

**ANALISIS TINGKAT AKURASI DATA BATIMETRI  
MENGUNAKAN SINGLEBEAM ECHOSOUNDER SYSTEM (SBES)  
DAN CITRA SATELIT SPOT-7 DI PERAIRAN GILI KETAPANG,  
KABUPATEN PROBOLINGGO**

***ANALYSIS OF BATHYMETRY DATA ACCURACY  
USING SINGLEBEAM ECHOSOUNDER SYSTEM (SBES)  
AND SPOT-7 SATELLITE IMAGERY IN GILI KETAPANG WATERS,  
PROBOLINGGO REGENCY***

**Hilda Hikmatul Laily<sup>1</sup>, Fahreza Okta Setyawan<sup>1</sup>, M. Arif Zainul Fuad<sup>1</sup>, & M. Rizki Nandika<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan dan Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, 65145 Malang, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional Republik Indonesia, 10340 Jakarta Pusat, Indonesia

e-mail : hildahikmatul11@gmail.com

Diterima tanggal: 7 Oktober 2023 ; diterima setelah perbaikan: 29 Februari 2024 ; Disetujui tanggal: 4 Maret 2024

### **ABSTRAK**

Pulau Gili Ketapang memiliki jumlah potensi sumberdaya perikanan mencapai 40%, sehingga Gili Ketapang berpotensi menjadi daerah perikanan dengan sumberdaya yang cukup tinggi dan pelayaran yang cukup padat. Hal ini berarti informasi mengenai batimetri di perairan tersebut bermanfaat untuk mengetahui kondisi perairan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi data batimetri dari *Singlebeam Echosounder System* (SBES) dan citra satelit SPOT-7, sehingga dapat digunakan sebagai referensi kedalaman perairan. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) metode klasifikasi Random Forest dengan menggunakan *software Satellite Derived Bathymetry* (SDB) GUI. Kedalaman perairan di Pulau Gili Ketapang berdasarkan hasil pemeruman berkisar antara 0-30m. Profil kedalaman perairan pada peta batimetri 3D menunjukkan bahwa morfologi dasar laut tidak rata. Profil kedalaman dari garis pantai hingga jarak 200 m memiliki nilai kedalaman 0-20 m, sedangkan profil kedalaman dari jarak 200m hingga perairan terbuka cukup bervariasi. Klasifikasi kelas lereng di perairan Pulau Gili Ketapang didominasi oleh kategori datar sebesar 77,28%. Hasil regresi ( $R^2$ ) pada model SDB antara data citra dengan data insitu yaitu 0,59 atau 59%. Nilai RMSE yang tertinggi terdapat pada kedalaman 0 – 5m yaitu 0,87, sedangkan yang terendah pada kedalaman 15,1 - 20m yaitu 1,31.

**Kata kunci:** *Satellite Derived Bathymetry*, SBES, SPOT-7, Pulau Gili Ketapang.

### **ABSTRACT**

*Gili Ketapang Island has a potential fishery resource up to 40%, that make potentially high-yield fishing area with busy maritime activities. It implies that information about bathymetry in its waters is useful for understanding the condition of the Gili Ketapang waters, both directly and indirectly. This research was conducted to assess the accuracy of bathymetry data derived from Singlebeam Echosounder System (SBES) and SPOT-7 satellite imagery, as a reference for water depth data. The technique used in this study is Satellite Derived Bathymetry (SDB) using the Random Forest classification method through the Satellite Derived Bathymetry (SDB) GUI software. The water depths around Gili Ketapang Island, based on the survey results, range from 0 to 30 meters. The 3D bathymetric map shows that the seafloor morphology is varied. The depth profile from the shoreline to 200 meters has depths range from 0 to 20 meters, while the depth profile from 200 meters to the open sea varies considerably. The slope classification classes in the waters of Gili Ketapang Island are predominantly flat, about 77.28%. The regression ( $R^2$ ) value of the SDB model between satellite imagery data and in-situ data is 0.59 or 59%. The highest root mean square error (RMSE) value is found in the depth range of 0-5 meters, which is 0.87, while the lowest RMSE value is in the depth range of 15.1-20 meters, which is 1.31.*

**Keywords:** *Satellite Derived Bathymetry*, SBES, SPOT-7, Gili Ketapang Island.

## PENDAHULUAN

Batimetri yaitu suatu ilmu yang mempelajari tentang pengukuran kedalaman dan pemetaan topografi dasar laut. Batimetri juga dapat diartikan sebagai proses mulai dari pengukuran kedalaman, pengolahan data batimetri, dan visualisasi peta batimetri sehingga dapat menggambarkan topografinya. Peta batimetri adalah peta yang menggambarkan perairan dan kedalamannya (Nurdianti *et al.*, 2016). Informasi mengenai batimetri perairan bermanfaat untuk mengetahui kondisi dasar perairan untuk kepentingan militer, navigasi serta perencanaan dan manajemen di wilayah pesisir (Suaib *et al.*, 2019). Survei batimetri dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit dan pengukuran secara langsung dengan menggunakan peralatan khusus (Setiawan *et al.*, 2019).

Penggunaan satelit untuk mengestimasi kedalaman di perairan laut dangkal dilakukan dengan menggunakan data citra satelit SPOT-7 yang memiliki potensi hasil sangat baik. Satelit SPOT-7 diluncurkan oleh SPOT Image dengan empat band spektral diantaranya yaitu *Blue*, *Green*, *Red*, dan NIR (Setiawan *et al.*, 2019). Band ratio Hijau-Biru memiliki kemampuan cukup baik dibandingkan dengan band yang lain dalam menembus perairan. Penggunaan band ratio citra pada analisis *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) berfungsi untuk mereduksi tutupan dasar perairan yang heterogen. *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) yaitu teknik penginderaan jauh untuk memperoleh informasi kedalaman perairan dengan memanfaatkan data citra satelit (Kuncoro *et al.*, 2021).

Citra satelit yang dapat digunakan dalam pengukuran batimetri yaitu *WorldView* dan *QuickBird* yang merupakan citra satelit dengan resolusi tinggi dan citra satelit resolusi menengah yaitu Sentinel dan Landsat. Selain itu, pengukuran batimetri dapat dilakukan dengan menggunakan SoNAR dan *airbone* LiDAR di perairan dangkal. Kedua metode tersebut menghasilkan data yang sangat akurat, akurasi yang diperoleh dengan menggunakan metode LiDAR yaitu sebesar 2 cm. Kelemahan dari kedua metode tersebut yaitu biayanya yang tinggi dan ketersediaan teknologi yang terbatas. Penginderaan jauh memanfaatkan radiasi gelombang pendek yang merambat pada kolom perairan. Radiasi tersebut akan diserap oleh molekul air dan disebar untuk dihamburkan. Hal ini direkam dalam citra penginderaan jauh, sehingga dapat menunjukkan kedalaman perairan dari radiasi matahari yang telah menembus perairan tersebut (Safi'i & Dewi, 2020).

Survei batimetri secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi akustik. Teknologi akustik yang digunakan untuk mengetahui kedalaman perairan yaitu *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*. *Singlebeam Echosounder System* (SBES) menggunakan pancaran suara tunggal untuk mengukur kedalaman air (Wijonarko *et al.*, 2016). Terdapat beberapa kelebihan dari SBES yaitu penggunaan alatnya telah digunakan secara luas dengan pengoperasian alat yang tergolong mudah. Selain itu, SBES juga memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi baik dalam presisi hasil maupun resolusi (Hamuna *et al.*, 2018).

Perairan Gili Ketapang terletak di perairan lepas utara Jawa, tepatnya di sebelah utara Kabupaten Probolinggo. Perairan Pulau Gili Ketapang berwarna biru dengan air laut yang jernih. Bagian utara dan timur pulau ini merupakan pantai dengan banyak batu karang (Pryambodo *et al.*, 2020). Nilai kecerahan perairan di sekitar Pulau Gili Ketapang berkisar 5,99 – 10 m. Jumlah potensi sumberdaya perikanan di Pulau Gili Ketapang mencapai 40%, sehingga Gili Ketapang berpotensi menjadi daerah perikanan dengan sumberdaya yang cukup tinggi dan pelayaran yang cukup padat. Hal tersebut juga sudah dijelaskan oleh Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Probolinggo (Dwiariantio & Syah, 2020). Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008, Keselamatan dan Keamanan Pelayaran adalah suatu keadaan terpenuhinya persyaratan keselamatan dan keamanan yang menyangkut angkutan di perairan, kepelabuhanan, dan lingkungan maritim (Maulana & Luthfi, 2018). Jadi sesuai berbagai referensi diatas penelitian ini akan mengukur kedalaman perairan di Gili Ketapang, menganalisis bentuk topografi dasar laut, dan membandingkan hasil data batimetri dari SBES dan citra satelit SPOT-7 untuk mengetahui tingkat akurasinya, sehingga dapat digunakan sebagai referensi kedalaman perairan.

