

**ANALISIS PEMANFAATAN *SATELLITE DERIVED BATHYMETRY*  
CITRA SENTINEL-2A MENGGUNAKAN ALGORITMA *K-NEAREST*  
*NEIGHBOR* DAN *RANDOM FOREST* UNTUK EKSTRAKSI  
KEDALAMAN PERAIRAN DANGKAL DI TAMAN NASIONAL  
KARIMUNJAWA**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang  
Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA*



**Oleh:**

**HAIKAL RAFI' SUWARNO**

**08051281924039**

**JURUSAN ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDRALAYA**

**2023**

**ANALISIS PEMANFAATAN *SATELLITE DERIVED BATHYMETRY*  
CITRA SENTINEL-2A MENGGUNAKAN ALGORITMA *K-NEAREST*  
*NEIGHBOR* DAN *RANDOM FOREST* UNTUK EKSTRAKSI  
KEDALAMAN PERAIRAN DANGKAL DI TAMAN NASIONAL  
KARIMUNJAWA**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang  
Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA*

**Oleh:**

**HAIKAL RAFI' SUWARNO**

**08051281924039**

**JURUSAN ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDRALAYA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PEMANFAATAN *SATELLITE DERIVED BATHYMETRY*  
CITRA SENTINEL-2A MENGGUNAKAN ALGORITMA *K-NEAREST*  
*NEIGHBOR* DAN *RANDOM FOREST* UNTUK EKSTRAKSI  
KEDALAMAN PERAIRAN DANGKAL DI TAMAN NASIONAL  
KARIMUNJAWA**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang  
Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA*

**Oleh:**

**HAIKAL RAFI' SUWARNO**

**08051281924039**

**Indralaya, Juni 2023**

**Pembimbing II**

**Pembimbing I**



**Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc**  
**NIP. 197310232003122002**



**T. Zia Ulqodry, S.T., M.Si., Ph.D**  
**NIP. 197709112001121006**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Ilmu Kelautan**



**Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc**  
**NIP. 197905212008011009**

**Tanggal Pengesahan: 12 Juni 2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Haikal Rafi' Suwarno

NIM : 08051281924039

Jurusan : Ilmu Kelautan

Judul Skripsi : Analisis Pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* Citra Sentinel-2A Menggunakan Algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* Untuk Ekstraksi Kedalaman Perairan Dangkal di Taman Nasional Karimunjawa.

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.**

### DEWAN PENGUJI

Ketua : Tengku Zia Ulqodry, Ph. D.

NIP. 197709112001121006

(  )


Anggota : Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc.

NIP. 197310232003122002

(  )

Anggota : Dr. Muhammad Hendri, S.T., M.Si.

NIP. 197510092001121004

(  )

Anggota : Dr. Hartoni, S.Pi., M.Si.

NIP. 197906212003121002

Ditetapkan di: Inderalaya

Tanggal: 5 Juni 2023

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya **Haikal Rafi' Suwarno**, NIM. **08051281924039** menyatakan bahwa karya ilmiah/skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lainnya.

Semua informasi yang dimuat dalam karya ilmiah/skripsi ini yang berasal dari penulisan lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulisan secara benar dan semua karya ilmiah/skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Inderalaya, 9 Juni 2023



Haikal Rafi' Suwarno

NIM. 08051281924039

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Haikal Rafi' Suwarno  
NIM : 08051281924039  
Jurusan : Ilmu Kelautan  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah Saya yang berjudul:

***Analisis Pemanfaatan Satellite Derived Bathymetry Citra Sentinel-2A Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbor dan Random Forest Untuk Ekstraksi Kedalaman Perairan Dangkal di Taman Nasional Karimunjawa.***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan (database), merawat dan mempublikasikan skripsi Saya selama tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis pertama/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Inderalaya, 9 Juni 2023



Haikal Rafi' Suwarno

NIM. 08051281924039

## ABSTRAK

**HAIKAL RAFI' SUWARNO. 08051281924039. Analisis Pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* Citra Sentinel-2A Menggunakan Algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* untuk Ekstraksi Kedalaman Perairan Dangkal di Taman Nasional Karimunjawa. (Pembimbing: T. Zia Ulqodry, S.T., M.Si., Ph.D dan Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc)**

Metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) dapat digunakan untuk memperoleh data batimetri pada perairan dangkal dengan basis citra satelit. Data batimetri yang didapatkan dari metode ini, dapat dimanfaatkan untuk mengisi kesenjangan data kedalaman yang dikumpulkan melalui survei hidrografi. Tujuan penelitian ini ialah mengevaluasi penggunaan dua algoritma dalam memperoleh informasi kedalaman perairan dangkal di perairan Karimunjawa. Model algoritma yang digunakan ialah *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan *Random Forest* (RF). Kedua model algoritma ini mengintegrasikan data citra satelit Sentinel-2A dengan data pemeruman *in-situ* di Pelabuhan Karimunjawa, Pantai Alang dan Pantai Bobby. Pada ketiga lokasi pemeruman, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan KNN menghasilkan nilai RMSE yang lebih baik dengan kisaran 0,257 – 0,340 meter, sedangkan RF menghasilkan nilai RMSE pada rentang 0,265 – 0,345 meter. Selain menghasilkan nilai RMSE yang lebih baik dari RF, KNN juga menghasilkan profil kedalaman yang lebih baik. Profil kedalaman dapat dikatakan baik, jika menunjukkan kontur batimetri dan nilai kedalaman yang stabil. Kedua algoritma dapat mendeteksi kedalaman dengan baik. Kedalaman paling dalam yang dapat dideteksi oleh KNN ialah 17,85 meter, sedangkan RF dapat mencapai kedalaman 17,95 meter. Nilai kedalaman yang diperoleh oleh kedua model algoritma ini dipengaruhi oleh jumlah dan rentang nilai kedalaman data pemeruman *in-situ*.

