 2006; Hogfe *et al.*, 2008; Bachmann *et al.*, 2012; Bramante *et al.*, 2013; & Pe'eri *et al.*, 2014).

Louchard *et al.* (2003) telah melakukan klasifikasi jenis dasar (*bottom type*) serta kedalaman perairan dengan menggunakan perhitungan fungsi transfer radiasi (*radiative transfer calculations*). Lafon *et al.* (2002) dan Liceaga (2002) sudah melakukan penggabungan data pengukuran lapangan dengan *remote sensing imagery*. Sementara itu, Arief (2012) menggunakan fungsi empiris hubungan

yang diperoleh dengan cara mengkorelasikan titik-titik kedalaman pada peta Dis-hidros (Angkatan Laut Republik Indonesia) menggunakan nilai reflektansi asal *band-1* dari citra SPOT-4.

Keakuratan informasi yang dideteksi dengan sensor yang dipasang di satelit dipengaruhi kondisi atmosfer dan kondisi perairan yang diliput. Agar pemetaan kedalaman dengan penginderaan jauh mendekati nilai kedalaman yang sesungguhnya diperlukan kondisi perairan yang dangkal dan jernih. Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, sensor sinar tampak hanya dapat menjangkau sampai kedalaman 30 m pada perairan yang jernih. Fitoplankton, muatan padatan tersuspensi, *yellow substance* yang berada di kolom perairan, maupun substrat dasar yang berbeda, akan memberikan nilai pemantulan berbeda yang tentunya akan memberikan estimasi kedalaman yang berbeda dengan nilai kedalaman yang seharusnya (Wahyuningrum, 2007).

2.5 Metode *band* Tunggal dan *band* Rasio

Metode *band* tunggal dilakukan dengan menggunakan nilai reflektansi tiap *band* dan dianalisis menggunakan pemodelan empiris batimetri. Metode *band* tunggal ini telah mempertimbangkan pelemahan energi di kolom air, semakin bertambahnya kedalaman maka energi berkurang dan panjang gelombang menjadi lebih panjang (Bukata *et al.*, 1995 & Goodman *et al.*, 2013). Ketika menggunakan metode *band* tunggal ini, penting untuk mempertimbangkan variasi kedalaman area studi, pemilihan *band*, dan karakteristik pelemahan kolom air.

Citra satelit merekam pantulan spektrum sinar matahari kemudian diproses dan terbagi kedalam beberapa *band*. Spektrum sinar tersebut berupa nilai spektral dari tiap *band* dalam *pixel-pixel*. Perbedaan nilai spektral pada tiap piksel dalam *band* digunakan untuk menentukan nilai kedalaman. *Band* yang paling efektif dalam pemodelan batimetri dipengaruhi oleh cepat atau lambat energi akan tenggelam ke dasar air. Jika terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai piksel karena perbedaan kedalaman, maka dapat dilakukan pemodelan batimetri. Model empiris eksponensial *band* tunggal dibandingkan dengan model empiris *band* tunggal hasil

log-transformed untuk mengetahui hubungan spektral refleksi dan kedalaman air yang berpengaruh terhadap akurasi pemodelan batimetri (Wicaksono, 2015). Pemodelan ini kemudian dikenal dengan model algoritma Lyzenga.

Permasalahan utama dalam persamaan Lyzenga (1978) adalah variabel kedalaman tidak memperhitungkan variasi tutupan sedimen. Informasi kedalaman dalam persamaan tidak tergantung pada variabel lain (Stumpf *et al.*, 2003; Hogrefe 2005; & Wicaksono, 2010). Rasio *band* asli dengan *band* hasil yang diubah secara logaritmik, pada persamaan tersebut independen terhadap variabel lainnya. Pemanfaatan pantulan spektral, perbedaan pantulan spektral akibat variasi tutupan dasar perairan akan menjadi masalah. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu menggunakan *band* rasio (Hogrefe 2005; Stumpf *et al.*, 2003; & Wicaksono, 2010).

2.6 Satelit Sentinel-2

Sentinel-2 terdiri dari dua satelit yaitu Sentinel-2A dan Sentinel-2B yang mengorbit kutub pada orbit *sun-synchronous* pada ketinggian 786 km. Dua satelit identik tersebut berjarak 180 derajat satu sama lain. Satelit tersebut merupakan satelit resolusi menengah dengan resolusi temporal 10 hari untuk satu satelit atau 5 hari dengan dua satelit. Satelit ini dapat digunakan untuk pengamatan operasional seperti peta tutupan lahan, peta deteksi perubahan lahan dan variabel geofisika. Luas cakupan dari Sentinel-2 sebesar 290 km. Data Sentinel-2 merupakan data Level-1C. Produk tersebut telah diproyeksikan ortho UTM/WGS84. Produk ini menggunakan *digital elevation model* (DEM) yang diproyeksikan pada koordinat kartografi (ESA, 2015). Data Sentinel-2 terdiri dari 13 *band* spektral dengan rincian yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Citra Sentinel-2