Luas wilayah Pulau Gili Ketapang yaitu 68 hektar, sedangkan jarak pulau ini dari kota Probolinggo kurang lebih 12,1 km. Menurut Peraturan Menteri Perikanan dan Kelautan No. 41 Tahun 2000, Pulau Gili Ketapang termasuk dalam kategori Pulau Kecil. Karakteristik pulau ini yaitu dikelilingi oleh pasir pantai berwarna putih di bagian selatan dan barat pulau, sedangkan bagian timur dan utara pulau Gili Ketapang merupakan pantai batu karang. Perairan Pulau Gili Ketapang berwarna biru dengan air laut yang jernih (Pryambodo *et al.*, 2020). Terdapat berbagai macam jenis terumbu karang di perairan Pulau Gili Ketapang, karena kondisi

perairannya yang cocok dijadikan sebagai habitat terumbu karang. Hal ini menjadi daya tarik wisatawan untuk melakukan snorkeling di perairan Pulau Gili Ketapang (Krisnawati & Hidayah, 2020). Berikut ini merupakan peta lokasi penelitian seperti pada (Gambar 1). Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu selama 3 hari pada 7– 9 Februari 2023.

## BAHAN DAN METODE

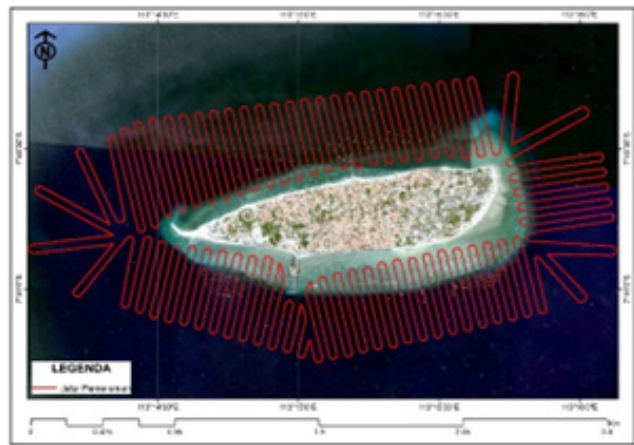
### Pemeruman (sounding)

Data primer batimetri merupakan data yang diperoleh secara langsung pada saat melakukan pemeruman (*sounding*) dengan menggunakan singlebeam echosounder. Data ini didapatkan langsung dari lokasi penelitian yaitu di perairan Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo. Proses pemeruman dilakukan dengan menggunakan jalur survei hidrografi systematic with parallel transects, sehingga memiliki spasi yang sama pada setiap garisnya yaitu 50m. Cakupan transek paralel ini lebih baik dibandingkan dengan pembagian jarak secara acak.

Pemeruman dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai topografi dasar perairan. Tahapan dalam penggambaran topografi dasar perairan disebut dengan survei batimetri. Tahapan tersebut dimulai dari pengukuran, pengolahan data, hingga visualisasinya. Gambaran atau model batimetri dapat diperoleh dengan menginterpolasikan data batimetri. Interpolasi tersebut dilakukan dengan menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW). Pengolahan data penampang melintang (*cross section*) bertujuan untuk menganalisa perubahan profil dasar perairan pada area yang diteliti. Data yang digunakan untuk kemiringan lereng (*cross section*) yaitu hasil pengolahan data batimetri (peta kontur batimetri). Hasil akhir dari



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.  
*Figure 1. Research Location Map.*  
 Sumber: Google Earth Pro, 2023



Gambar 2. Jalur Pemeruman.  
*Figure 2. Sounding Line.*

pengolahan data ini yaitu nilai kemiringan (slope) di lokasi penelitian (Tabel 2) (Catherinna *et al.*, 2015). Berikut merupakan jalur pemeruman yang digunakan dalam penelitian ini (Gambar 2).

Survei batimetri dilakukan dengan menggunakan echosounder, data mentah hasil pemeruman harus dilakukan koreksi terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kedalaman yang sebenarnya. Koreksi pertama yang harus dilakukan yaitu koreksi transducer sebesar 50cm, kemudian dilanjutkan dengan koreksi pasang surut. Pengolahan data terakhir pada data pemeruman yaitu menentukan kedalaman yang sesungguhnya (Sudibyo *et al.*, 2021).

$$rt = (TWLt - (MSL + Z0))$$

Keterangan :

- rt : besarnya koreksi hasil pengukuran kedalaman pada waktu t
- TWLt : posisi permukaan laut (*True Water Level*) pada waktu t
- MSL : muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*)
- Z0 : kedalaman muka surutan di bawah MSL

$$D = dT - rt$$

Keterangan :

- D : kedalaman sesungguhnya
- dT : kedalaman terkoreksi *transducer*
- rt : koreksi pasang surut laut pada waktu t

## Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh secara langsung dengan menggunakan **tide staff**. Pengukuran ini dilakukan secara bersamaan pada saat melakukan pemeruman (**sounding**) dengan interval pencatatan 10 menit. Selain itu, diperlukan juga data sekunder pasang surut yaitu data prediksi pasang surut selama 30 hari yang didapatkan dari website resmi instansi Badan Informasi Geospasial (BIG) yaitu <https://srgi.big.go.id/tides>.

Koreksi kedalaman dilakukan pada hasil pemeruman (**sounding**) dengan menggunakan data pasang surut, sehingga didapatkan kedalaman yang sebenarnya. Metode yang digunakan yaitu admiralty, metode ini bertujuan untuk mendapatkan komponen harmonik dan MSL (*Mean Sea Level*). MSL (*Mean Sea Level*) (Mutiara & Muhiddin, 2016).

$$MSL = A (So)$$

Keterangan :

A : amplitudo

So : rerata muka air laut

Konstanta pasang surut (K1, O1, M2, S2) digunakan untuk menentukan tipe pasang surut di suatu perairan. Tipe pasang surut tersebut dapat diketahui dengan perhitungan bilangan formzahl (Catherinna *et al.*, 2015).

$$F = \frac{A(K1) + A(O1)}{A(M2) + A(S2)}$$

Keterangan :

F : nilai formzahl

A : amplitudo

K1 dan O1 : konstanta pasang surut harian utama

M2 dan S2 : konstanta pasang surut ganda utama

## Data Citra Satelit SPOT-7

Terdapat beberapa koreksi yang dilakukan pada citra satelit SPOT-7 yaitu koreksi geometrik, radiometrik, atmosfer, *sunglint*, dan *masking*. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) dengan metode empiris yaitu *Random Forest*. Koreksi geometrik yaitu proses memposisikan citra satelit sesuai dengan koordinat yang sebenarnya. Koreksi radiometrik merupakan proses untuk memperbaiki kualitas visual citra (Ihlas *et al.*, 2018). Koreksi atmosfer dilakukan untuk memperbaiki gangguan atmosfer seperti asap dan

kabut tipis (Arya *et al.*, 2016).

Koreksi *sunglint* yaitu proses untuk memperoleh hasil citra yang lebih halus. Koreksi ini bertujuan untuk menghilangkan kontribusi pemantulan langsung dari atas permukaan laut (*air-water interface*) pada citra dengan bantuan menggunakan band tunggal dan *band Nir*. Berikut ini merupakan rumus untuk koreksi *sunglint* (Anida *et al.*, 2020).

$$R'i = Ri - (bi (Rnir - Minnir))$$

Keterangan:

R'I : nilai kanal i setelah direduksi

Ri : nilai kanal i awal

bi : besarnya kemiringan regresi

Rnir : nilai kanal NIR

Minnir : nilai minimal kanal NIR

Masking yaitu proses pemisahan darat dan air untuk membatasi wilayah penelitian yang akan dianalisis. Berikut merupakan perhitungan masking dengan menggunakan *Normalized Difference Wetness Index* (NDWI) (Mahestro *et al.*, 2022).

$$NDWI = (\rho_{Green} - \rho_{NIR}) / (\rho_{Green} + \rho_{NIR})$$

Keterangan:

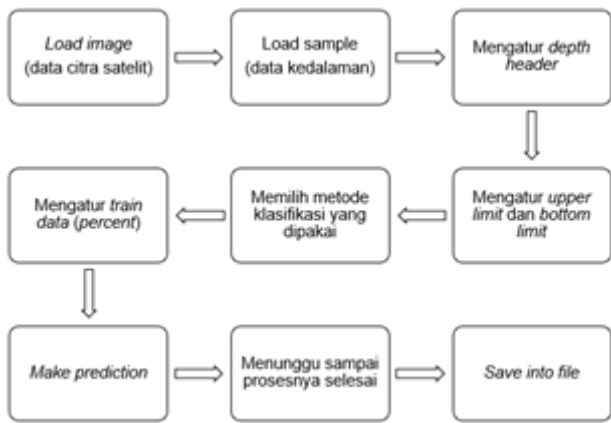
$\rho_{Green}$  : kanal green (Kanal 2)

$\rho_{NIR}$  : kanal near infrared (Kanal 4)

Salah satu pendekatan teknik *Satellite Derived Bathymetry* yaitu dengan menggunakan metode empiris. Prinsip metode ini adalah menghubungkan nilai spektral citra dengan data kedalaman yang terukur. *Random Forest* merupakan salah satu metode klasifikasi untuk membangun model regresi yang menghubungkan citra satelit dengan data kedalaman air. Implementasikan metode klasifikasi *Random Forest* yaitu dengan membuat pohon menggunakan data training (kedalaman air) dan variabel prediktor (nilai spektral) dari citra satelit (Safi'i & Dewi, 2020). Kelebihan *Random Forest* yaitu mampu menghasilkan klasifikasi yang baik pada data training yang terdapat banyak outlier dan banyak *noise* (Wicaksono *et al.*, 2019).