**Kata kunci:** *K-Nearest Neighbor*, Karimunjawa, *Random Forest*, SDB

Indralaya, Juni 2023  
Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc  
NIP. 197310232003122002



T. Zia Ulqodry, S.T., M.Si., Ph.D  
NIP. 197709112001121006

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Ilmu Kelautan



## ABSTRACT

**HAIKAL RAFI' SUWARNO. 08051281924039. Analysis of Utilization of the Satellite Derived Bathymetry Method with Sentinel-2A Imagery Using K-Nearest Neighbor and Random Forest Algorithm for Shallow Water Depth Extraction in Karimunjawa National Park. (Supervisors: T. Zia Ulqodry, Ph.D and Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc)**

The Satellite Derived Bathymetry (SDB) method can collect bathymetry data in shallow waters based on satellite imagery. The bathymetry data obtained from this method can be used to fill in the gaps in data collected from hydrographic surveys. The purpose of this research is to evaluate the use of two algorithms in obtaining information on the depth of shallow waters in Karimunjawa waters. The algorithm models used are K-Nearest Neighbor (KNN) and Random Forest (RF). These two algorithm models, integrate Sentinel-2A imagery data with *in-situ* sounding data at Karimunjawa Harbour, Alang Beach, and Bobby Beach. Based on three sounding locations, the results of this study shows that the use of KNN, produces better RMSE values in the range of 0,257 – 0,340 meters, while RF produces RMSE values in the range of 0,265 – 0,345 meters. Besides the positive about producing a better RMSE value than RF, KNN also produces a better depth profile. A good depth profile is if it shows a stable bathymetry contours and depth values. Both algorithms can detect depth well. The furthest depth that can be detected by KNN algorithm is 17,85 meters, while the use of RF can reach a depth of 17,95 meters. Both of these algorithm models depend on the number and width of the depth range of sounding data acquired.

**Keyword: K-Nearest Neighbor, Karimunjawa, Random Forest, SDB**

Supervisor II



**Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc**  
NIP. 197310232003122002

Indralaya, June 2023  
Supervisor I



**T. Zia Ulqodry, S.T., M.Si., Ph.D**  
NIP. 197709112001121006

Head of Marine Science Department





## RINGKASAN

**HAIKAL RAFI' SUWARNO. 08051281924039. Analisis Pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* Citra Sentinel-2A Menggunakan Algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* untuk Ekstraksi Kedalaman Perairan Dangkal di Taman Nasional Karimunjawa. (Pembimbing: T. Zia Ulqodry, S.T., M.Si., Ph.D dan Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc**

Karimunjawa merupakan salah satu kawasan taman nasional di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan tahun 1988 dengan total luas daratan dan lautan sebesar 111.625 hektar, serta terdapat 22 buah gugusan pulau di dalamnya. Taman Nasional Karimunjawa dikelilingi oleh perairan dangkal yang luas. Perairan dangkal memiliki tingkat kesulitan tersendiri dalam pemetaan kedalaman saat menggunakan kapal. Hal tersebut dikarenakan kapal sulit untuk melewati daerah yang dangkal sehingga pengukurannya menjadi tidak efisien. Survei pemetaan dasar perairan dapat dimanfaatkan untuk menentukan jalur kapal.

Survei pemetaan dasar perairan merupakan salah satu upaya untuk melengkapi keperluan peta dasar perairan dangkal di Karimunjawa. Oleh karena itu, untuk mempercepat proses melengkapi peta dasar perairan dangkal dapat memanfaatkan teknologi penginderaan jauh menggunakan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB). Metode ini memanfaatkan model empiris, dengan memanfaatkan data pemeruman dari lapangan serta menghubungkannya dengan citra satelit optis untuk mendapatkan data kedalaman perairan. Citra yang digunakan pada penelitian ini ialah Sentinel-2A yang punya resolusi menengah. Algoritma yang dibandingkan untuk pemanfaatan metode SDB penelitian ini ialah *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan *Random Forest* (RF).

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November – Desember 2022 di Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Terdapat tiga lokasi khusus yang dipilih yaitu Pelabuhan Karimunjawa, Pantai Alang, dan Pantai Bobby. Penentuan lokasi stasiun pengambilan data kedalaman dipilih dengan tujuan mendapatkan rentang kedalaman yang lebar atau nilai kedalaman yang beragam berdasarkan rona warna citra pra-survei. Hasil pemeruman di ketiga lokasi tersebut akan melalui proses koreksi referensi vertikal dan *mean sea level* (MSL). Setelah terkoreksi, data pemeruman tersebut akan diaplikasikan kepada algoritma KNN dan RF.

Pengaplikasian algoritma KNN dan RF menggunakan *machine learning* pada *software* Graphic User Interface – SDB. Pendekatan algoritma KNN bergantung dengan adanya data atau model kedalaman yang ada di sekitar atau “tetangga”-nya. Data atau model kedalaman tersebut akan dirata-ratakan oleh algoritma untuk menentukan kedalamannya. Semakin banyak data kedalaman yang digunakan untuk *data training* maka nilai kedalaman yang dihasilkan oleh algoritma ini akan semakin akurat.

Sedangkan algoritma RF menghubungkan data pemeruman dengan data citra yang digunakan melalui model regresinya. Algoritma ini memanfaatkan gabungan dari beberapa “cabang” prediktor yang mana setiap “pohon” pengambil keputusan bergantung dengan nilai dari vektor acak yang diambil data sampelnya. Setiap “pohon” pengambil keputusan mempunyai distribusi data sampel yang sama pada “hutan”. Algoritma ini mengumpulkan data yang ada lalu melakukan pengacakan atau *randomizing* kepada banyak “pohon” pengambil keputusan dengan distribusi yang sama setiap “pohon”.

Hasil penelitian ini menunjukkan jika penggunaan algoritma KNN menghasilkan nilai RMSE yang lebih baik dengan kisaran 0,257 – 0,340 meter, sedangkan RF menghasilkan nilai RMSE pada rentang 0,265 – 0,345 meter. Selain menghasilkan nilai RMSE yang lebih baik dari RF, KNN juga menghasilkan profil kedalaman yang lebih baik. Profil kedalaman dapat dikatakan baik, jika menunjukkan kontur batimetri dan nilai kedalaman yang stabil. Kedua algoritma dapat mendeteksi kedalaman dengan baik. Kedalaman paling dalam yang dapat dideteksi oleh KNN ialah 17,85 meter, sedangkan RF dapat mencapai kedalaman 17,95 meter.

Nilai kedalaman yang diperoleh oleh kedua model algoritma ini dipengaruhi oleh jumlah dan rentang nilai kedalaman data pemeruman *in-situ*, hal ini dikarenakan metode SDB penelitian ini menggunakan model empiris. Berdasarkan nilai RMSE yang didapat dari penggunaan kedua algoritma, metode SDB ini dapat menggambarkan keadaan lapangan cukup baik sehingga bisa digunakan untuk membantu melengkapi keperluan peta dasar perairan dangkal di Indonesia.