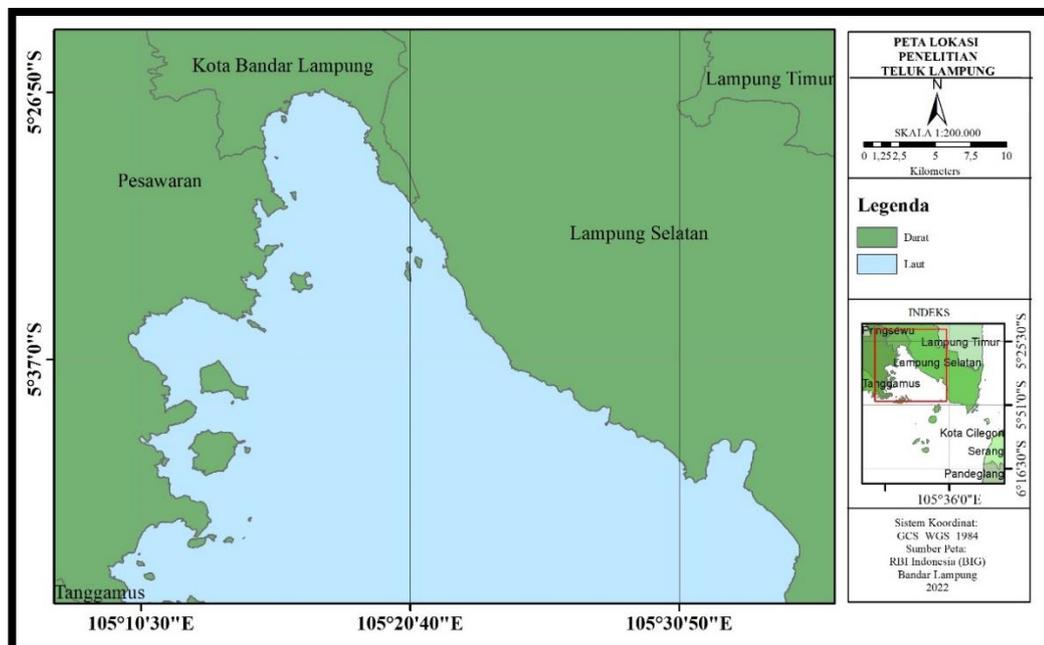
<i>Band</i>	Panjang Gelombang(μm)	Resolusi Spasial (m)
<i>Band 1 – Coastal aerosol</i>	0,443	60
<i>Band 2 – Blue</i>	0,490	10
<i>Band 3 – Green</i>	0,560	10
<i>Band 4 – Red</i>	0,665	10
<i>Band 5 – Vegetation Red</i>	0,705	20
<i>Band 6 – Vegetation Red</i>	0,740	20
<i>Band 7 – Vegetation Red</i>	0,783	20
<i>Band 8 – NIR</i>	0,842	10
<i>Band 8A – Vegetation Red</i>	0,865	20
<i>Band 9 – Water Vapour</i>	0,945	60
<i>Band 10 – SWIR – Cirrus</i>	1,375	60
<i>Band 11 – SWIR</i>	1,610	20
<i>Band 12 – SWIR</i>	2,190	20

Sumber: Drusch *et al.*, (2012)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei-Agustus 2022. Daerah kajian pada penelitian ini adalah wilayah perairan di Teluk Lampung pada $105^{\circ}13'92,45''$ - $105^{\circ}60'68,51''$ BT, dan $5^{\circ}77'77,00''$ - $5^{\circ}43'67,04''$ LS. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5. Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Sentinel-2A dengan waktu perekaman 12 Mei tahun 2022. Pemilihan lokasi ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan data yang dibutuhkan untuk menjawab masalah penelitian.



Gambar 5. Peta Lokasi penelitian Teluk Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat dan bahan yang digunakan

No.	Alat dan bahan	Spesifikasi
1.	Laptop	Asus A45V Series <i>processor intel core i3.</i>
2.	<i>Echosounder</i>	Garmin 585 <i>plus</i>
3.	Antenna GPS	GA38 GPS <i>Pole Mount Antenna</i>
4.	<i>Transducer</i>	Garmin <i>transducer GT20</i>
5.	<i>Accu</i>	4 <i>Ampere</i>
6.	Software Garmin BaseCamp	Versi 4.7.1
7.	Software M.S Excel	Versi 2013
8.	Software ENVI	Versi 5.3
9.	Software QGIS	Versi 3.18.3
10.	Software ArcGIS	Versi 10.8
11.	Data citra Sentinel 2A Copernicus	Level 1-C
12.	Data pasut BIG	Waktu perekaman 16 Agustus 2022
13.	Data batimetri nasional	MSL_v1_1

3.3 Metode Pengumpulan Data

Sumber data dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan pada penelitian ini salah satunya adalah data citra Sentinel 2A-MSIL2A diperoleh dari *website* scihub.copernicus.eu dengan waktu akuisisi 12 Mei 2022. Citra yang dipilih adalah citra dengan kualitas terbaik, yaitu yang memiliki awan paling sedikit di daerah penelitian.

Data primer selanjutnya adalah data hasil pemeruman. Data kedalaman hasil pemeruman dilakukan di perairan Pulau Tangkil pada 16 Agustus 2022. Data pengukuran lapangan diperoleh dengan memanfaatkan *echosounder*. Pemeruman dilakukan dengan memperhatikan SNI 7646:2010 mengacu pada SP-44 yang dikeluarkan IHO diatur bahwa minimal adalah 1 cm jarak lajur utama dalam skala pemetaan. Pemeruman dilakukan dengan lintasan berliku (*zig-zag*) dengan sapuan menyeluruh pada area kajian. Jarak antar titik hasil pemeruman berkisar antara 10-16 m dengan waktu perekaman tiap 10 detik pada *echosounder*. Luasan lokasi pemeruman di perairan Pulau Tangkil mencapai 105 ha. Hasil pemeruman yang

dilakukan diperoleh nilai kedalaman 0-20 m.

