

AKURASI PEMETAAN BATIMETRI PERAIRAN DANGKAL BERBASIS CITRA LANDSAT 8 DI TELUK PRIGI, KABUPATEN TRENGGALEK

(ACCURACY OF SHALLOW WATER BATHYMETRY MAPPING BASED ON LANDSAT 8 IMAGERY IN PRIGI BAY, TRENGGALEK REGENCY)

Bagus Satrio Wicaksono¹, Dinar Guruh Pratomo², Aida Sartimbul³, Widodo Setiyo Pranowo⁴, Ade Yamindago⁵, Tangguh Perwira Hutomo⁶

^{1,2}Departemen S2 Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

⁴Program Studi S2 Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Indonesia

^{1,3,5,6}Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia

Jln. Dwijaya IV No.24 RT005/RW015, Gandaria Utara, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12140

E-mail: bagussatriowckn@gmail.com

Diterima: 13 Mei 2025; Direvisi : 7 Juli 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan : 14 November 2025

ABSTRAK

Batimetri merupakan informasi penting dalam mendukung jalur pelayaran di wilayah perairan Indonesia. Mengingat dinamika laut yang tinggi, pemetaan batimetri perlu dilakukan secara kontinu. Khususnya di Teluk Prigi yang memiliki potensi sumber daya alam, pariwisata, dan merupakan lokasi Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN Prigi). Metode konvensional seperti echosounder masih memiliki keterbatasan dalam cakupan dan efisiensi. Alternatif yang lebih modern adalah *Satellite Derived Bathymetry* (SDB), yang memanfaatkan data citra satelit dan algoritma pengolahan digital. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kedalaman perairan dangkal dan topografi dasar laut di Teluk Prigi dengan menggunakan *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) berbasis citra Landsat 8. Metode ini memanfaatkan uji akurasi estimasi kedalaman dengan menerapkan algoritma Stumft dan membandingkan terhadap data kedalaman in-situ. Analisis dilakukan dengan membandingkan rasio band dari citra Landsat 8 terhadap data kedalaman in-situ untuk menilai akurasi estimasi kedalaman. Hasil menunjukkan kedalaman perairan Teluk Prigi berkisar antara 4,92 m hingga 67,61 m, sedangkan estimasi dari Landsat 8 berkisar 7,05 m hingga 57,10 m. Model regresi antara citra Landsat 8 dan data in-situ menghasilkan $R^2 = 0,6287$, $r = 0,792$, RMSE = 12,697, dan NMAE = 28,48, yang menunjukkan tingkat akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan.

Kata kunci: Algoritma Stumft, Batimetri, Landsat 8, Perairan Dangkal, SDB

ABSTRACT

Bathymetry plays a crucial role in supporting navigation routes within Indonesian waters. Given the highly dynamic nature of the marine environment, continuous bathymetric mapping is essential. Particularly in Prigi Bay, which holds considerable potential in terms of natural resources, tourism, and serves as the location of the Nusantara Fisheries Port (PPN Prigi). Conventional methods such as echosounders still face limitations in terms of spatial coverage and operational efficiency. A more advanced alternative is Satellite Derived Bathymetry (SDB), which utilizes satellite imagery combined with digital processing algorithms. This study employs Landsat 8 imagery to map seafloor depth and topography using the Stumpf algorithm. The analysis involves comparing band ratio outputs from the Landsat 8 imagery with in-situ depth measurements to evaluate the accuracy of depth estimation. Results indicate that actual water depths in Prigi Bay range from 4.92 m to 67.61 m, while estimations derived from Landsat 8 imagery range from 7.05 m to 57.10 m. The regression model between Landsat 8-derived depths and in-situ measurements produced a coefficient of determination (R^2) of 0.6287, a correlation coefficient (r) of 0.792, a Root Mean Square Error (RMSE) of 12.697, and a Normalized Mean Absolute Error (NMAE) of 28.48, indicating a reasonably reliable level of accuracy for satellite-based bathymetric estimations in coastal waters.