## LEMBAR PERSEMBAHAN

Assalamualaikum wr. wb.

Alhamdulillah atas izin Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan, kebahagiaan serta kemudahan sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sangat baik. Semoga keberhasilan ini menjadi langkah awal untuk masa depan yang jauh lebih baik bagi Penulis. Atas seluruh rasa syukur dan terima kasih Penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung, berikut terima kasih Penulis persembahkan kepada:

- Saya sendiri, **Haikal Rafi' Suwarno**. terima kasih sudah mau berusaha sampai selesai. Semoga apa yang sudah dilalui dapat membantu untuk membentuk diri ini menjadi semakin baik.
- **Kedua Orang Tua**. Terima kasih selama ini sudah bersedia menjadi *angel investor* sepanjang hidup Saya. Semoga tetap dan selalu diberi kesehatan, rezeki dan kebahagiaan dalam hidup ini sehingga terus dapat mendukung Saya apapun itu jalan yang akan dihadapi nantinya. Mudah-mudahan pencapaian ini bisa jadi pencapaian buat Papa dan Mama juga. Sekali lagi, terima kasih.
- **Wahyuni Nirmalasari** yang rajin dan gemar menabung. Banyak naik dan turunnya selama ini, mudah-mudahan setelah ini kita naik terus ya, biar bisa jadi orang kaya serta bahagia selamanya. *I wish you the best and succes until the end, there is no luck in these words, cause you are the luck!* Kejar apapun mimpi yang Kamu mau, karena apapun yang baik pantas untuk dikejar. Semoga bisa terus merayakan apapun bersama-sama ya, Tet. *Cheers for our next celebrations!*
- **Badan Informasi Geospasial** atas bantuan dan dukungannya pada Tugas Akhir saya, terutama **Pak Fajar** dan **Pak Yorda** yang terus mendukung Kami dalam penelitian ini hingga selesai dan mendapatkan gelar sarjana. Selain itu, ada **Mas Wahyudi**, **Mas Lufti** dan **Mas Tama** yang bersedia membantu kegiatan di lapangan. Bantuan dan dukungan yang diberikan sangat berdampak bagi Saya dari awal bahkan hingga kini.

- Kedua pembimbing Tugas Akhir saya **Bapak Tengku Zia Ulqodry, Ph.D** dan **Ibu Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi. M.Sc** yang sudah membimbing serta memberikan arahan kepada Saya. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pak Zia dan Ibu Dewi, maaf apabila terdapat kekurangan selama bimbingan hingga sidang sarjana, semoga ilmu yang diturunkan bapak dan ibu dapat Saya manfaatkan dengan baik untuk bekal saya dimasa yang akan datang.
- **Hafizh Akmal Suwarno** yang sekarang sudah besar. Walaupun tidak berkontribusi apapun di sini, haha. Semoga Kamu bisa jadi orang yang lebih baik dan harus punya mimpi yang lebih besar dari Abang ya. Maju terus, coy!
- Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk **seluruh keluarga besar Ilmu Kelautan Universitas Sriwijaya**, baik bapak dan ibu dosen serta *staff* tata usaha. Terima kasih banyak atas ilmu yang sudah diturunkan serta segala bantuan yang sudah Saya terima. Semoga dapat diberikan kesehatan, rezeki dan kebahagiaan sepanjang hidup.
- Terima kasih atas malam-malamnya di Amanah **Farhan Indirwan** dan **Raihan Pramadipa**. Sampai jumpa pada malam lainnya! Haha.
- Terima kasih sudah menerima Saya dimasa awal kuliah yang berat di Indralaya hingga saat ini, tahun 2023. Banyak hal sudah berlalu, semoga sukses selalu menyertai buat kalian **Naufal Fauzany, Laksamana Fachryzal Arsyeyi, Grata Julanda**, dan **Zalfa Ramadhian**. *See ya on the other side!*
- Pengalaman kerja praktek di BIG bersama **Laksamana Fachryzal Arsyeyi** yang akhirnya jalan-jalan ke Surabaya, **Nadhiah Putri Aulia** yang akhirnya jadi *partner* Skripsi ke Karimunjawa, **Mevi Nurissa** yang tetap suka penginderaan jauh walau banyak cobaannya. Terima kasih sudah membersamai di Kost Assyatun, Cibinong hingga selesai.
- **Theseus** dengan beragam warna warganya. Saya suka pengalamannya. Pengalaman yang cukup menegangkan pada awalnya, haha. Terima kasih atas bantuannya dalam menghadapi Indralaya yang pengap dan berdebu.

Semoga segala kebahagiaan yang ada bisa dirasakan oleh seluruh warga Theseus yang rupawan. *Until next time!*

- **Laboratorium Penginderaan Jauh dan SIG Kelautan**, terima kasih untuk dua tahunnya. Bukan laboratorium besar, komputernya juga sedikit. Tapi, yang bikin di lab senang karena ada ac, wifi-nya, dan orang-orangnya. Semoga tetap terus ada peminat bidang penginderaan jauh dan SIG walaupun banyak yang bilang susah, haha. Terima kasih buat asisten 2016, 2017, 2018, 2019, dan 2020 atas bantuannya selama ini. Sukses buat asisten 2020 dan 2021, semoga senang dan dimudahkan menjalankannya!

## HALAMAN MOTTO

“Hari ini adalah hidup, satu-satunya hidup yang kita yakini. Saatnya memanfaatkan hidup dengan sebaik-baiknya. Jika kita tertarik dan minat terhadap sesuatu hal, bangunkan diri kita. Hiduplah hari ini dengan penuh semangat”

**-Dale Carnegie**

“Do or do not. There is no try”

**-Yoda (pada film Star Wars: Empire Strikes Back)**

“Goals are good for setting a direction, but systems are best for making progress”

**-James Clear (pada buku Atomic Habits)**

“To see the world, things dangerous to come to, to see behind walls, draw closer, to find each other, and to feel. That is the purpose of life”

**-Walter Mitty (pada film The Secret Life of Walter Mitty)**

May the Force be with You.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisis Pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* Citra Sentinel-2A Menggunakan Algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* Untuk Penentuan Perairan Dangkal di Taman Nasional Karimunjawa”** tepat pada waktunya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Tengku Zia Ulqodry, Ph.D** dan Ibu **Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi, M.Sc** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pemikiran, bantuan serta arahan kepada Penulis selama proses penulisan laporan Tugas Akhir (Skripsi) dan penelitian di lapangan.

Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya dan memotivasi bagi mahasiswa Ilmu Kelautan Universitas Sriwijaya dapat melakukan penelitian lanjutan di bidang serupa. Penulis sepenuhnya menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat dalam penyusunan Skripsi ini baik dalam penjelasan dan penulisan yang digunakan. Oleh karena itu, Penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi terciptanya tulisan yang lebih baik lagi. Akhir kata, terima kasih.

Inderalaya, 9 Juni 2023



Haikal Rafi' Suwarno

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xx</b>
<b>I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	6
1.4 Manfaat .....	6
<b>II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Perairan Dangkal.....	7
2.2 <i>Remote Sensing</i> .....	7
2.3 <i>Satellite Derived Bathymetry</i> .....	8
2.4 Citra Sentinel-2A .....	9
2.5 Algoritma <i>K-Nearest Neighbor</i> dan <i>Random Forest</i> .....	10
2.6 Penelitian Terdahulu .....	12
<b>III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Prosedur Penelitian .....	17
3.4 Analisis Data.....	24



<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>26</b>
4.1 Kondisi Umum Perairan Karimunjawa.....	26
4.1.1 Kondisi Umum Lokasi Pemeruman sekitar Pelabuhan Karimunjawa..	27
4.1.2 Kondisi Umum Lokasi Pemeruman Pantai Alang .....	28
4.1.3 Kondisi Umum Lokasi Pemeruman Pantai Bobby .....	30
4.1.4 Pasang Surut di Karimunjawa.....	32
4.2 <i>Pre-processing</i> Citra .....	34
4.3 Hasil Pemeruman .....	37
4.3.1 Hasil Pemeruman di sekitar Pelabuhan Karimunjawa.....	37
4.3.2 Hasil Pemeruman di Pantai Alang .....	38
4.3.3 Hasil Pemeruman di Pantai Bobby .....	39
4.4 Hasil Ekstraksi Kedalaman .....	40
4.4.1 Hasil Ekstraksi Kedalaman Menggunakan <i>K-Nearest Neighbor</i> .....	40
4.4.2 Hasil Ekstraksi Kedalaman Menggunakan <i>Random Forest</i> .....	53
4.4.3 Komparasi Hasil Ekstraksi Kedalaman Menggunakan <i>K-Nearest Neighbor</i> dan <i>Random Forest</i> .....	65
<b>V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>72</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>76</b>
Lampiran 1. Data pemeruman untuk validasi di Pelabuhan Karimunjawa.....	77
Lampiran 2. Data pemeruman untuk validasi di Pantai Alang .....	80
Lampiran 3. Data pemeruman untuk validasi di Pantai Bobby .....	83
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian.....	86
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>88</b>

## DAFTAR GAMBAR

1. Kerangka Pemikiran.....	5
2. Ilustrasi <i>K-Nearest Neighbor</i> (Sumber: Nugraha dan Herlina, 2021) .....	10
3. Ilustrasi <i>Random Forest</i> (Sumber: Adiningrat, 2017) .....	11
4. Lokasi Penelitian.....	14
5. Citra Sentinel-2A yang digunakan dalam penelitian ini direkam pada bulan September 2022.....	16
6. Diagram Alir Penelitian .....	17
7. Jalur perekaman kedalaman menggunakan USV. ....	22
8. <i>Unmanned Surface Vehicle</i> .....	23
9. Karimunjawa dilihat dari pelabuhan Karimunjawa .....	26
10. Gambaran umum perairan dangkal di Karimunjawa .....	26
11. Sekitar Pelabuhan Karimunjawa.....	27
12. Lamun di sekitar Pelabuhan Karimunjawa .....	28
13. Kondisi Pantai Alang .....	28
14. Dasar Perairan Pantai Alang .....	29
15. Kayu penanda jaring di Pantai Alang .....	29
16. Kondisi Pantai Bobby .....	30
17. Lokasi pemeruman dilihat dari citra .....	30
18. Dasar dari perairan dangkal pada Pantai Bobby .....	31
19. Kondisi pasang surut di Karimunjawa saat citra direkam.....	32
20. Kondisi pasang surut di Karimunjawa pada saat pemeruman. ....	33
21. Citra Sentinel-2A belum terkoreksi .....	34
22. Citra Sentinel-2A yang sudah terkoreksi atmosferik .....	35
23. Citra Sentinel-2A yang sudah terkoreksi sunglint .....	36
24. Hasil pemeruman USV di sekitar Pelabuhan Karimunjawa .....	37
25. Hasil pemeruman USV di Pantai Alang .....	38
26. Hasil pemeruman USV di Pantai Bobby .....	39
27. Visual hasil proses ekstraksi kedalaman dengan algoritma <i>K-Nearest Neighbor</i> di sekitar Pelabuhan Karimunjawa .....	42
28. Visual hasil proses ekstraksi kedalaman dengan algoritma <i>K-Nearest Neighbor</i> di perairan Pantai Alang .....	47

29. Visual hasil proses ekstraksi kedalaman dengan algoritma <i>K-Nearest Neighbor</i> di perairan Pantai Bobby .....	51
30. Visual hasil proses ekstraksi kedalaman dengan algoritma <i>Random Forest</i> di perairan sekitar Pelabuhan Karimunjawa.....	55
31. Visual hasil proses ekstraksi kedalaman dengan algoritma <i>Random Forest</i> di perairan sekitar Pantai Alang.....	59
32. Visual hasil proses ekstraksi kedalaman dengan algoritma <i>Random Forest</i> di perairan Pantai Bobby .....	63
33. Perbandingan profil batimetri model SDB di Pelabuhan Karimunjawa menggunakan algoritma KNN (biru) dan RF (merah) .....	68
34. Perbandingan profil batimetri model SDB di Pantai Alang menggunakan algoritma KNN (biru) dan RF (merah).....	69
35. Perbandingan profil batimetri model SDB di Pantai Bobby menggunakan algoritma KNN (biru) dan RF (merah).....	69