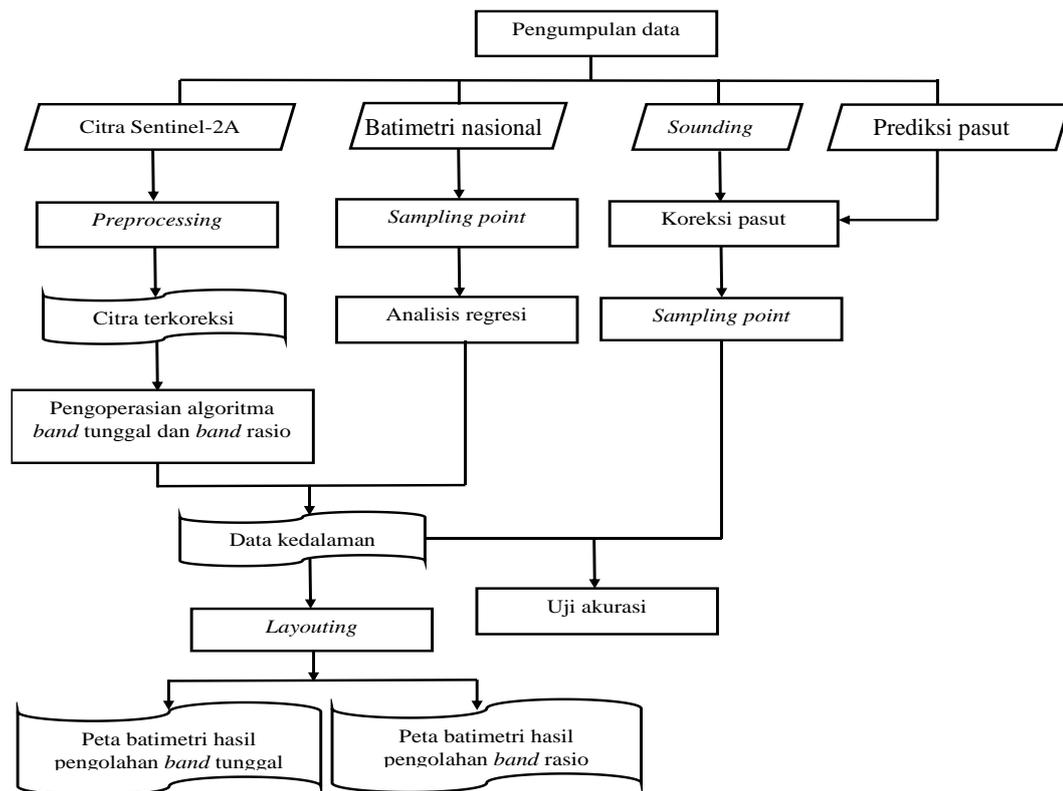
Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah data batimetri nasional yang diperoleh dari *website* tanahair.indonesia.go.id dengan resolusi spasial *6arc-second* (180 m) menggunakan datum MSL (*mean sea level*). Data batimetri nasional dibentuk dari hasil inversi data *gravity anomaly* hasil pengolahan data almetri dengan menambahkan data pemeruman (*sounding*) yang dilakukan oleh BIG, NGDC (National Geophysical Data Center), BODC (British Oceanographic Data Centre), BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia), P3GL (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan), dan lembaga lainnya dengan survei *single* maupun *multibeam*. Data *gridded* batimetri nasional dari 90 sampai 150 BT dan dari 20 LS sampai 20 LU. Data batimetri ini mempunyai keunggulan di daerah pesisir dan perairan dangkal dengan menggunakan survei dari PKLP-BIG (Pusat Kelautan dan Lingkungan Pantai-BIG).

Data sekunder selanjutnya adalah data pasang surut prediksi di titik stasiun Pelabuhan Panjang yang diperoleh dari *website* tides.big.go.id dengan waktu perekaman 16 Agustus 2022. Data pasut yang diperoleh dari BIG dibuat dengan model pasut yang dihitung dari data hasil pengamatan pasang surut pada stasiun milik BIG, satelit Altimetri dan data-data lainnya. Model yang sudah dipublikasi oleh BIG merupakan model yang dibuat tahun 2014. Model pasut dapat memberikan informasi tentang konstanta harmonik pasang surut, datum pasang surut HAT (*highest astronomical tide*), MSL, dan LAT (*lowest astronomical tide*), serta prediksi ketinggian muka air laut pada posisi tertentu dan waktu tertentu di wilayah laut Indonesia.

3.4 Pengolahan Data

Sumber data dalam penelitian ini meliputi data citra Sentinel-2A, data pemeruman, data batimetri nasional, dan data pasang surut. Data citra yang telah dilakukan koreksi selanjutnya diolah menggunakan algoritma *band* tunggal dan *band* rasio.

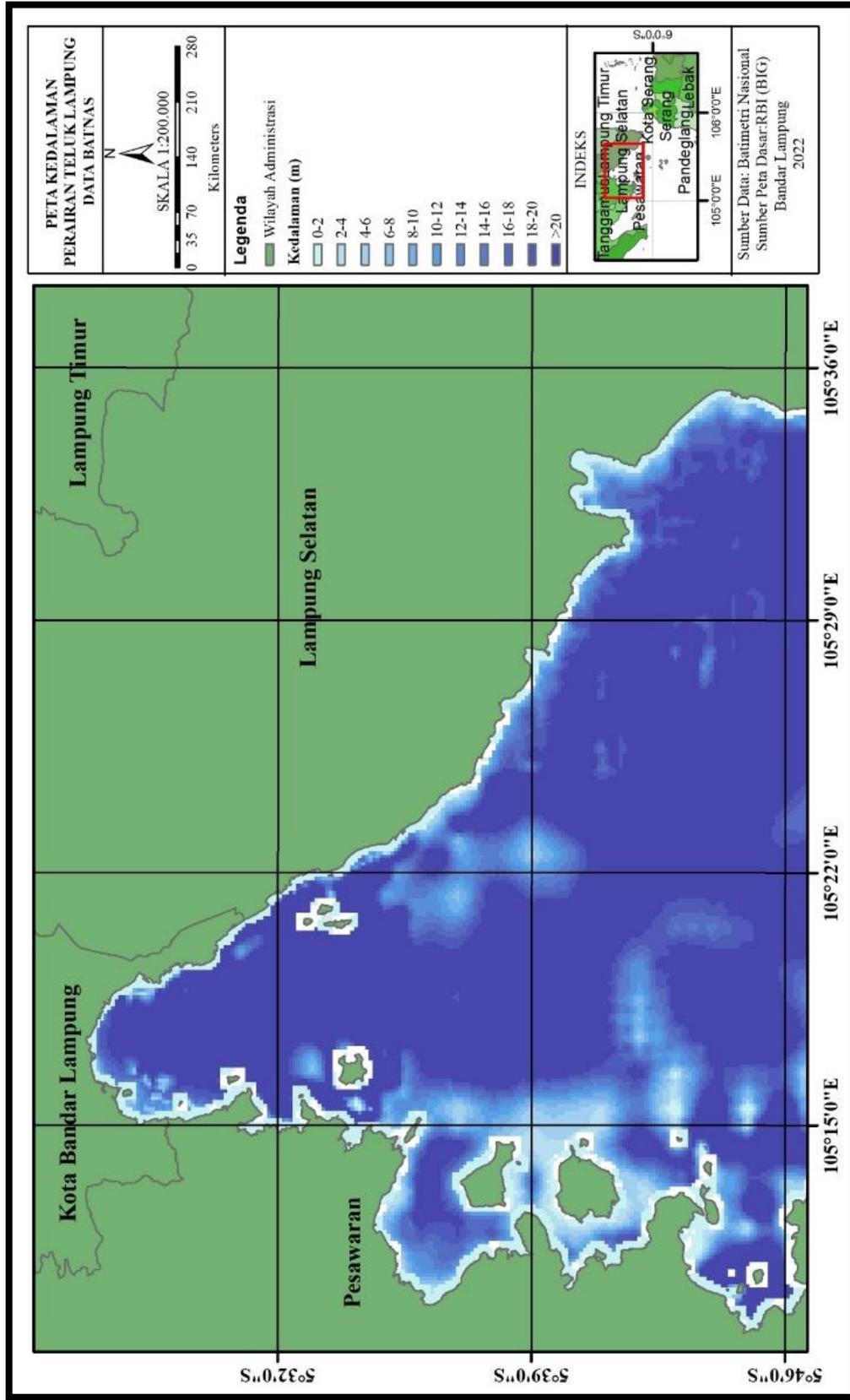
Ekstraksi kedalaman pada kedua algoritma tersebut memanfaatkan data batimetri nasional. Hasil kedalaman yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan uji akurasi untuk melihat metode yang paling akurat dalam memetakan kedalaman perairan dangkal. Data yang digunakan dalam uji akurasi adalah data pemeruman lapang yang telah dikoreksi pasang surut. Data kedalaman yang telah diperoleh selanjutnya dibuat menjadi peta kedalaman. Tahapan yang dilaksanakan dalam kegiatan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 6.