*Satellite Derived Bathymetry* (SDB) GUI merupakan software yang digunakan untuk membuat prediksi batimetri dengan menggunakan metode empiris. Terdapat dua data yang dibutuhkan yaitu citra satelit yang sudah terkoreksi dan data sampel kedalaman.





Gambar 3. Alur Pengolahan Data SDB GUI.  
Figure 3. SDB GUI Data Processing Flow.

Citra yang diperlukan merupakan citra multi-band seperti RGB dan RGBN, kemudian secara otomatis GUI akan memproses semua band citra tersebut. Terdapat beberapa metode klasifikasi dalam SDB GUI diantaranya yaitu *K-Nearest Neighbors*, *Multiple Linear Regression*, *Random Forest*, dan *Support Vector Machines*. Output dari SDB GUI yaitu file raster georeferensi yang berisi koordinat setiap piksel dan menunjukkan nilai kedalaman perairan. Program SDB GUI diperoleh dari instansi Badan Informasi Geospasial (BIG). Berikut merupakan alur pengolahan data SDB dengan menggunakan software SDB GUI seperti pada (Gambar 3).

### Analisa Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis data uji regresi dan uji akurasi. Analisis regresi yaitu salah satu analisis yang paling sering digunakan dalam penelitian. Analisis regresi bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh suatu variabel bebas (x) terhadap variabel respon (y). Selain itu, analisis regresi juga digunakan untuk membantu dalam pendeteksian dugaan. Hal ini dikarenakan konsep dasar dari model statistik ini yaitu pendugaan dan peramalan (Susanti *et al.*, 2019). Uji akurasi merupakan pembuktian terhadap suatu peta yang akan berpengaruh pada tingkat kepercayaan. Dalam pengambilan keputusan dibutuhkan peta dengan tingkat akurasi atau ketelitian yang tinggi. Peta tersebut digunakan untuk memperkuat informasi yang diperoleh. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari uji akurasi ini yaitu jenis sensor, waktu akuisisi, perangkat lunak pemrosesan, dan kemampuan sumber daya manusia atau operator (Meiarti *et al.*, 2019). Ketepatan pendugaan dari sebuah model regresi dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Berikut merupakan persamaan untuk menghitung  $R^2$  dan RMSE (Setiawan *et al.*, 2019).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum_i (h_i - \bar{h})^2}$$

$$RMSE = \left( \frac{\sum (h_i - \hat{h}_i)^2}{n} \right)^{0.5}$$

Keterangan :

$h$  : kedalaman insitu

$\hat{h}$  : kedalaman hasil ekstraksi citra SPOT-7

$\bar{h}$  : mean dari kedalaman *insitu*

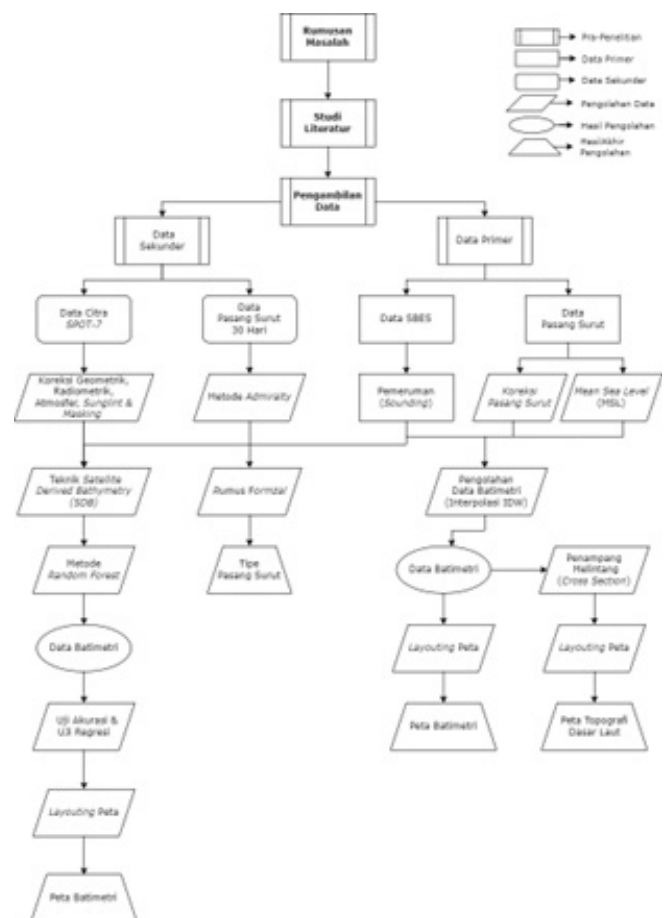
$n$  : jumlah data input

Gambar 4 merupakan diagram alir pengolahan data dari pemetaan batimetri di perairan Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo.

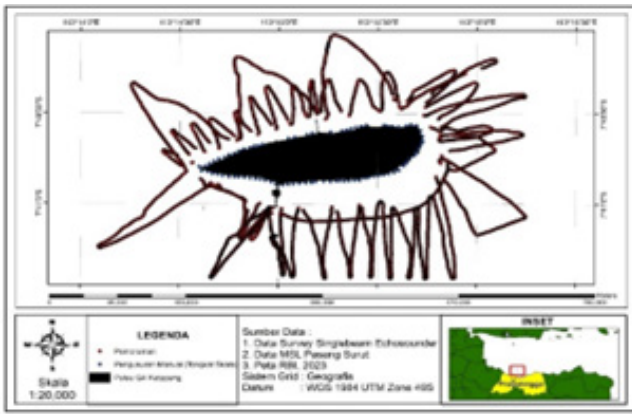
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Sounding

Berikut merupakan hasil pemeruman dengan menggunakan *singlebeam echosounder* di perairan Gili Ketapang (Gambar 5) dan grafik elevasi pasang surut pada saat pemeruman (Gambar 6).



Gambar 4. Diagram Alir Pengolahan Data.  
Figure 4. Data Processing Flow Diagram.

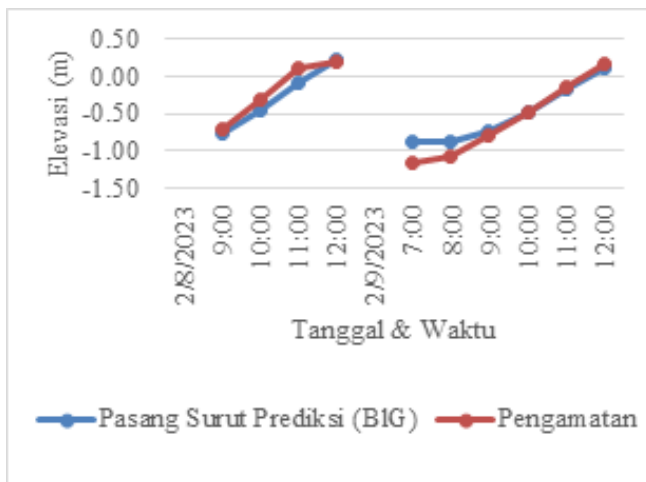


Gambar 5. Peta Hasil Jalur Pemeruman.

Figure 5. Map of the Results of the Announcement Line.

Berdasarkan hasil pemeruman (*sounding*) didapatkan bahwa hasil jalur pemeruman tidak sesuai dengan jalur pemeruman yang sudah direncanakan. Hal ini dikarenakan beberapa faktor, seperti banyaknya kapal-kapal nelayan yang bersandar di dekat pelabuhan dan keramba di selatan Pulau Gili Ketapang. Pada perairan dangkal tidak dapat dilalui kapal karena banyaknya batu-batu karang. Total Panjang jalur pemeruman yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu 52,6 km dan 4.386 data.