## DAFTAR TABEL

1. Spesifikasi band Citra Sentinel-2A .....	9
2. Penelitian pemanfaatan SDB dengan algoritma <i>K-Nearest Neighbor</i> dan <i>Random Forest</i> .....	12
3. Alat dan Bahan di Lapangan .....	15
4. Alat dan Bahan Pengolahan Data .....	15
5. Kombinasi <i>band</i> yang dipakai .....	19
6. Citra dan <i>band</i> citra Sentinel-2A yang digunakan pada penelitian ini .....	37
7. Hasil ekstraksi kedalaman <i>K-Nearest Neighbor</i> di Pelabuhan Karimunjawa....	40
8. Hasil ekstraksi kedalaman <i>K-Nearest Neighbor</i> di Pantai Alang .....	44
9. Hasil ekstraksi kedalaman <i>K-Nearest Neighbor</i> di Pantai Bobby .....	49
10. Hasil ekstraksi kedalaman <i>Random Forest</i> di sekitar Pelabuhan Karimunjawa .....	53
11. Hasil ekstraksi kedalaman <i>Random Forest</i> di Pantai Alang .....	57
12. Hasil ekstraksi kedalaman <i>Random Forest</i> di Pantai Bobby .....	61
13. Perbandingan akurasi dari kedua algoritma pada ketiga lokasi penelitan di Karimunjawa .....	65

# I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan dimana luas lautan lebih besar dari daratannya. Karimunjawa mencerminkan Indonesia yang dikelilingi pulau-pulau dan garis pantai yang panjang. Karimunjawa merupakan salah satu kawasan taman nasional di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan tahun 1988 dengan total luas daratan dan lautan sebesar 111.625 hektar, serta terdapat 22 buah gugusan pulau di dalamnya (Susmita dan Soenyoto, 2022). Secara administratif, Kepulauan Karimunjawa merupakan salah satu kecamatan yang berlokasi di Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Berdasarkan Anida *et al* (2020) Indonesia mempunyai luasan perairan dangkal yang luas, begitu juga di Karimunjawa.

Menurut Arief *et al* (2017) daerah perairan dangkal memiliki tingkat kesulitan tersendiri dalam pemetaan kedalaman saat menggunakan kapal. Hal tersebut dikarenakan kapal sulit untuk melewati daerah yang dangkal sehingga pengukurannya menjadi tidak efisien. Survei dasar perairan ialah salah satu implementasi dari ilmu hidrografi. Menurut Masrukhin *et al* (2014) survei pemetaan dasar perairan dapat dimanfaatkan untuk mengetahui peletakan jalur pipa bawah laut, dapat juga dimanfaatkan untuk menentukan jalur kapal, dan banyak kegunaan lainnya.

Survei dasar perairan dapat menggunakan teknologi penginderaan jauh yang mana akan memudahkan proses akuisisi data batimetri pada perairan dangkal. Metode yang digunakan untuk mengukur kedalaman perairan ialah *Satellite Derived Bathymetry* (SDB). Metode ini memanfaatkan model empiris, dengan memanfaatkan data pemeruman dari lapangan serta menghubungkannya dengan citra satelit optis untuk mendapatkan data kedalaman perairan (Aji *et al.* 2021).

Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-2A. Citra Sentinel-2A ialah citra dengan resolusi menengah dan juga citra *open source* sehingga untuk keperluan pendidikan akan mudah didapatkan. Sentinel-2A adalah satelit milik European Space Agency (ESA) yang diluncurkan pada tahun 2015. Keunggulan dari citra ini mempunyai resolusi 10 meter serta mempunyai *swath* yang lebar bahkan memiliki

resolusi temporal 10 hari. Menurut Prayogo dan Basith (2020) citra Sentinel-2A dapat mengimbangi keakuratan dari penggunaan citra Worldview-3 untuk pemanfaatan metode SDB di perairan Karimunjawa. Citra Worldview-3 sendiri termasuk citra dengan resolusi tinggi.

Penelitian ini bermaksud untuk melihat perbedaan karakteristik dua algoritma dalam pengolahan data SDB menggunakan citra Sentinel-2A. Dua algoritma yang digunakan ialah algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan *Random Forest* (RF). Kedua algoritma ini memanfaatkan *machine learning* dalam proses pengolahan dan pengambilan keputusannya. *Machine learning* (ML) ialah salah satu pendekatan *artificial intelligence* (AI) yang digunakan untuk menggantikan manusia untuk menyelesaikan perhitungan atau masalah tanpa instruksi eksplisit, dengan mengandalkan pola serta inferensi (Ahmad, 2017).

Algoritma *K-Nearest Neighbor* merupakan salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk menentukan kedalaman suatu perairan. Algoritma ini cukup bergantung dengan adanya data atau model kedalaman yang ada di sekitarnya atau “tetangga”-nya. Data atau model kedalaman tersebut akan diolah oleh *machine learning* untuk menentukan nilai kedalamannya (Niroumand-Jadidi *et al.* 2020).

Kalkan *et al* (2021) menunjukkan penggunaan algoritma KNN dengan semakin banyak *number of neighbor* yang digunakan akan memberikan keakuratan yang semakin tinggi. Selain itu, menurut Legleiter dan Harrison (2018) penggunaan algoritma KNN dengan citra Worldview-3 di California dapat menghasilkan nilai *mean error* 0%. Sehingga algoritma KNN patut diujicobakan pada perairan Indonesia khususnya Karimunjawa untuk penelitian ini.

Berbeda dengan algoritma *K-Nearest Neighbor*, algoritma *Random Forest* (Breiman, 2001) merupakan salah satu algoritma atau cara non-linear yang mengembangkan model regresi untuk menghubungkan data dari citra satelit dengan data kedalaman perairan. Algoritma *Random Forest* akan secara otomatis membuat *decision tree* berdasarkan *data training* seperti kedalaman yang berasal dari variabel objektif seperti *pixel* pada citra satelit, dan akhirnya akan menghasilkan nilai rata-rata yang berasal dari model regresi *decision tree*. Algoritma *Random Forest* dapat menghasilkan model yang akurat dan fleksibel dengan berdasarkan data pemeruman yang dimiliki (Sagawa *et al.* 2019).

Algoritma RF pada penelitian Manessa *et al* (2016) menunjukkan jika selalu memberikan hasil keakuratan lebih baik dibandingkan algoritma konvensional. Senada dengan itu, Dewi *et al* (2021) menunjukkan jika algoritma RF mendapatkan predikat sebagai algoritma paling akurat untuk pemanfaatan SDB. Predikat tersebut didapat setelah dibandingkan dengan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dalam pemanfaatan SDB dari tiga jenis citra satelit yaitu, Worldview-2, Sentinel2A, dan Landsat-8. Dengan begitu, algoritma RF dapat diujikan dengan algoritma KNN untuk mengetahui penggunaan algoritma yang optimal untuk metode SDB di perairan Karimunjawa.