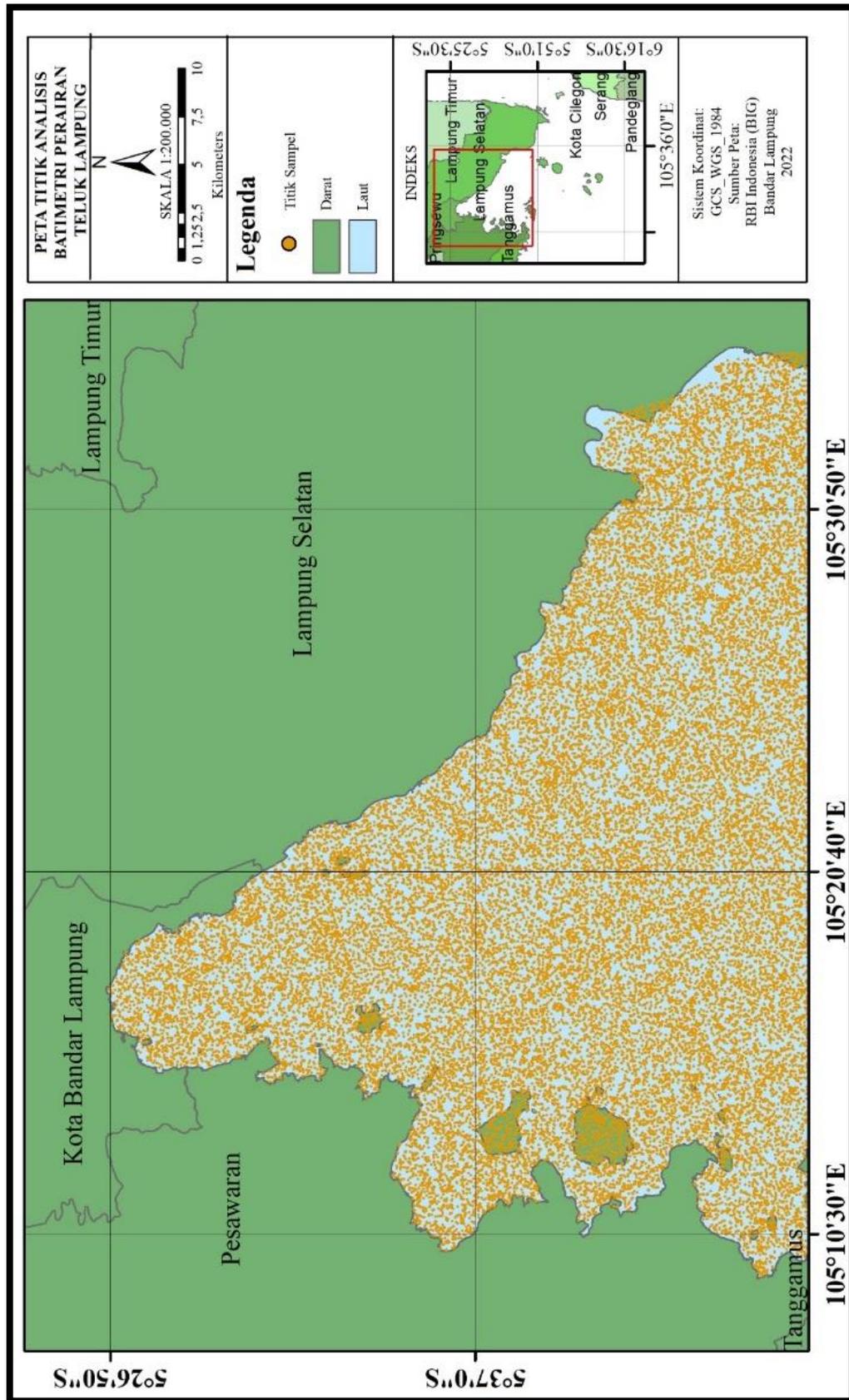
Gambar 6. Diagram alir tahapan penelitian.

3.4.1 Pengolahan data Batimetri nasional

Data batimetri nasional diolah dengan cara memotong data pada wilayah Teluk Lampung saja. Peta batimetri nasional yang digunakan disajikan pada Gambar 7. Data yang telah dipotong selanjutnya dilakukan pengambilan titik contoh (*sampling point*). *Sampling point* dilakukan pada 35.000 titik yang tersebar merata di seluruh perairan Teluk Lampung (Gambar 8). Titik-titik kedalaman yang diperoleh selanjutnya akan digunakan dalam analisis kedalaman citra.



Gambar 7. Peta perairan Teluk Lampung yang diperoleh dari data batimetri nasional.



Gambar 8. Peta titik pengambilan contoh kedalaman perairan perairan Teluk Lampung.

3.4.2 Pengolahan data Citra

3.4.2.1 Pra-pengolahan citra

Tahap pra-pengolahan citra terdiri dari pemotongan citra dan koreksi atmosferik. Pemotongan citra dilakukan untuk memilih daerah yang sesuai dengan daerah penelitian. Pemotongan citra dilakukan dengan cara memotong citra sesuai dengan titik koordinat yang digunakan pada penelitian. Citra yang telah dipotong selanjutnya dilakukan koreksi atmosferik. Metode koreksi atmosfer yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *dark object subtraction* (DOS). Koreksi atmosferik dilakukan dengan cara membuat *region of interest* pada citra yang memiliki objek paling gelap kemudian digunakan *toolbox* pada *software* ENVI untuk melakukan koreksi atmosferik yaitu *dark subtraction*. DOS dilakukan untuk menghilangkan kesalahan yang direkam oleh sensor pada citra akibat dari pengaruh atmosferik pada saat akuisisi data citra. Prinsip kerja metode DOS adalah mencari setiap *band* untuk nilai piksel yang paling gelap.