Titik terluar pada hasil pemeruman tidak sesuai dengan yang sudah direncanakan karena kondisi cuaca dan perairan yang tidak mendukung, serta keterbatasan kemampuan kapal dalam manuver. Hal ini dikarenakan kurangnya kemampuan pengemudi kapal dan ukuran kapal yang besar, sehingga sulit untuk dikendalikan. Ukuran kapal yang besar tidak bisa menjangkau daerah perairan yang dangkal (Hanifah *et al.*, 2016). Faktor oseanografi seperti gelombang dan arus dapat mempengaruhi hasil pemeruman karena pergerakan



Gambar 6. Grafik Elevasi Pasang Surut 7 – 9 Februari 2023.  
Figure 6. Graph of Tidal Elevation 7 – 9 February 2023.

kapal menjadi tidak stabil. Selain itu, lokasi penelitian yang sulit diprediksi juga mempengaruhi hasil pemeruman, seperti banyaknya kapal yang bersandar di sekitar pelabuhan (Saputra *et al.*, 2016).

Berdasarkan hasil pengamatan pasang surut pada saat pemeruman berlangsung pada 7-9 Februari 2023 didapatkan grafik elevasi pasang surut (Gambar 5). Data pasang surut pengamatan lapang ditandai dengan warna merah, sedangkan data pasang surut dari prediksi BIG ditandai dengan warna biru. Elevasi pasang surut dari pengamatan lapang tidak jauh berbeda dengan elevasi pasang surut dari data prediksi BIG. Hal ini dapat dilihat dari titik-titik yang memiliki nilai elevasi hampir sama atau bahkan sama.

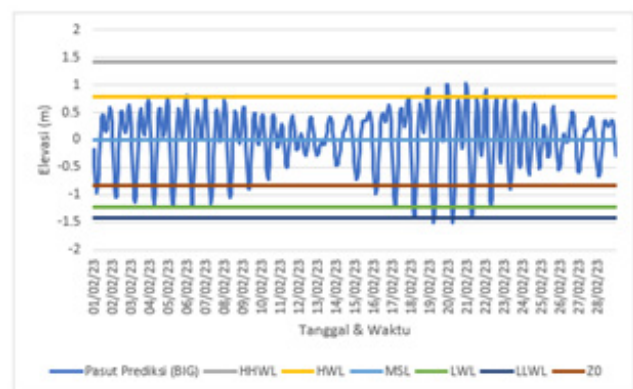
Terdapat perbedaan antara grafik elevasi pasang surut dari data prediksi BIG dan data lapang. Hal ini terjadi karena referensi acuan pada saat pengambilan data lapang pasang surut berbeda dari perekaman data pasang surut prediksi BIG, sehingga dapat mengakibatkan kesalahan *offset*. Kesalahan *offset* tersebut dapat diselesaikan dengan melakukan koreksi *offset* pada data pasang surut. Koreksi *offset* bertujuan untuk menyamakan nilai referensi kelompok data yang dianggap salah terhadap kelompok data yang dianggap benar (Yuliandany *et al.*, 2020).

### Pasang Surut (Pemeruman)

Tabel 1 merupakan komponen pasang surut dan Gambar 7 merupakan grafik elevasi dari data

Tabel 1. Nilai Konstanta Harmonik  
Table 1. Harmonic Constant Value

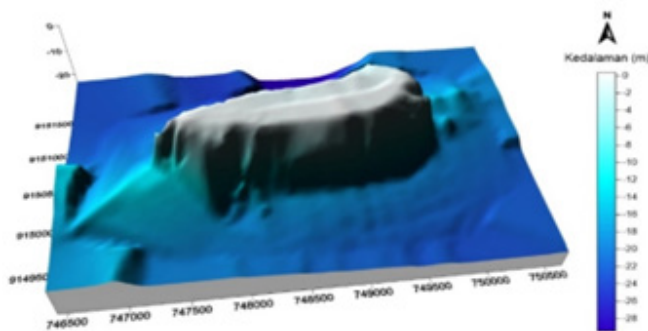
	$S_0$	$M_2$	$S_2$	$N_2$	$K_1$	$O_1$	$M_4$	$MS_4$	$K_2$	$P_1$
A Cm	0	45	20	7	49	28	0	0	5	16
$g^*$		-41	-14	298	318	390	203	255	-14	318



Gambar 7. Grafik Elevasi Pasang Surut Perairan Gili Ketapang Februari 2023.

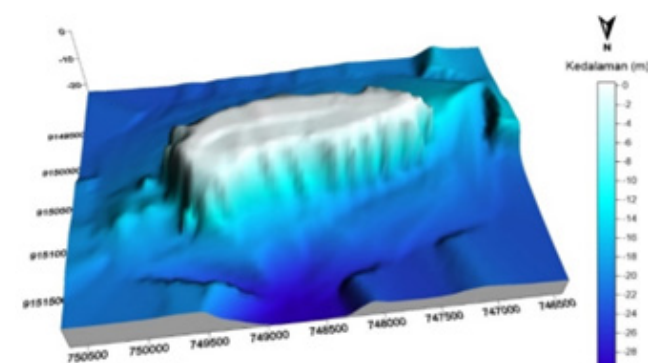
Figure 7. Graph of Tidal Elevation of Gili Ketapang Waters February 2023.

prediksi BIG pada bulan Februari 2023. Berdasarkan pengolahan data pasang surut dari data prediksi BIG pada bulan Februari 2023 di perairan Gili Ketapang didapatkan grafik elevasi pasang surut dan nilai konstanta harmonik. Nilai dari HHWL, HWL, MSL, LWL, LLWL, dan Z0 berturut-turut adalah 1,42, 0,8, 0,002, -1,23, -1,43, dan -0,83. Hasil bilangan formzahl yang dihitung dari nilai konstanta harmonik yaitu 1,18. Sesuai dengan grafik dan bilangan formzahl yang diperoleh, perairan tersebut mengalami pasang surut campuran condong ke harian ganda. Terdapat dua tipe pasang surut di perairan utara Jawa Timur yaitu tipe pasang surut campuran condong harian ganda dan tipe pasang surut harian tunggal. Perairan Situbondo, Probolinggo, dan Pasuruan memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda. Perairan utara Gresik, Lamongan, dan Tuban mengalami tipe pasang surut harian tunggal (Fuad *et al.*, 2021).



Gambar 8. Peta Batimetri 3D di Pulau Gili Ketapang Bagian Selatan dan Barat.

Figure 8. 3D Bathymetry Map of Southern and Western Gili Ketapang Island.



Gambar 9. Peta Batimetri 3D di Pulau Gili Ketapang Bagian Utara dan Timur.

Figure 9. 3D Bathymetry Map of Northern and Eastern Gili Ketapang Islands.

### Peta batimetri 3D

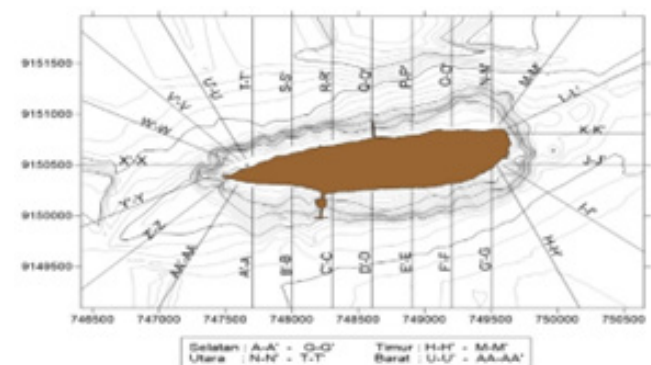
Peta batimetri 3D dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian selatan dan barat serta bagian utara dan timur. Berikut merupakan peta batimetri 3D di perairan Pulau Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo (Gambar 8) dan (Gambar 9).

Berdasarkan peta batimetri 3D (Gambar 7) dan (Gambar 8) menunjukkan bahwa morfologi dasar laut tidak rata karena adanya cekungan dan permukaan dasar laut yang lebih tinggi, sehingga terdapat perbedaan kedalaman. Rentang kedalaman di perairan sekitar Pulau Gili Ketapang berkisar antara 0 – 28m. Kedalaman terendah berada di dekat garis pantai yang ditandai dengan warna biru muda. Kedalaman tertinggi berada jauh dari garis pantai yang ditandai dengan warna biru tua. Kedalaman perairan di Pulau Gili Ketapang sebagian besar bertambah seiring menjauhnya dari garis pantai. Hal ini juga terjadi di perairan Pungur, Batam, Kepulauan Riau (Resda *et al.*, 2021).