Keywords: Stumpf Algorithm, Bathymetry, Landsat 8, Shallow Waters, SDB

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki wilayah laut yang sangat luas, mencakup sekitar 3.110.000 km² perairan dalam dan dangkal, atau

sekitar 77% dari total luas wilayah negara, serta garis pantai sepanjang 108.000 km dan kurang lebih 17.504 pulau (Setiawan et al., 2021). Dengan karakteristik wilayah maritim yang demikian,

informasi batimetri di wilayah perairan dangkal sangat dibutuhkan, khususnya untuk mendukung pembangunan pelabuhan, delineasi garis pantai, pemetaan habitat dasar laut, perencanaan wilayah budidaya, dan pengelolaan pesisir terpadu. Keberadaan data batimetri juga penting dalam menunjang aspek keselamatan pelayaran dan pengelolaan transportasi laut (Febrianto et al., 2016). Batimetri sendiri merupakan studi mengenai kedalaman dasar badan perairan seperti sungai, danau, dan laut yang memiliki peran penting dalam menjamin keselamatan navigasi (Pambuko et al., 2013).

Pengambilan data batimetri secara tradisional menggunakan metode manual seperti tali dan pemberat, namun teknik ini dinilai kurang efisien karena hanya mencakup titik-titik tertentu dan sangat terbatas oleh waktu serta pergerakan kapal. Saat ini, teknologi echosounder lebih umum digunakan, di mana kedalaman dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang suara atau cahaya yang dipantulkan dari dasar perairan ke sensor alat (Pambuko et al., 2013).

Keterbatasan pada metode konvensional mendorong perlunya alternatif baru dalam memperoleh data kedalaman perairan yang lebih efisien dan akurat (Prayogo & Basith, 2020). Salah satu inovasi yang berkembang adalah metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) yang memanfaatkan citra satelit dan algoritma pengolahan digital untuk memperoleh informasi batimetri (Suwargana & Setiawan, 2017). Teknik penginderaan jauh telah terbukti efektif dalam memetakan perairan dangkal serta mendukung identifikasi jalur pelayaran yang aman (Bobsaid & Jaelani, 2017).

Penelitian ini memfokuskan kajian pada wilayah Teluk Prigi yang terletak di Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Teluk ini memiliki potensi besar dalam sektor pariwisata, rekreasi, serta sebagai pusat kegiatan perikanan, termasuk keberadaan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN Prigi) sebagai pelabuhan perikanan terbesar di kawasan tersebut. Aktivitas perikanan dan kepariwisataan di sekitar teluk, seperti di Pantai Prigi, Pantai Pasir Putih, Pantai Karanggongso, dan Pantai Damas, turut menjadi indikator penting akan perlunya pemetaan batimetri yang akurat, terlebih dengan adanya aliran Sungai Cengkong yang bermuara di Teluk Prigi yang dapat memengaruhi sedimentasi dan kontur dasar laut (Sidabutar et al., 2019).

Karakteristik lingkungan laut yang dinamis menjadikan pemetaan batimetri perlu dilakukan secara berkala dan berkelanjutan. Teluk Prigi merupakan lokasi utama pendaratan hasil tangkapan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) di Trenggalek dan Jawa Timur, yang produksinya bahkan melebihi hasil tangkapan dari wilayah Selat Bali karena siklus produktivitas perairan yang tinggi,

ditandai oleh melimpahnya fitoplankton dan zooplankton (Sartimbul et al., 2021). Oleh karena itu, pemetaan kedalaman menjadi hal krusial untuk mendukung aktivitas kelautan dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya laut oleh nelayan.

Penelitian terdahulu yang menggunakan algoritma rasio Stumpf pada citra satelit, seperti dilakukan oleh Masykur (2021), hanya menilai korelasi antara rasio band dengan nilai kedalaman hasil pengolahan citra tanpa melibatkan data in-situ. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan membandingkan hasil estimasi kedalaman dari citra Landsat 8 dengan data kedalaman lapangan (*in-situ*). Mengingat sifat perairan yang berubah-ubah, pemetaan batimetri perairan dangkal yang dilakukan secara periodik sangat diperlukan. Pemanfaatan citra Landsat 8 dianggap mendukung karena memiliki 11 kanal multispektral dan resolusi spasial 30 meter, yang mampu menangkap karakteristik kedalaman perairan secara lebih detail. Algoritma Stumpf memungkinkan pemisahan panjang gelombang band berdasarkan tingkat kedalaman, sehingga sangat berguna dalam pemetaan perairan dangkal (Ihlas et al., 2018).