3.4.2.2 Pemisahan Objek Badan Air

Pemisahan objek (*masking*) dilakukan untuk memisahkan objek yang di kaji (air) dengan objek lain yang dihilangkan (darat). Pemisahan objek dilakukan dengan memberikan nilai nol untuk objek bukan laut. Objek dipisahkan dengan metode NDWI (*Normalized different water index*). NDWI adalah suatu algoritma yang digunakan untuk deteksi badan air. Tahapan ini diperlukan agar objek yang bukan perairan tidak memberikan kontribusi dalam analisis data pada tahap selanjutnya. Menurut Gao (1996) algoritma yang digunakan dalam metode NDWI disajikan pada persamaan 1.

$$NDWI = \frac{(RRS(\lambda_{Green}) - RRS(\lambda_{NIR}))}{(RRS(\lambda_{Green}) + RRS(\lambda_{NIR}))} \quad (1)$$

keterangan:

$RRS(\lambda_{Green})$: *band* hijau atau *band* 3 untuk citra Sentinel-2A

$RRS(\lambda_{NIR})$: *band* NIR atau *band* 8 untuk citra Sentinel-2A.

3.5.2.3 Metode *band* Tunggal

Citra yang telah diolah pada tahap pra-pengolahan kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai kedalaman. Analisis dilakukan dengan metode *band* tunggal yang menggunakan persamaan/algorithm Lyzenga (1985) (persamaan 2).

$$X_n = \ln[R_w(\lambda_n) - R_\infty(\lambda_n)] \quad (2)$$

keterangan:

X_n : nilai reflektansi *band* ke-n,

$R_w(\lambda_n)$: Nilai reflektansi dari *band* ke-n, dan

n: 1 : *band* biru

n: 2 : *band* hijau

n: 3 : *band* merah

$R_\infty(\lambda_n)$: Nilai reflektansi dari kedalaman optik *band* ke-n yaitu nilai minimum dari tiap *band*.

$R_\infty(\lambda_n)$: (i): *band* biru: 0,127

$R_\infty(\lambda_n)$: (j): *band* hijau: 0,095

$R_\infty(\lambda_n)$: (k): *band* merah: 0,063

Untuk memperoleh kedalaman duga dari hasil regresi nilai-nilai reflektansi pada masing-masing *band* yang digunakan, persamaan (2) dapat ditulis ulang berdasarkan persamaan regresi multilinear (persamaan 3).

$$Z = A_0 + A_1X_i + A_2X_j + A_3X_k \quad (3)$$

keterangan:

Z : Kedalaman

A_n : Konstanta kedalaman, dan

A_0 : Batimetri nasional

A_1 : *band* biru

A_2 : *band* hijau

A_3 : *band* merah

X_n : Nilai reflektansi *band* ke-n, dan

X_i : *band* biru

X_j : *band* hijau

X_k : *band* merah

3.5.2.4 Metode *band* Rasio

Metode *band* rasio menggunakan algoritma Stumpf, yaitu menggunakan prinsip perbandingan *band*. Perbandingan yang dilakukan adalah perbandingan antara

band hijau dengan *band* biru, *band* hijau dengan *band* merah, dan *band* merah dengan *band* biru. Nilai kedalaman dari metode *band* rasio dilakukan dari persamaan 4 (Stumpf *et al.*, (2003).

$$Z_1 = m_1 \left[\frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))} - m_0 \right], \quad Z_2 = m_1 \left[\frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_k))} - m_0 \right], \text{ dan} \quad (4)$$

$$Z_3 = m_1 \left[\frac{\ln(nRw(\lambda_j))}{\ln(nRw(\lambda_k))} - m_0 \right]$$

keterangan:

- Z_1 : kedalaman estimasi rasio *band* biru/*band* hijau
 Z_2 : kedalaman estimasi rasio *band* biru/*band* merah
 Z_3 : kedalaman estimasi rasio *band* hijau/*band* merah
 $Rw(\lambda_n)$: Nilai reflektansi dari *band* ke-n, dan
n: i : *band* biru
n: j : *band* hijau
n: k : *band* merah
 m_1 : konstanta kedalaman batimetri nasional
 m_0 : faktor koreksi untuk kedalaman 0
n : konstanta untuk menjaga rasio tetap positif

Untuk memperoleh kedalaman duga dari hasil regresi rasio nilai-nilai reflektansi pada masing-masing *band* yang digunakan, persamaan (4) dapat ditulis ulang berdasarkan persamaan regresi linear (persamaan 5).

$$Y = aX + b \quad (5)$$

dimana:

- Y : kedalaman
a : nilai *slope* (mewakili koefisien kalibrasi m_1)
b : *intercept* (mewakili koefisien m_0)
X : hasil rasio nilai reflektansi pada *band* yang digunakan

3.4.3 Pengolahan Data Pemeruman

Pemeruman dilakukan menggunakan alat *single beam echosounder* yaitu GPS map 585 plus. Pemeruman dilakukan setelah dibuat perencanaan lajur perum terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Tahap awal yang dilakukan

sebelum pemeruman adalah melakukan percobaan pemeruman (*sea trial*) untuk memastikan peralatan survei siap digunakan sesuai spesifikasi yang telah ditentukan. Pemeruman dilakukan setelah semua peralatan dan sarana dinyatakan siap. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh kedalaman perairan menggunakan *echosounder* menurut Sasmita (2008) disajikan pada persamaan 6.

$$du = v\Delta t = 1/2 \quad (6)$$

dimana:

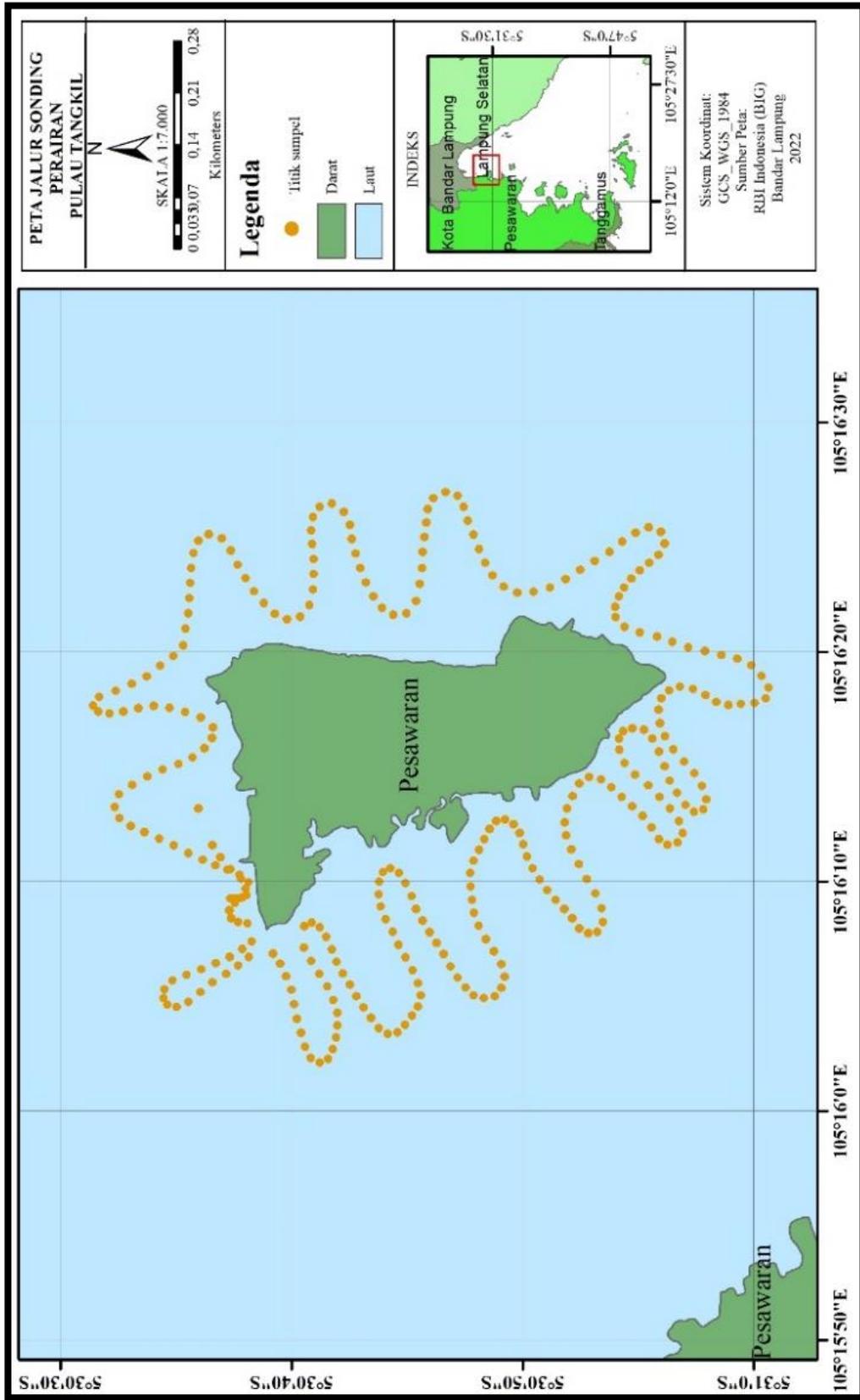
du : kedalaman perairan

v : kecepatan gelombang akustik di medium air

Δt : selang waktu sejak gelombang dipancarkan hingga diterima kembali.

Data hasil pengukuran batimetri selanjutnya di ekstrak menggunakan *software* garmin basecamp serta dikoreksi berdasarkan keadaan pasang surut pada hari, tanggal, serta waktu yang sama pada saat pemeruman. Pemeruman dilakukan di perairan Pulau Tangkil dengan jalur paralel. Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai kedalaman yang lebih akurat dengan interpolasi yang baik. Pemeruman menggunakan kapal dengan posisi kedalaman transduser 0,15 m dari permukaan air. Data hasil pemeruman kemudian diekstrak menjadi format x,y,z pada *software* microsoft excel 2013, nilai x dan y menunjukkan posisi koordinat dari GPS, sedangkan nilai z menunjukkan nilai kedalaman dari *echosounder*.

Data x,y,z yang telah diperoleh selanjutnya dikoreksi terhadap posisi pemasangan alat pada kapal dan pasang surut. Koreksi pasang surut dilakukan dengan menggunakan datum MSL. Nilai MSL didapatkan dengan melihat rata-rata dari data pasang surut dari BIG pada bulan Agustus 2022 yang dapat diunduh melalui *website* <http://tides.big.go.id>. Koreksi pasang surut dilakukan dengan menghitung perbedaan elevasi muka air laut saat satelit melintas dengan muka air laut MSL. Nilai koreksi yang didapatkan selanjutnya direduksikan dengan setiap data kedalaman yang digunakan. Setelah dilakukan koreksi ini, hasil koreksi data kedalaman yang digunakan sudah siap sebagai pembanding dengan data citra satelit. Peta jalur pemeruman dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta jalur pemeruman batimetri perairan Pulau Tangkil.

3.7 Analisis Data

Uji akurasi dilakukan menggunakan metode RMSE (*root mean square error*). Data yang digunakan untuk menghitung RMSE adalah data hasil pemeruman yang telah dilakukan di Pulau Tangkil dan data hasil pengolahan citra. RMSE merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Secara matematis, perhitungan metode RMSE disajikan pada persamaan 7 (Chai, 2014):

$$\text{RMSE} = \left(\sum_{i=1}^n (h_1 - h'_i)^2 / n \right)^{0,5} \quad (7)$$

keterangan:

RMSE : *root mean square error*

h_1 : kedalaman *in situ*

h'_i : kedalaman hasil ekstraksi citra Sentinel-2A

n : jumlah data *input*

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis Citra satelit Sentinel-2 menggunakan metode *band* tunggal dan *band* rasio memberikan hasil yang baik dengan nilai korelasi yang tinggi untuk menentukan perairan dangkal.
2. Metode *band* rasio mampu menghasilkan nilai kedalaman yang lebih mendekati nilai kedalaman hasil pemeruman dibandingkan dengan metode *band* tunggal.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan saran yang dapat diberikan yaitu, hasil analisis kedalaman perairan untuk kedalaman 15-20 m dapat digunakan sebagai acuan pembuatan peta batimetri, sementara untuk kedalaman <15 m perlu dilakukan analisis ulang dengan menggunakan citra satelit yang bersih dan direkam pada saat kondisi perairan yang jernih.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, H., Bailly, J. S., Baghdadi, N. N., Saint, G.N., & Fabre, F. 2013. Potential of spaceborne LiDAR sensors for global bathymetry in coastal & inland waters. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 10(11): 38-52.
- Aji, S., Sukmono, A., & Amarrohman, F. J. 2021. Analisis pemanfaatan *satellite derived bathymetry* citra Sentinel-2A dengan menggunakan algoritma Lyzenga dan Stumpf (studi kasus: Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh). *Jurnal Geodesi Undip*. 10(1): 2337-845.
- Akhrianti, I., & Gustomi, A. 2020. Important value aspect of mangrove community at coastal area of Pangkalpinang City. *Jurnal Ilmiah PLATAX*. 9(2): 356-364.
- Akhrianti, I., Franto, S. T., Nurtjahya, E., & Syari, I. A. 2018. Deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan citra Landsat ETM multi temporal di pesisir utara Pulau Mendanau dan Pulau Batu Dinding, Kabupaten Belitung. *Jurnal Sumberdaya Perairan*. 12(1): 53-60.
- Andik, I., Oktiyas, M., Muchamad, F., & Supriyadi. 2020. Sea temperature and current during transitional seasons to support the resilience of coastal ecosystems. *Jurnal Education and Development*. 8(3): 80-85.
- Anida, F., Helmi, M., Kunarso, K., Wirasatriya, A., Atmodjo, W., & Yusuf. M. 2020. Studi kedalaman perairan dangkal berdasarkan pengolahan data satelit multispektral *Worldview-2* di perairan Pulau Parang Kepulauan Karimunjawa, Provinsi Jawa Tengah. Indonesian. *Journal of Oceanography*. 2(4): 370-377.
- Arief, M. 2013. Pendekatan baru pemetaan *bathymetric* menggunakan data penginderaan jauh Spot, studi kasus Teluk Perigi dan Teluk Popoh. *Jurnal Teknologi Dirgantara*. 10(1): 71-80.
- Arya, A., Winarso, G., & Santoso, A. I. 2016. Evaluasi akurasi ekstrasi kedalaman laut dengan metode Lyzenga dan modifikasinya menggunakan data SPOT-7 di Teluk Belagbelang Mamuju. *Jurnal Ilmiah Geomatika*. 22(1): 9-19.

- Bachmann, C., Montes, M., Parrish, C., Fusina, R., Nichols, R., Li, R., Hallenborg, E., Jones, C., Lee, K., Sellars, J., White, S., & Fry, J. 2012. A dual-spectrometer approach to reflectance measurements under sub-optimal sky conditions. *Jurnal Optics Express*. 20(1): 8959–8973.
- Becker, J. J., Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S. H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Trimmer, R., Von Rosenberg, J., Wallace, G., & Weatherall, P. 2009. Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution : SRTM30_Plus. *Jurnal Marine Geodesy*. 32(4): 355–371.
- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. 2017. Studi pemetaan batimetri perairan dangkal menggunakan citra satelit Landsat 8 dan Sentinel-2A (studi kasus : perairan Pulau Poteran dan Gili Iyang, Madura). *Jurnal Teknik*, 2(1): 6–11.
- Bramante, J. F., Raju, D. K., & Sin, T. M. 2013. Multi-spectral derivation of bathymetry in Singapore's shallow, turbid waters. *International Journal of Remote Sensing*. 34(6): 2070-2088.
- Bukata, R. P., Jerome, J. H., Kondratyev, K. Y., & Pozdnyakov, D. V. 1995. *Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters*. CRC. New York. 384 hlm.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. 2011. *Introduction to Remote Sensing: Fifth Edition*. The Guilford Press. New York. 667 hlm.
- Chai, T., & Draxler, R. R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Jurnal Geoscientific Model Development*. (7)3: 1247-1250.
- Chrysoulakis, N., Abrams, M., Feidas, H., & Arai, K. 2010. Comparison of atmospheric correction methods using ASTER data for the area of Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*. 31(24): 6347-6385.
- Drusch, M., Bello, S., Carlier, O., Colin, V., Fernandez, F., Gascon, B., Hoersch, C., Isola, P., Laberinti, P., Martimort, A., Meygret, F., Spoto, O., Marchese & Bargellini. 2012. *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. ESA Communications. Noordwijk. 69 hlm.
- European Space Agency. 2015. *Sentinel-2 User Handbook*. <https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2UserHandbook>. Diakses pada 10 Januari 2022 pukul 15.13 WIB.
- Gao, B. 1996. NDWI-Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Jurnal Remote Sensing of Environment*. 58(1): 26-57.

- George, D. G. 1997. Bathymetric mapping using a compact airborne spectrographic imager (CASI). *International Journal of Remote Sensing*. 18(1): 67–71.
- Goodman, J. A., Purkis, S. J., & Phinn, S. R. 2013. *Coral Reef Remote Sensing a Guide for Mapping, Monitoring and Management*. Springer Dordrecht Heidelberg New York. London. 436 hlm.
- Green, E., Mumby, P., Edwards, A., & Clark, C., 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management, Coastal Management Sourcebooks 3*. UNESCO. Paris. 311 hlm.
- Guenther, G. C., Thomas, R. W. L., & LaRocque, P. E. 1996. Design considerations for achieving high accuracy with the SHOALS bathymetric lidar system, SPIE: laser remote sensing of natural waters, from theory to practice. *Jurnal Omni-Akuatika*. 29(6): 26-37.
- Hadi, B. S. 2019. *Penginderaan Jauh Pengantar ke Arah Pembelajaran Berpikir Spasial*. UNY Press. Yogyakarta. 223 hlm.
- Handayani, D. 2003. Remote sensing (penginderaan jauh). *Jurnal penginderaan jauh*. 8 (2): 113-120.
- Hartoko, A. 2010. *Aplikasi Indraja dan Sistem Informasi Geografis*. UNDIP Press. Semarang. 92 hlm.
- Heryoso, S. 1996. *Kamus Oseanografi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 211 hlm.
- Hogfe, K. R., Wright, D. J., & Hochberg, E. J. 2008. Derivation and integration of shallow-water bathymetry: implications for coastal terrain modeling and subsequent analyses. *Jurnal Marine Geodesy*. 31(1): 299–317.
- Hogrefe, K. R. 2005. *Deriving Shallow Water Bathymetric Data from Ratios of Blue and Green λ Radiance Values*. Department of Geosciences. Oregon State University. Oregon.
- Lafon, V., Froidefond, J. M., Lahet, F., & Castaing, P. 2002. Spot shallow water bathymetry of a moderately turbid tidal inlet based on field measurements. *Jurnal Remote Sensing of Environment* 81. 7(8): 9507–9528.
- Liceaga, M. A., & Euan, J. I., 2002. Assessment of coral reef bathymetric mapping using visible Landsat thematic mapper data. *International Journal of Remote Sensing*. 23(1): 3–14.
- Lillesand, T.M & Keifer. 2004. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 725 hlm.