Survei ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran dari dasar perairan, pengukuran kedalaman, dan dimanfaatkan untuk melengkapi peta dasar perairan dangkal di Karimunjawa. Pemanfaatan metode ini lebih efisien baik untuk *cost* dan waktu yang dibutuhkan, dibandingkan survei langsung pada seluruh titik kedalaman di lapangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Menurut Nurkhayati dan Khakhim (2013), informasi kedalaman sangat diperlukan untuk berbagai kajian dan kegiatan pemetaan sumberdaya kelautan, baik perairan dalam maupun perairan dangkal seperti pesisir Karimunjawa. Untuk mendapatkan informasi kedalaman dan melakukan pemetaan pada perairan dangkal, sulit dilakukan jika menggunakan kapal atau perahu konvensional, sehingga untuk melakukan pengumpulan data pada perairan dangkal sering kali tidak terwujud.

Pengumpulan data yang sulit pada perairan dangkal menyebabkan informasi sebaran titik kedalaman perairan dangkal sangat terbatas. Menurut Bobsaid dan Jaelani (2017), dengan kemajuan teknologi saat ini, dapat memanfaatkan citra satelit untuk melakukan pemetaan dan memperkirakan kedalaman pada perairan dangkal, termasuk di Karimunjawa. Pemetaan kedalaman menggunakan citra satelit disebut dengan *Satellite Derived Bathymetry* (SDB). Proses pelaksanaan metode SDB dapat dilakukan menggunakan beberapa algoritma. Dua algoritma yang digunakan pada penelitian ini ialah *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest*.

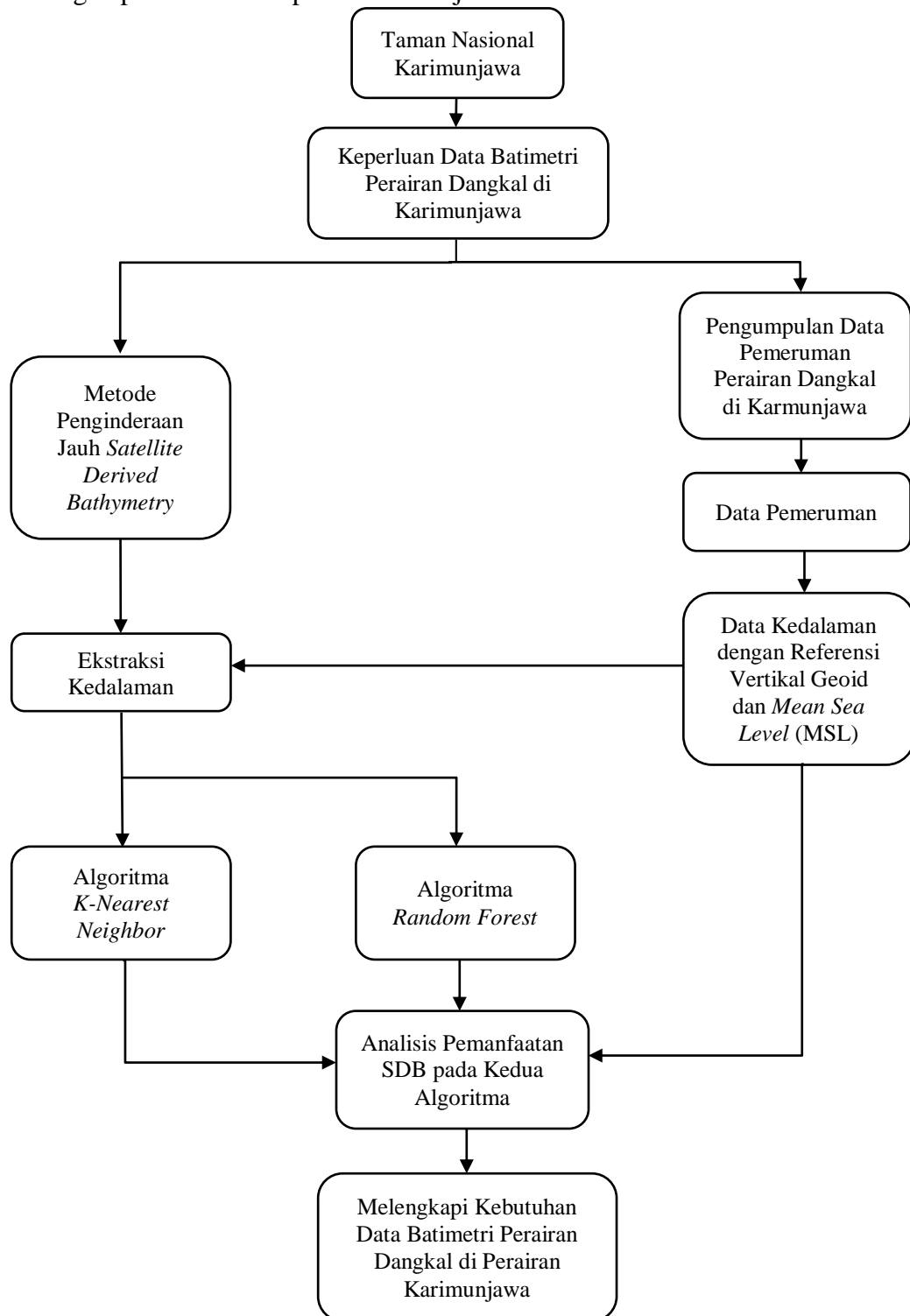
Algoritma *K-Nearest Neighbor* ialah algoritma yang memanfaatkan data atau model kedalaman yang ada di sekitarnya untuk menentukan kedalaman pada

titik tertentu dari citra. Sedangkan algoritma *Random Forest* adalah algoritma yang menghasilkan model regresi dari menghubungkan citra satelit dengan kedalaman. Adanya penelitian ini diharapkan memberikan pengetahuan mengenai algoritma terbaik beserta parameter yang dapat digunakan untuk menghasilkan model kedalaman yang lebih akurat. Sehingga pada akhirnya dapat membantu dalam meningkatkan dan mempercepat penyediaan data batimetri di Indonesia. Berdasarkan masalah yang ada, dapat diambil rumusan masalahnya sebagai berikut:

1. Kombinasi *band* manakah yang menghasilkan keakuratan paling optimal berdasarkan ketiga lokasi penelitian di perairan Karimunjawa, Jawa Tengah?
2. Berapa jumlah *data training* yang menghasilkan nilai keakuratan paling optimal di ketiga lokasi penelitian dari penggunaan kedua algoritma berdasarkan penggunaan *data training* 10%, 75%, dan 90%?
3. Bagaimana perbandingan dari algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* pada ketiga lokasi penelitian di perairan Karimunjawa, Jawa Tengah?
4. Bagaimana hasil perhitungan kedalaman yang dapat dijangkau oleh pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* citra Sentinel-2A menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* pada perairan Karimunjawa, Jawa Tengah?