METODE

Lokasi dan Data

Lokasi kajian pemodelan kedalaman perairan berada di wilayah Teluk Prigi, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini memanfaatkan 27 titik pengukuran sounding dari hasil survei sebelumnya yang dilakukan oleh Hutomo (2019) pada tanggal 19 dan 20 September 2018, bertepatan dengan musim peralihan kedua, menggunakan perangkat *Multibeam Echosounder* (MBES) (lihat **Gambar 1**).

Sumber data penginderaan jauh yang digunakan berasal dari citra Landsat 8 (tanggal akuisisi 5 Oktober 2018). Kombinasi kanal (*band*) citra yang dimanfaatkan dalam pengolahan data ditampilkan pada **Tabel 1**. Jenis citra tersebut memiliki resolusi spasial sebesar 30 meter. Data sounding yang diperoleh menghasilkan total 7.087 titik pengamatan yang telah dikoreksi terhadap fluktuasi pasang surut air laut guna meningkatkan akurasi data kedalaman.

Tabel 1. Kombinasi band citra.

Citra	Landsat 8
Kanal Panjang Gelombang	Pita 2 – <i>Blue</i> (0,452 – 0,512 μm)
	Pita 3 – <i>Green</i> (0,533 – 0,590 μm)
	Pita 5 – <i>Near Infrared</i> (0,851 – 0,879 μm)
Resolusi Spasial	30-meter

Sumber: Druscha et al., 2012

Alur Pengolahan

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini terbagi menjadi dua bagian utama, yakni pengolahan data kedalaman perairan dan pengolahan data citra Landsat 8. Proses pengolahan data kedalaman dilakukan melalui model analisis sounding serta koreksi terhadap pasang surut dengan memanfaatkan perangkat lunak ArcGIS 10.4.1. Data akhir dari proses ini disimpan dalam format .XYZ, yang merepresentasikan data kedalaman perairan secara langsung (in-situ). Informasi pasang surut diperoleh dari data sekunder yang tersedia melalui Badan Informasi Geospasial (BIG) dan dapat diakses di situs <https://srgi.big.go.id/tides>.

Proses koreksi pasang surut dilakukan untuk memperoleh nilai estimasi kedalaman terhadap Lowest Water Surface (LWS), dengan mempertimbangkan lima komponen harmonik utama: K1, O1, M2, S2, dan N2, sesuai dengan standar dari International Hydrographic Organization (IHO) (Fachrurrozi et al., 2013). Klasifikasi jenis pasang surut ditentukan dengan metode admiralty, yang digunakan untuk menghitung nilai Formzahl sebagai dasar penentuan tipe pasang surut di lokasi studi.

Tahap pengolahan data citra Landsat 8 menggunakan kombinasi kanal spektral band 2 (biru) dan band 3 (hijau), dengan resolusi spasial sebesar 30 meter. Dataset sounding yang digunakan berjumlah 7.087 titik, diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *Multibeam Echosounder* (MBES). Dataset tersebut kemudian dipisahkan ke dalam dua kelompok, yakni data untuk pemodelan dan data untuk pengujian akurasi, masing-masing dengan rasio 60% dan 40%. Sebanyak 4.250 titik