Kedalaman perairan di sebelah utara pulau relatif lebih dalam dibandingkan dengan perairan di sebelah selatan Pulau Gili Ketapang. Profil dasar laut di dekat garis pantai memiliki kemiringan yang relatif terjal. Kemiringannya akan semakin landai apabila semakin ke arah barat daya dan timur laut menjauhi garis pantai. Semakin ke arah selatan kemiringannya akan landai hingga relatif datar (Pryambodo *et al.*, 2020).

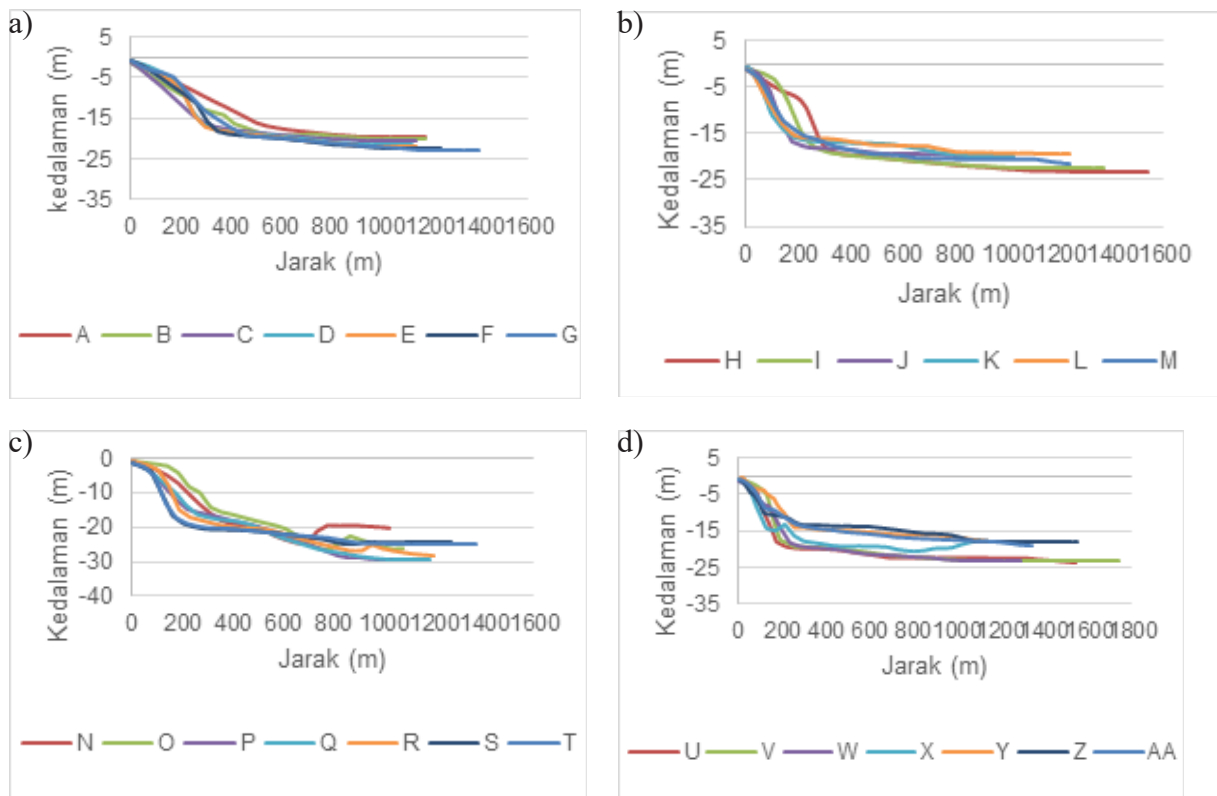
### Penampang melintang

Terdapat 27 titik *cross section* di perairan Pulau Gili Ketapang yang dianggap mewakili profil penampang melintang seperti pada (Gambar 10). Titik *cross section* terbagi menjadi 4 bagian, yaitu bagian selatan dimulai dari titik A-A' hingga G-G', bagian timur mulai dari titik H-H' hingga M-M', bagian utara mulai dari titik



Gambar 10. Titik Cross section.

Figure 10. Cross section point.



Gambar 11. Titik Cross Section: (a) Selatan; (b) Timur; (c) Utara; (d) Barat.  
 Figure 11. Cross Section Points: (a) South; (b) East; (c) North; (d) West.

N-N' hingga T-T', dan bagian barat mulai dari titik U-U' hingga AA-AA'. Penarikan garis *cross section* dimulai dari pesisir kemudian menjauhi pesisir ke arah laut lepas. Pemilihan letak garis *cross section* di daerah penelitian tersebut diperkirakan telah mewakili morfologi dasar laut pada setiap sisi Pulau Gili Ketapang. Penarikan garis *cross section* bertujuan untuk menganalisis bentuk-bentuk permukaan dasar laut. Setiap garis *cross section* memiliki bentuk morfologi dasar laut dan panjang garis yang berbeda-beda sesuai dengan daerah penelitiannya. Berikut merupakan hasil *cross section* di perairan Pulau Gili Ketapang pada masing-masing bagian wilayah. Titik *cross section* bagian selatan, timur, utara dan barat seperti pada (Gambar 11).

Berdasarkan titik *cross section* pada (Gambar 10) didapatkan bahwa perubahan profil kedalaman laut di perairan Gili Ketapang terjadi secara cepat mulai dari kedalaman 0m hingga 20m pada jarak 200m dari garis pantai. Titik *cross section* pada bagian selatan (Gambar 10a) dan timur (Gambar 10b) menunjukkan bahwa semakin jauh dari garis pantai kemiringannya akan semakin landai hingga relatif datar. Titik *cross section* pada bagian utara (Gambar 10c) dan barat (Gambar 10d) menunjukkan bahwa semakin menjauhi dari garis pantai, maka kemiringannya akan semakin bervariasi. Bagian utara Pulau Gili Ketapang dengan jarak sekitar

Tabel 2. Hasil Klasifikasi Kelas Lereng  
 Table 2. Slope Class Classification Results

Lereng Slope (%)	Keterangan	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (%)
0-2 %	Datar	8,56	77,28
2-7 %	Landai	1,98	17,89
7-15 %	Bergelombang	0,44	3,96
15-25 %	Curam	0,09	0,83
25-45 %	Sangat Curam	0,004	0,04
>45 %	Terjal	0	0

1200 m dari garis pantai merupakan daerah terdalam. Hasil tersebut berbeda dengan penelitian Pryambodo, *et al.* (2020) di perairan Gili Ketapang yang menyebutkan bahwa daerah terdalam terdapat di bagian utara pulau dengan jarak sekitar 1700m dari garis pantai. Hal ini terjadi karena perbedaan titik koordinat dalam penarikan garis *cross section* di wilayah penelitian dan luas wilayah penelitian yang berbeda.

### Slope

Tabel 2 merupakan hasil pengolahan slope dari data pemeruman di perairan Gili Ketapang. Berdasarkan hasil pemeruman (*sounding*) di perairan Gili Ketapang didapatkan nilai kemiringan (*slope*) berdasarkan klasifikasi kelas lereng di atas. Nilai kemiringan (*slope*) terendah yaitu sebesar 0% dengan kategori terjal dan

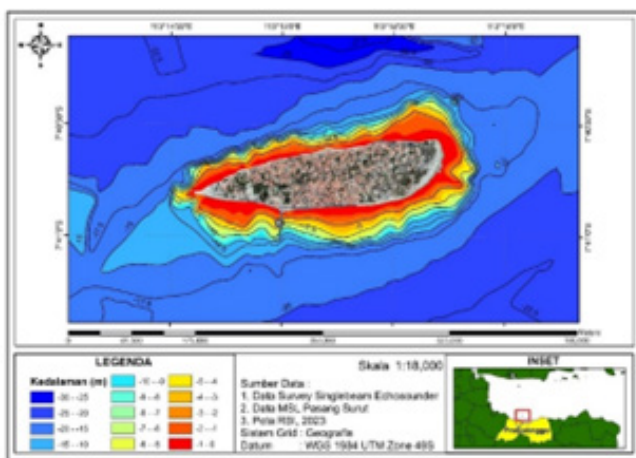


nilai kemiringan (*slope*) tertinggi yaitu sebesar 77.28% dengan kategori datar. Hal ini berarti pada daerah penelitian tersebut didominasi oleh morfologi dasar laut yang datar seperti pada (Gambar 7) dan (Gambar 8). Nilai kemiringan (*slope*) dengan kategori landai, bergelombang, curam, dan sangat curam berturut-turut adalah 17,89%, 3,96%, 0,83%, dan 0,04%.