Kerangka pemikiran dari penelitian disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

### 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini ialah:

1. Mengetahui kombinasi *band* yang menghasilkan keakuratan paling optimal berdasarkan tiga lokasi penelitian di Karimunjawa.
2. Mengetahui jumlah *data training* yang optimal untuk digunakan di perairan Karimunjawa berdasarkan ketiga lokasi penelitian.
3. Menganalisis dan memetakan kedalaman perairan dangkal dengan pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* citra Sentinel-2A dengan algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* pada perairan Karimunjawa.
4. Melakukan perbandingan uji akurasi penggunaan *Satellite Derived Bathymetry* citra Sentinel-2A antara algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* dengan memanfaatkan data pemeruman yang didapatkan oleh *Unmanned Surface Vehicle*.

### 1.4 Manfaat

Penelitian ini memberikan manfaat dengan menambah dan mendapatkan informasi mengenai pemanfaatan metode *Satellite Derived Bathymetry* dengan model empiris menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Random Forest* di Taman Nasional Karimunjawa. Informasi ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu inovasi dan solusi untuk melengkapi kebutuhan data batimetri khususnya perairan dangkal bagi badan pemerintah seperti Badan Informasi Geospasial.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiningrat DP. 2017. Mapping Dominant Tree Species from Remotely Sensed Image Using Machine Learning Algorithms [Tesis]. Enschede: Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente. 65 hal.
- Ahmad A. 2017. Mengenal Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Network, dan Deep Learning. *Jurnal Teknologi Indonesia* Vol. 1(1): 1 – 5
- Aji S, Sukmono A, Amarrohman F J. 2021. Analisis Pemanfaatan *Satellite Derived Bathymetry* Citra Sentinel-2A dengan Menggunakan Algoritma Lyzenga dan Stumpf (Studi Kasus: Perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh). *Jurnal Geodesi Undip* Vol. 10 (1): 68 – 77
- Anida F, Helmi M, Kunarso, Wirasatya 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* Vol. 2 (4): 1 – 8
- Arief M, Adawiah S W, Parwati E, Marpaung S. 2017. Metode Dual Kanal Untuk Estimasi Kedalaman di Perairan Dangkal Menggunakan Data Spot-6 Studi Kasus: Teluk Lampung. *Jurnal Penginderaan Jauh* Vol. 14 (1): 37 – 50
- Arrazy M, Primadini R. 2021. Potensi Subsektor Perikanan pada Provinsi di Indonesia. *Jurnal Bina Bangsa Ekonomika* Vol. 14 (1): 1 – 13
- Azzam A. 2023. *Data Science*. Yogyakarta: Deepublish
- Bahri R S, Maliki I. 2012. Perbandingan Algoritma *Template Matching* dan *Feature Extraction* pada *Optical Character Recognition*. *Jurnal Komputer dan Informatika* Vol. 1 (1): 29 – 35
- Bayyana S, Pawar S, Gole S, Dudhat S, Pande A, Mitra D, Johnson J A, Sivakumar K. 2020. Detection and Mapping of Seagrass Meadows at Ritchie Archipelago Using Sentinel-2A Satellite Imagery. *Current Science* Vol. 118 (8): 1275 – 1282
- Bobsaid M W, Jaelani L M. 2017. Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat-8 dan Sentinel-2A. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 6 (2): 564 – 569
- Breiman L. 2001. Random Forest. *Machine Learning* Vol. 45 (1): 5 – 32

- Caballero I, Stumpf R P, 2019. Retrieval of Nearshore Bathymetry from Sentinel-2A and 2B Satellites in South Florida Coastal Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Vol. 226 (1): 1 – 12
- Dimara A, Hamuna B, Dimara L. 2020. Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-2A Untuk Pemetaan Habitat Dasar Perairan Dangkal (Studi Kasus: Teluk Humbolt, Kota Jayapura). *Acropora* Vol. 3 (1): 25 – 31
- Duan Z, Chu S, Cheng L, Ji C, Li M, Shen W. 2022. Satellite-derived Bathymetry using Landsat-8 and Sentinel-2A images: assessment of atmospheric correction algorithms and depth derivation models in shallow waters. *Optic Express* Vol. 30 (3): 3238 – 3261
- Eugenio F, Marcello J, Mederos-Barrera A, Marques F. 2021. High Resolution Satellite Derived Bathymetry Mapping: Regression and Machine Learning Based Approaches. *Geoscience and Remote Sensing* Vol. 60 (1): 1 – 13
- Farizki M, Anurogo W. 2017. Pemetaan Kualitas Pemukiman dengan Menggunakan Penginderaan Jauh dan SIG di Kecamatan Batam Kota, Batam. *Majalah Geografi Indonesia* Vol. 31 (1): 39 – 45
- Haigh I D, Pickering M D, Green J A M, Arbic B K, Arns A, Dangendorf S, Hill D, Horsburgh K, Howard T, Idier D, Jay D A, Janicke L, Lee S B, Muller M, Schindelegger M, Talke S, Wilmes S, Woodworth P L. 2019. The Tides They Are a Changing: A Comprehensive Review of Past and Future Nonastronomical Changes in Tides Their Driving Mechanisms, and Future Implications. *Review of Geophysics* Vol. 58 (1): 1 – 39
- Hambali A, Santoso A, Teguh K, Julzarika A, Setiyadi J, Sigit E. 2021. Pemanfaatan Citra Planet Scope Untuk Estimasi Batimetri (Studi Kasus di Perairan Laut Dangkal Pulau Karimunjawa, Jepara, Jawa Tengah). *Jurnal Hidropilar* Vol. 7 (1): 23 – 32
- Hardianto D, Aryawan W D. 2017. Pembuatan Konsep Desain *Unmanned Surface Vehicle* Untuk Monitoring Wilayah Perairan Indonesia. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 6 (2): 65 – 70
- Idier D, Bertin X, Thompson P, Pickering M. 2019. Interactions Between Mean Sea Level, Tide, Surge, Waves and Flooding: Mechanisms and Contributions to Sea Level Variations at the Coast. *Surveys in Geographic* Vol. 40 (1): 1603 – 1630
- Jaelani L M, Laili N, Marini Y. 2015. Pengaruh Algoritma Lyzenga Dalam Pemetaan Terumbu Karang Menggunakan Worldview-2 Studi Kasus: Perairan PLTU Paiton Probolinggo. *Jurnal Penginderaan Jauh* Vol. 12 (2): 123 - 132