- Louchard, E. M., Reid, R. P., Stephens, F. C., Davis, C. O., Leathers, R. A., & Downes, T. V. 2003. Optical remote sensing of benthic habitats and bathymetry in coastal environments at Lee Stocking Island, Bahamas: a comparative spectral classification approach. *Jurnal Limnology and Oceanography* 48(12): 511-521.
- Lwin, K. K. 2008. *Fundamentals of Remote Sensing and its Applications in GIS*. Division of Spatial Information Science, University of Tsukuba. Japan. 215 hlm.
- Lyon, J. G., Lunetta, R. S., & Williams, D. C. 1992. Airborne multi-spectral scanner data for evaluating bottom sediment types and water depths of St. Mary's River Michigan. *Jurnal Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 105(2): 142–154.
- Lyzenga, D. R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Jurnal Applied Optics*. 17(3): 379-383.
- Lyzenga, D. R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*. 2(1): 71-82.
- Lyzenga, D. R. 1985. Shallow water bathymetry using combined lidar and passive multi-spectral scanner data. *International Journal of Remote Sensing*. 6(1): 115-125.
- Lyzenga, D. R., Malinas, N., & Tanis, F. 2006. Multi-spectral bathymetry using a simple physically based algorithm. *Jurnal IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, 44(8):2251-2259.
- Pe'eri, S., Parrish, C., Azuike, C., Alexander, L., & Armstrong, A. 2014. Satellite remote sensing as reconnaissance tool for assessing nautical chart adequacy and completeness. *Jurnal Marine Geodesy*. 3(1):293–314.
- Prananda, A., Restu, A., B, A. M. C. W., & Huda, A. N. 2017. Pembuatan peta batimetri dengan menggunakan metode hidroakustik studi kasus sebagian Sungai Cijulang, Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat. *Proceedings of Geoinformation Symposium*. Februari 2018. 0-6.
- Prayogo, L.M., & Basith, A. 2020. Uji performa Citra Worldview 3 dan Sentinel 2A untuk pemetaan kedalaman laut dangkal (studi kasus di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah). *Journal of Geospatial Information Science*, 3(2): 161-167.
- Projo, D. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta. 397 hlm.

- Pushparaj, J., & Hegde, A.V. 2017. Estimation of bathymetry along the coast of Mangaluru using Landsat-8 imagery. *Internasional Jurnal Ocean Climated System*. 8(2): 71-83.
- Sari, N.F. 2014. *Penginderaan Jauh*. Cempaka purih. Klaten. 910 hlm
- Sasmita, D. K. 2008. *Aplikasi Multibeam Echosounder System (MBES) untuk Keperluan Batimetrik*. (Skripsi). Institut Teknologi Bandung. Bandung. 70 hlm.
- Selamat, M. B., Jaya, I., Siregar, V. P., & Hestirianoto, T. 2012. Aplikasi citra Quickbird untuk pemetaan 3D substrat dasar di Gusung Karang. *Jurnal Ilmiah Geodesy*. 18(2): 95-106.
- Smith, R. B. 2006. *Introduction of Remote Sensing Environment (RSE)*. Micro-Images Inc. Lincoln, Nebraska. 32 hlm.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Jurnal Limnology and Oceanography*. 48(1): 547-556.
- Su, H., Liu, H., & Heyman, W. D. 2008. Automated derivation of bathymetric information from multi-spectral satellite imagery using a non-linear inversion model. *Jurnal Marine Geodesy*. 31(1): 281–298.
- Subarno, T., Siregar, V. P., & Agus, S. P. 2015. Evaluasi citra WorldView-2 untuk pendugaan kedalaman perairan dangkal Pulau Kelapa-Harapan menggunakan algoritma rasio *band*. *Jurnal Geoplanning 2*. (1): 30–37.
- Sutanto. 1992. *Penginderaan Jauh Jilid I*. Gajah Mada Press. Yogyakarta. 252 hlm.
- Suwargana, N. 2017. Pengembangan model total *suspended matter* (TSM) menggunakan data satelit SPOT 6 (studi kasus: Sungai Citanduy, Segara Anak). *Jurnal Akuatika Indonesia*. 2(1): 2528-052.
- Vahtmäe, E., & Kutser, T. 2016. Airborne mapping of shallow water bathymetry in the optically complex waters of the Baltic Sea. *Jurnal Applied Remote Sensing*. 10(2): 12-25.
- Wahyuningrum, P. I., Indra, J., dan Domu, S. 2008. Algorithm to estimate shallow water depth by using Landsat-7 ETM+ data (case study: Pari Island, Seribu Islands, Jakarta). *Jurnal Buletin PSP*. 17(3): 333-340.
- Wahyuningrum, P.I. 2007. *Pengembangan Algoritma untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 ETM+ (Studi Kasus: Perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta)*. (Tesis). Institut Pertanian Bogor. 105 hlm.

- Wicaksono, P. 2015. Perbandingan akurasi metode *band* tunggal dan *band* rasio untuk pemetaan batimetri pada laut dangkal optis. *Simposium Nasional Sains Geoinformasi*. November 2018. 802-810.
- Yeu, Y., Yee, J. J., Yun, H. S., & Kim, K. B. 2018. Evaluation of the accuracy of bathymetry on the nearshore coastlines of Western Korea from satellite altimetry, multibeam, and airborne bathymetric LIDAR. *Jurnal Sensors*. 18(2926): 1-16.