Daerah yang relatif datar di perairan Gili Ketapang terdapat pada kedalaman 16 - 20m dengan kemiringan sekitar 1,3% pada bagian barat daya Pulau Gili Ketapang. Daerah dengan kemiringan yang relatif terjal berada di dekat pantai Pulau Gili Ketapang dengan persentase kemiringan sekitar 10%. Kemiringannya akan semakin landai apabila semakin ke arah laut bebas menjauhi garis pantai (Pryambodo *et al.*, 2020). Hal ini sama dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan kemiringan (*slope*) di perairan Gili Ketapang didominasi oleh morfologi dasar laut dengan kategori datar yaitu sebesar 77,28%. Terdapat perbedaan klasifikasi kelas lereng pada hasil penelitian dengan penelitian yang dilakukan oleh Pryambodo, *et al.* (2020), hal ini dikarenakan perbedaan referensi yang digunakan untuk klasifikasi kelas lereng.

**Singlebeam Echosounder System (SBES)**

Gambar 12 merupakan peta batimetri hasil pemeruman (*sounding*) dengan koreksi pasang surut *Mean Sea Level* (MSL) dan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) di perairan Gili Ketapang. Berdasarkan hasil pengolahan data pemeruman dengan koreksi pasang surut *Mean Sea Level* (MSL) dan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) didapatkan peta batimetri diatas. Rentang kedalaman di perairan sekitar Pulau Gili Ketapang berkisar antara 0 – 30m yang ditunjukkan pada 14 kelas interval berdasarkan klasifikasi distribusi



Gambar 12. Peta Batimetri Interpolasi IDW.  
Figure 12. IDW Interpolated Bathymetry Map.

frekuensi menggunakan metode *sturges*. Lokasi terdangkal berada di dekat garis pantai yang ditandai dengan warna merah. Lokasi terdalam berada jauh dari garis pantai yang ditandai dengan warna biru tua. Kedalaman perairan di Pulau Gili Ketapang sebagian besar bertambah seiring menjauhnya dari garis pantai.

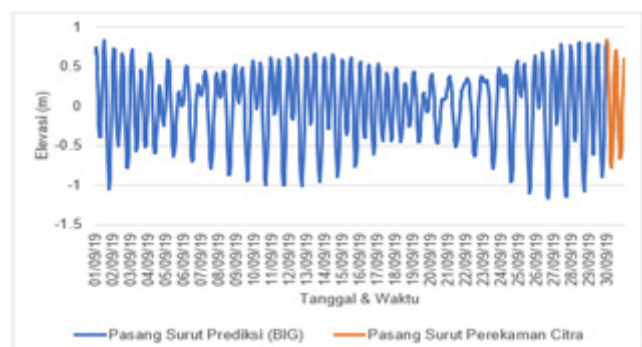
Kelebihan interpolasi data kedalaman dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) yaitu nilai yang dihasilkan tidak lebih besar maupun lebih kecil dari data sampel. Interpolasi IDW cocok digunakan di wilayah pesisir untuk menginterpolasi data fisik. Asumsi dari metode IDW yaitu nilai dari titik-titik yang saling berdekatan akan lebih serupa daripada titik-titik yang saling berjauhan. Hal penting yang harus diperhatikan dalam metode interpolasi IDW yaitu nilai parameter *power* dan jumlah data. Kedua hal tersebut dapat mempengaruhi keakuratan hasil interpolasi, pada umumnya nilai parameter *power* yang digunakan yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 (Purnomo, 2018). Rentang kedalaman di Pulau Gili Ketapang dengan menggunakan metode interpolasi IDW berkisar antara 0-33m (Dwiarianto & Syah, 2020). Rentang kedalaman tersebut berbeda dengan hasil penelitian karena perbedaan luas wilayah kajian.

**Pasang Surut (Perekaman Citra)**

Gambar 13 merupakan komponen pasang surut dan Tabel 3 merupakan grafik elevasi pada saat perekaman citra satelit SPOT-7 dari data prediksi BIG pada bulan September 2019 di perairan Gili Ketapang.

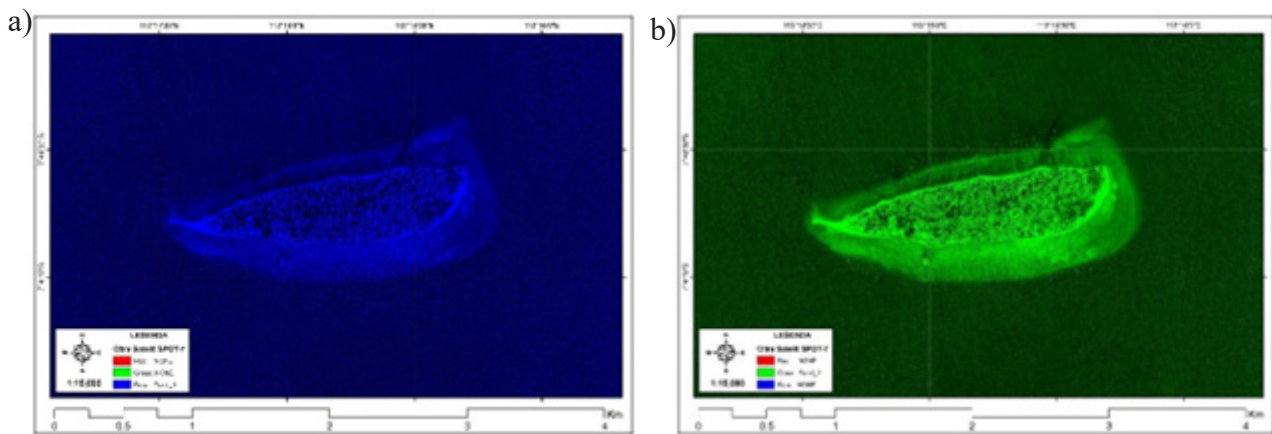
Tabel 3. Nilai Konstanta Harmonik.  
Table 3. Harmonic Constant Value.

	S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	M <sub>4</sub>	MS <sub>4</sub>	K <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>
A Cm	0	45	20	7	49	28	0	0	5	16
g <sup>*</sup>		-41	-14	298	318	390	203	255	-14	318



Gambar 13. Grafik Elevasi Pasang Surut Perairan Gili Ketapang September 2019.

Figure 13. Graph of Tidal Elevation of Gili Ketapang Waters September 2019.



Gambar 14. Citra Satelit SPOT-7: (a) Band1; (b) Band2.  
 Figure 14. SPOT-7 Satellite Imagery: (a) Band1; (b) Band2.

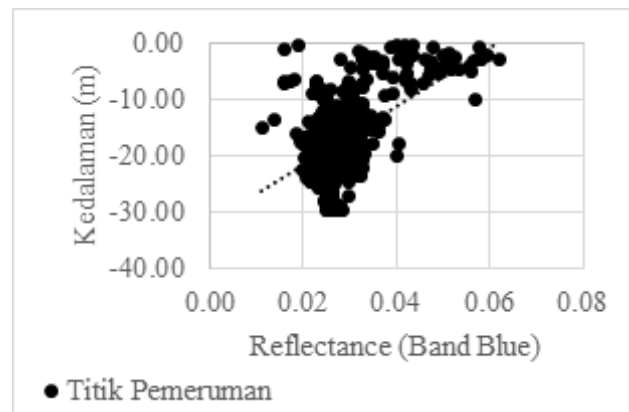
Berdasarkan pengolahan data pasang surut dari data prediksi BIG selama 30 hari dari tanggal 1 – 30 September 2019 di perairan Gili Ketapang didapatkan grafik elevasi pasang surut dan nilai konstanta harmonik. Nilai dari *Highest High Water Level* (HHWL), *High Water Level* (HWL), *Mean Sea Level* (MSL), *Low Water Level* (LWL), *Lowest Low Water Level* (LLWL), dan Z0 berturut-turut adalah 1,42; 0,83; 0; -1,05; -1,41; dan -0,83. Hasil bilangan formzahl yang dihitung dari nilai konstanta harmonik yaitu 1,2. Sesuai dengan grafik dan bilangan formzahl yang diperoleh, perairan tersebut mengalami pasang surut condong ke harian ganda. Tipe pasang surut artinya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari dengan tinggi dan periode yang berbeda.

Berdasarkan hasil bilangan formzahl dari data pasang surut di perairan Gili Ketapang pada tahun 2013 sampai dengan 2019 yaitu mengalami tipe pasang surut condong ke harian ganda. Bilangan formzahl di perairan Gili Ketapang pada tahun 2013 hingga 2019 berturut – turut adalah 1,37; 1,11; 1,38; dan 1,26 (Setiawan & Syah, 2020). Tipe Pasang surut di perairan Pulau Gili Ketapang pada bulan Agustus tahun 2019 yaitu tipe pasang surut campuran condong harian ganda (Krisnawati & Hidayah, 2020). Tipe pasang surut tersebut sama dengan hasil penelitian yaitu pasang surut campuran condong harian ganda.