- Jiyah, Sudarsono B, Sukmono A. 2017. Studi Distribusi *Total Suspended Solid* (TSS) di Perairan Pantai Kabupaten Demak Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Geodesi Undip* Vol. 6 (1): 41 – 47
- Kalkan B, Bakirman T, Bayram B. 2021. Satellite Derived Bathymetry with Machine Learning: A Case Study for California. <https://www.researchgate.net/publication/358589839>. [2 Desember 2021]
- Lilesand T, Kiefer W, Chipman J. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation (fifth edition)*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lyzenga D R, Malinas N P, Tanis F. 2006. Multispectral Bathymetry Using a Simple Physically Based Algorithm. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* Vol. 44 (8): 2251 – 2259
- Manessa M D M, Kanno A, Sekine M, Haidar M, Yamamoto K, Imai T, Higuchi T. 2016. Satellite Derived Bathymetry Using Random Forest Algorithm and Worldview-2 Imagery. *Geoplanning* Vol. 3 (2): 117 – 126
- Masrukhin M A A, Sugianto D N, Satriadi A. 2014. Studi Batimetri Morfologi Dasar Laut Dalam Penentuan Jalur Peletakan Pipa Bawah Laut. *Jurnal Oseanografi* Vol. 3 (1): 94 – 104
- Niroumand-Jadidi M, Bovolo F, Bruzzone L. 2020. SMART-SDB: Sample Specific Multiple Band Ratio Technique for Satellite Derived Bathymetry. *Remote Sensing of Environment* Vol. 251 (1): 1 – 13
- Nisa S Q, Karang I, Putra I, Setiawan K, Aziz K. 2023. Perbandingan Akurasi Metode Empiris Untuk Pemetaan Batimetri Perairan Benoa Bali, Menggunakan Citra Satelit SPOT. *JMRT* Vol. 6 (1): 60 – 68
- Nurkhayati R, Khakhim N. 2013. Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird di Perairan Taman Nasional Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia* Vol. 1(1): 140 – 148
- Nybakken J. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologi*. Jakarta: Gramedia.
- Penggalih A, Iwan A, Hartuti M, Alam T M. 2018. Analisis Data Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Spot-7 Studi Kasus Perairan Teluk Sabang. *Jurnal Chart Datum* Vol. 4 (1): 68 – 74
- Perbani N M R R C, Suwardhi D. 2014. Pembangunan Sistem Penentuan Posisi dan Navigasi Berbasis Sistem *Unmanned Surface Vehicle* (USV) untuk Survei Batimetri. *Jurnal Itenas Rekayasa* Vol. 18 (1): 9 – 22
- Pratiwi M. 2022. Survei Batimetri di Perairan Dangkal Menggunakan Wahana USV Studi Kasus Sungai Ciliwung. *Jurnal Ilmiah Geomatika* Vol. 1 (1): 1 – 11

- 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). *JGISE* Vol. 3 (2): 161 – 167
- Putri D R, Sukmono A, Sudarsono B. 2018. Analisis Kombinasi Citra Sentinel-1A dan Citra Sentinel-2A Untuk Klasifikasi Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kabupaten Demak, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip* Vol. 7 (2): 85 – 86
- Ramadhan A, Apriliani T. 2016. Karakteristik Penangkapan Sumberdaya Ikan di Karimunjawa. *Marina* Vol. 2 (1): 9 – 17
- Ramadhan M L, Sasmito B, Hadi F. 2021. Analisis Pengaruh Nilai Keketukan Air Terhadap Akurasi *Satellite Derived Bathymetry* dengan Algoritma Stumpf (Studi Kasus: Pantai Kartini, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip* Vol. 10 (2): 36 – 46
- Sagawa T, Yamashita Y, Okumura T, Yamanokuchi T. 2019. Satellite Derived Bathymetry Using Machine Learning and Multi-Temporal Satellite Images. *Remote Sensing* Vol. 11 (1): 1 – 19
- Sari C A, Syah A F, Prayudha B, Salatalohi A. 2020. Pemetaan Habitat Bentik Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A di Pulau Liki, Papua. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital* Vol. 17 (1): 33 – 42
- Surinati D. 2007. Pasang Surut dan Energinya. *Oseana* Vol. 32 (1): 15 – 22
- Susmita M S, Soenyoto T. 2022. Survey Manajemen *Watersport Salma Dive Shope Centre* di Kepulauan Taman Nasional Karimunjawa. *Indonesian Journal for Physical Education and Sport* Vol. 3 (1): 79 – 83
- Tonion F, Pirotti F, Faina G, Paltrinieri D. 2020. A Machine Learning Approach to Multispectral Satellite Derived Bathymetry. *Remote Sensing and Spatial Information Science* Vol. 3 (1): 565 – 570
- Watanabe F S Y, Alcantara E, Rodrigues T W P, Imai N N, Barbosa C C F, Rotta L H S. 2015. Estimation of Chlorophyll-a Concentration and the Trophic State of the Barra Bonita Hydroelectric Reservoir Using OLU/Landsat-8 Images. *Environmental Research and Public Health* Vol. 12 (1): 10391 – 10417
- Wei C, Zhao Q, Lu Y, Fu D. 2021. Assesment of Empirical Algorithms for Shallow Water Bathymetry Using Multi-Spectral Imagery of Pearl River Delta Coast, China. *Remote Sensing* Vol. 13 (1): 1 – 17