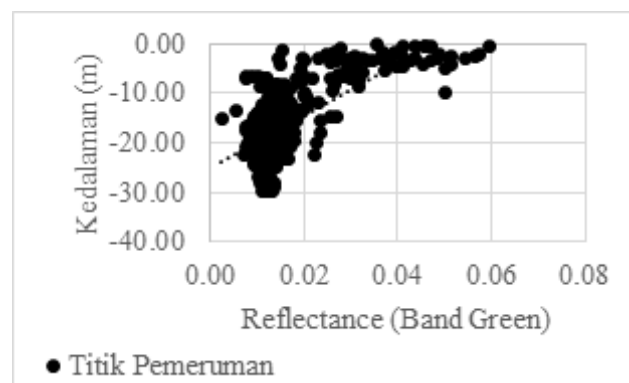
Perbandingan Tingkat Akurasi *Singlebeam Echosounder System* (SBES) dan Citra Satelit SPOT-7 Gambar 14 merupakan citra satelit SPOT-7 pada setiap band yang digunakan penelitian ini.

Grafik hubungan antara data insitu pemeruman dengan nilai reflectance citra seperti pada Gambar 15 dan Gambar 16. Hasil uji akurasi dengan menggunakan

metode klasifikasi Random Forest diklasifikasikan menjadi beberapa kelas berdasarkan rentang kedalamannya (Tabel 4).



Gambar 15. Hubungan antara Data Insitu dengan Nilai Reflectance (Band Blue).  
 Figure 15. Relationship between Insitu Data and Reflectance Value (Band Blue).



Gambar 16. Hubungan antara Data Insitu dengan Nilai Reflectance (Band Green)  
 Figure 16. Relationship between Insitu Data and Reflectance Value (Green Band).

Tabel 4. Hasil Uji Akurasi dan Regresi  
Table 4. Accuracy and Regression Test Results

Kedalaman	Jumlah Data	RMSE
0-2 %	Datar	8,56
2-7 %	Landai	1,98
7-15 %	Bergelombang	0,44
15-25 %	Curam	0,09
25-45 %	Sangat Curam	0,004
>45 %	Terjal	0

Berdasarkan grafik hubungan antara data insitu pemeruman dengan nilai reflectance menunjukkan bahwa semakin bertambah kedalaman, maka semakin kecil nilai reflektannya. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (Nurkhayati & Khakhim, 2013) di perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Jawa Tengah. Hal ini berarti kemampuan citra terbatas pada kedalaman tertentu, sehingga mempengaruhi tingkat akurainya. Penelitian yang dilakukan oleh (Setyawan *et al.*, 2014) menyatakan bahwa sensor satelit dapat menembus perairan dangkal yang relatif jernih hingga kedalaman 25m. Hasil penelitian di perairan Gili Ketapang kedalamannya berkisar antara 0 – 30.

Berdasarkan hasil regresi dan uji akurasi dengan proporsi data training 75% dan data uji akurasi 25% didapatkan bahwa hasil regresi ( $R^2$ ) pada kedalaman 0 – 30m dari data citra dengan data insitu yaitu sebesar 0,59 atau 59%. Hasil regresi tersebut artinya variabel X (data citra) mempengaruhi variabel Y (data *insitu*) sebesar 59%, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain. Berdasarkan rentang kedalamannya hasil uji akurasi yang tertinggi terdapat pada kedalaman 0 – 5m yaitu sebesar 0,87, sedangkan yang terendah pada kedalaman 15,1 - 20 m yaitu sebesar 1,31. Hasil uji akurasi pada kedalaman 5,1 – 10; 10,1 – 15; 20,1 – 25, dan 25,1 – 30 berturut-turut adalah 1,17; 1,06; 1,09; dan 1,21.

Hasil regresi ( $R^2$ ) tidak selalu berkaitan secara linier dengan nilai RMSE, bahkan bisa saja berkebalikan. Hal ini berarti apabila sebuah citra mampu menghasilkan nilai ( $R^2$ ) yang tinggi, maka tidak selalu citra tersebut akan menghasilkan nilai RMSE yang baik juga (Bayuaji *et al.*, 2022). Pemetaan batimetri dengan menggunakan metode klasifikasi *Random Forest* pada model *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) pada data pemeruman dan citra satelit SPOT-6 pernah dilakukan di wilayah Pantai Kecamatan Cilebar, Jawa Barat. Hasil penelitian tersebut memberikan nilai RMSE yang baik yaitu 0,6 - 1 m (Safi'i & Dewi, 2020). Hasil

ketelitian tersebut berbeda dengan hasil penelitian di Gili Ketapang karena dipengaruhi oleh beberapa faktor.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil SDB yaitu kejernihan air, kedalaman air, dan pengaruh dari atmosfer (Nisa' *et al.*, 2023). Kondisi perairan pada wilayah penelitian juga mempengaruhi hasil SDB. Data hasil SDB dengan akurasi yang baik dapat diperoleh pada perairan dengan arus yang tidak terlalu kuat (Aji *et al.*, 2021). Rentang kedalaman di perairan Pulau Gili Ketapang berkisar antara 0 - 33m dengan nilai kecerahan 5,99 - 10m. Nilai kecepatan arus di perairan tersebut yaitu 0,020 – 0,028 m/s (Dwiarianto & Syah, 2020). Selain itu, data citra satelit hasil perekaman sensor sangat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu kondisi atmosfer, waktu pengambilan data, dan sudut pengambilan data dari sensor. Hal ini menyebabkan data citra satelit harus dikoreksi terlebih dahulu karena memiliki bias nilai informasi (Nugraha *et al.*, 2017).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kedalaman perairan di Pulau Gili Ketapang berdasarkan hasil pemeruman *Singlebeam Echosounder System* (SBES) berkisar antara 0 – 30m. Profil kedalaman perairan pada peta batimetri 3D di Pulau Gili Ketapang menunjukkan bahwa morfologi dasar laut tidak rata karena adanya cekungan dan permukaan dasar laut yang lebih tinggi, sehingga terdapat perbedaan kedalaman. Profil kedalaman dari garis pantai hingga jarak 200m memiliki nilai kedalaman 0 – 20m, sedangkan profil kedalaman dari jarak 200 m hingga perairan terbuka cukup bervariasi. Berdasarkan klasifikasi kelas lereng di perairan Pulau Gili Ketapang didominasi oleh kategori datar dengan nilai kemiringan (*slope*) sebesar 77,28%. Hasil regresi ( $R^2$ ) pada model *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) antara data citra dengan data insitu yaitu 0,59 atau 59%. Berdasarkan rentang kedalamannya nilai RMSE yang tertinggi terdapat pada kedalaman 0 – 5m yaitu sebesar 0,87, sedangkan yang terendah pada kedalaman 15,1 - 20m yaitu sebesar 1,31. Hasil tersebut kurang akurat jika dibandingkan dengan data kedalaman hasil pemeruman.

Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk memaksimalkan pemeruman di perairan yang dangkal dengan memperhatikan keadaan di lapang. Pemeruman dilakukan dengan menggunakan *Multibeam Echosounder System* (MBES) dan citra satelit akurasi tinggi lainnya pada data dengan tahun yang sama.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada POKMASWAS Pulau Gili Ketapang yang telah membantu selama pengambilan data. Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dan Badan Informasi Geospasial (BIG) atas penyediaan data untuk kelancaran penelitian ini, serta Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) atas terlaksananya penelitian ini dengan penyediaan fasilitas yang menunjang penelitian..

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus, S. B., Aziizah, N. N., Subarno, T., & Sunudin, A. (2018). Pemanfaatan citra spot-7 untuk pemetaan distribusi lamun pada zona intertidal dan pendugaan kedalaman perairan Pulau Wawonii. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 197-207. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.19119>
- 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*, 10(1), 68-77.
- 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), 370-737. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i4.9310>
- Arya, G. W., & Santoso, A. I. (2016). Evaluasi akurasi ekstraksi kedalaman laut dengan metode lyzenga dan modifikasinya menggunakan data spot-7 di Teluk Belang-belang Mamuju. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 22(1), 9-19. <https://doi.org/10.24895/JIG.2016.22-1.423>
- Bayuaji, G. D. A. P., Rijal, S. S., Setiawan, K. T., & Aziz, K. (2022). Deteksi batimetri perairan dangkal di pulau menjangan, provinsi bali menggunakan citra landsat. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 102-109. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.13886>
- 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 ITS*, 6(2), A641-A644. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24182>
- Catherinna, M., Subarjo, P., & Satriadi, A. (2015). Pemetaan batimetri perairan Anyer, Banten menggunakan Multibeam Echosounder System (MBES). *Jurnal Oseanografi*, 4(1), 253-261.
- Dwiarianto, T., & Syah, A. F. (2020). Analisis parameter oseanografi untuk kesesuaian lahan Keramba Jaring Apung (KJA) ikan kerapu di Pulau Gili Ketapang, Probolinggo dengan menggunakan data penginderaan jauh. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(4), 451-460.
- Fachrurrozi, M., Widada, S., & Helmi, M. (2013). Studi pemetaan batimetri untuk keselamatan pelayaran di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. *Journal of Oceanography*, 2(3), 310-317.
- Fuad, M. A. Z., Fajari, A. K., & Hidayati, N. (2021). Pemodelan dan analisis perubahan garis pantai di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 5(2), 335-349. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.19>
- Fuad, M. A. Z., Sambah, A. B., Isdianto, A., & Andira, A. (2016). Pemetaan batimetri sebagai informasi dasar untuk penempatan fish apartment di perairan Bangsring, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur (Bathymetry mapping as basic information for fish apartment placement in Bangsring waters, Banyuwangi, East Java). *Depik*, 5(3), 143-150. <https://doi.org/10.13170/depik.5.3.5655>
- Hamuna, B., Dimara, L., Pujiyati, S., & Natih, N. M. N. (2018). Hambur balik akustik permukaan substrat dasar perairan menggunakan echosounder bim tunggal. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 31-37. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i1.2892>
- Hanifah, A., Hariadi, H., Subardjo, P., & Trenggono, M. (2016). Pemetaan batimetri dan analisis komponen pasang surut untuk evaluasi perbaikan elevasi dan panjang lantai dermaga di Perairan Pulau Lirang, Maluku Barat Daya. *Journal of Oceanography*, 5(4), 573-579.



- Hidayah, Z., & Wiyanto, D. B. (2021). Pemodelan sistem informasi geografis untuk pemetaan kesesuaian wilayah perairan dan pesisir Selat Madura. *Rekayasa*, 14(1), 17-25. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.9987>
- Ihlas, Winarso, G., Santoso, A. I., & Setiyadi, J. (2018). Akuisisi data batimetri menggunakan citra satelit spot-7 di perairan Teluk Halong Kota Ambon. *Jurnal Hidropilar*, 4(1), 9-17. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v4i1.91>
- Krisnawati, S., & Hidayah, Z. (2020). Pemetaan terumbu karang Pulau Gili Ketapang Probolinggo. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(4), 437-450.
- Kuncoro, D., Hartuti, M., & Wiryawan, A. P. (2021). Penentuan garis pantai dan batimetri dengan citra sentinel-2 menggunakan program watcor-X (studi kasus di Pulau Kabetan). *Jurnal Chart Datum*, 7(2), 131-142. [10.37875/chartdatum.v7i2.216](https://doi.org/10.37875/chartdatum.v7i2.216)
- Maestro, D. A., Helmi, M., & Atmodjo, W. (2023). Analisis perairan dangkal berdasarkan pengolahan digital citra satelit sentinel-2b di Perairan Pulau Karimunjawa, Kepulauan Karimunjawa Provinsi Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4), 01-10.
- Maulana, H. R., & Luthfi, O. M. (2018). Studi data batimetri untuk keselamatan pelayaran di Perairan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Rinjani*, 6(1), 40-44.
- Meiarti, R., Seto, T., & Sartohadi, J. (2019). Uji akurasi hasil teknologi pesawat udara tanpa awak (Unmanned Aerial Vehicle) dalam aplikasi pemetaan kebencanaan kepesisiran. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan (JGEL)*, 3(1), 1-17. <https://doi.org/10.29405/jgel.v3i1.2987>
- Mutiara, I., & Muhiddin, A. H. (2016). Pengamatan pasang surut untuk penentuan datum ketinggian di Pantai Desa Parak, Kecamatan Bonto Matene, Kabupaten Selayar, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Kesehatan Indonesia*, 2(2), 44-46. <https://doi.org/10.30996/jpap.v2i01.700>
- Nisa', S. Q., Karang, I. W. G. A., Putra, I. D. N. N., Setiawan, K. T., & Aziz, K. (2023). Perbandingan akurasi metode empiris untuk pemetaan batimetri perairan Benoa, Bali, menggunakan citra satelit spot. *Journal of Marine Research and Technology*, 6(1), 60-68. <https://doi.org/10.24843/JMRT.2023.v06.i01.p09>
- Nugraha, A. Y., Prayudha, B., Ibrahim, A. L., & Riyadi, N. (2017). Pemetaan batimetri di perairan dangkal menggunakan data penginderaan jauh spot-7 (studi kasus Lembar-Lombok). *Jurnal Chart Datum*, 3(2), 61-80. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v3i2.120>
- Nurdianti, A. K., Atmodjo, W., & Saputro, S. (2016). Studi batimetri dan kondisi alur pelayaran di Muara Sungai Kapuas Kecil, Kalimantan Barat. *Journal of Oceanography*, 5(4), 538-545.
- Nurkhayati, R., & Khakhim, N. (2013). Pemetaan batimetri perairan dangkal menggunakan citra quickbird di perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2), 140-148.
- Pryambodo, D. G., Hasanudun, M., Kusmanto, E., & Sudirman, N. (2020). Perubahan spasial dan temporal luas wilayah untuk pengembangan wisata bahari di bagian barat Pulau Gili Ketapang Probolinggo Jawa Timur. *Jurnal Segara*, 16(1), 39-46. <https://doi.org/10.15578/segara.v16i1.8648>
- Purnomo, H. (2018). Aplikasi metode interpolasi Inverse Distance Weighting dalam penaksiran sumberdaya laterit nikel (Studi kasus di Blok R, Kabupaten Konawe-Sulawesi Tenggara). *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, ANGKASA*, 10(1), 49-60. <https://doi.org/10.28989/angkasa.v10i1.221>
- Resda, D. P., Lubis, M. Z., & Timbang, D. (2021). Pemetaan kedalaman laut menggunakan Multibeam Echosounder (MB1) di perairan Punggur, Kepri. *Jurnal Integrasi*, 13(1), 84-92. <https://doi.org/10.30871/ji.v13i1.3042>
- Safi'i, A. N., & Dewi, R. S. (2020). Uji akurasi metode berbasis citra satelit untuk ekstraksi data batimetri. *Teknik*, 41(2), 142-151. <https://doi.org/10.14710/teknik.v0i0.29516>
- Saputra, A. D., Setiyono, H., & Saputro, A. A. D. (2016). Pemetaan batimetri dan sedimen dasar

di Perairan Karangsong, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 5(1), 38-43. <https://doi.org/10.14710/buloma.v5i1.11294>

- Setiawan, K. T., Manessa, M. D. M., Winarso, G., Anggraini, N., Giarrastowo, G., Asriningrum, W., ... & Supardjo, A. H. (2019). Estimasi batimetri dari data spot 7 studi kasus perairan Gili Matra Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 15(2), 69-82.
- Setiawan, M. D. B., & Syah, A. F. (2020). Analisis pengaruh oseanografi terhadap perubahan garis pantai Gili Ketapang Probolinggo dengan menggunakan satelit landsat 8 OLI. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(3), 384-390. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i3.8559>
- Setyawan, I. E., Siregar, V. P., Pramono, G. H., & Yuwono, D. M. (2014). Pemetaan profil habitat dasar perairan dangkal berdasarkan bentuk topografi: studi kasus Pulau Panggang, Kepulauan Seribu Jakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 16(2), 125-132.
- Suaib, S., Rusvan, A. A., & Anshari, A. I. (2019). Analisis hasil survei batimetri dan arus di Pelabuhan Jampea Kabupaten Selayar. *Teknik Hidro*, 12(2), 25-31. <https://doi.org/10.26618/th.v12i2.2808>
- Sudiby, Y., Suryoputro, A. A. D., Hariyadi, H., Subardjo, P., & Widiaratih, R. (2021). Analisis batimetri guna perencanaan pengerukan Kolam Pelabuhan I, Tanjung Priok, Jakarta Utara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2), 128-133. <https://doi.org/10.14710/ijoc.v3i2.10954>
- Susanti, D. S., Sukmawaty, Y., & Salam, N. (2019). *Analisis Regresi dan Korelasi*. Malang. IRDH.
- Wicaksono, P., Aryaguna, P. A., & Lazuardi, W. (2019). Benthic habitat mapping model and cross validation using machine-learning classification algorithms. *Remote Sensing*, 11(11), 1279. <https://doi.org/10.3390/rs11111279>
- Wijonarko, W. W., Sasmito, B., & Nugraha, A. L. (2016). Kajian pemodelan dasar laut menggunakan side scan sonar dan singlebeam echosounder. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 168-78.
- Yuliandany, E., Sabri, L. M., & Awwaluddin, M. (2019). Analisis peramalan data kosong bulanan pasang surut menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) (studi kasus: Stasiun Pasut Surabaya). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 9(1), 57-66.