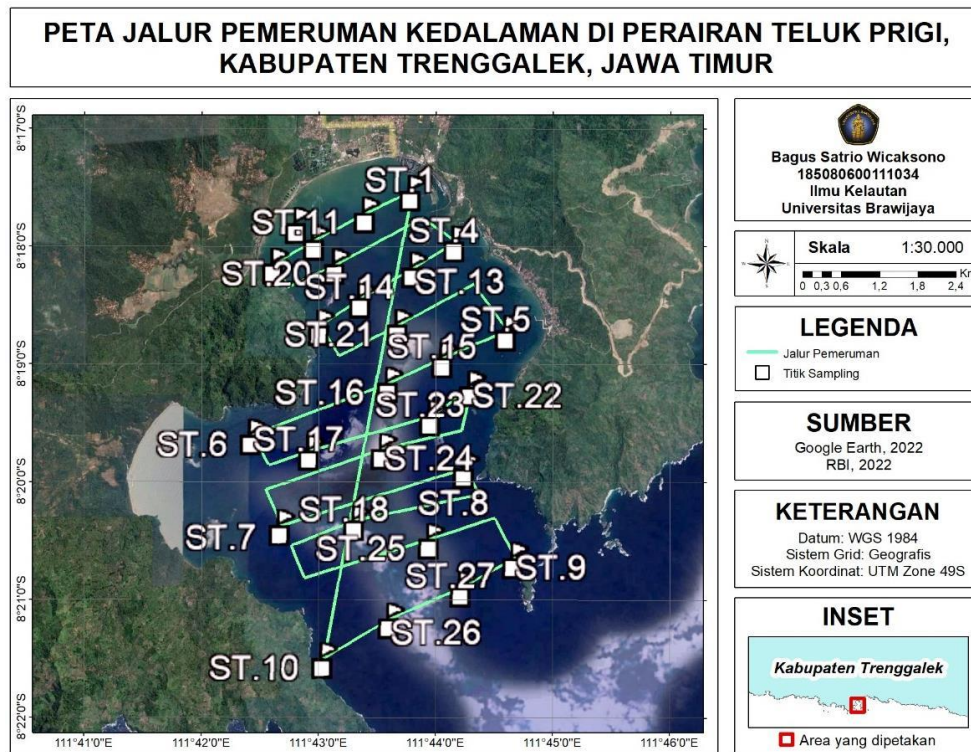
digunakan untuk validasi kedalaman relatif, sementara 2.838 titik dimanfaatkan dalam pengujian akurasi kedalaman absolut.

Hasil dari keseluruhan pengolahan ini menghasilkan peta batimetri. Tahap akhir meliputi evaluasi akurasi serta perbandingan antara data kedalaman dari pengukuran langsung (*in-situ*) dan data hasil estimasi melalui citra Landsat 8. Estimasi kedalaman menggunakan algoritma Stumpf dilakukan melalui pendekatan statistik regresi guna mengetahui kekuatan hubungan (R^2) antara nilai sounding aktual dan hasil estimasi citra satelit.

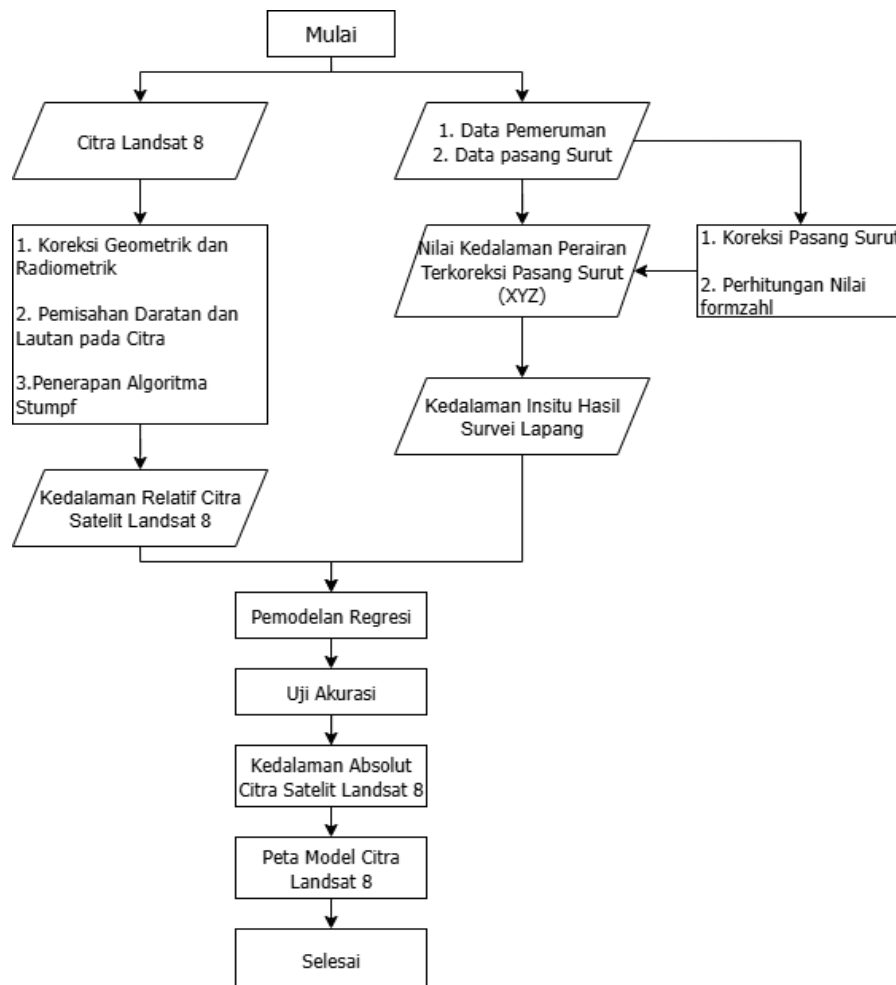
Alur Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dibagi ke dalam tiga tahap utama, yaitu pra-pemrosesan, pemrosesan inti, dan pasca-pemrosesan. Tahap awal atau pra-pemrosesan mencakup penentuan wilayah studi serta seleksi data yang akan digunakan. Wilayah studi berdasarkan data in-situ diperoleh melalui hasil pengukuran menggunakan *Multibeam Echosounder* (MBES). Proses lengkap dari seluruh tahapan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**. Tiga tahapan dalam pengolahan data tersebut meliputi:

Pra-pemrosesan, yang mencakup koreksi radiometrik, pemotongan citra (*cropping*), serta pemisahan wilayah daratan dan perairan (*masking*). Tahap inti (pemrosesan), meliputi implementasi algoritma Stumpf dan pembuatan model regresi untuk estimasi kedalaman relatif. Pasca-pemrosesan, meliputi perhitungan nilai citra, klasifikasi kedalaman, analisis kuantitatif data dengan melakukan uji statistik, serta penyusunan layout peta akhir.



Sumber: Modifikasi Hutomo, 2019
Gambar 1. Wilayah Penelitian.



Gambar 2. Diagram alur penelitian.

Pengolahan Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan rasio logaritma, yang dikembangkan oleh Stumpf et al. (2003). Metode ini didasarkan pada prinsip bahwa setiap saluran spektral (*band*) memiliki karakteristik penyerapan cahaya yang berbeda terhadap kolom perairan. Perbedaan tingkat penyerapan tersebut, secara teoritis, menyebabkan rasio antar band berubah secara konsisten seiring dengan perubahan kedalaman perairan, sebagaimana dijelaskan dalam **Persamaan 1**.

$$Z = m_1 \times \frac{\ln(R(\lambda_B))}{\ln(R(\lambda_G))} - m_0 \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

Z = Kedalaman perairan

m1, m0 = koefisien konstanta model untuk ekstrak nilai kedalaman

R(λB) = reflektan dari band biru

R(λG) = reflektan dari band hijau.

Model kedalaman absolut diperoleh melalui persamaan regresi yang menggambarkan hubungan dan pengaruh antara variabel-variabel yang terlibat. Nilai kedalaman relatif berasal dari hasil pemrosesan citra Landsat 8, yang kemudian dibandingkan dengan data kedalaman in-situ menggunakan analisis regresi linier sederhana untuk mengidentifikasi keterkaitan antar variabel sebagaimana ditunjukkan pada **Persamaan 2**.

$$Y = ax + b \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

y = variabel terkait

a = nilai konstanta

x = variabel bebas

b = nilai koefisien regresi

Proses estimasi kedalaman memerlukan tahap evaluasi akurasi hasil perhitungan, yang dilakukan dengan menerapkan rumus Koefisien Determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagaimana dikemukakan oleh Fadillah et al. (2018). Persamaan lebih lanjut dijabarkan dalam **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**.

$$R^2 = 1 - \sum_i \frac{(h_i - \hat{h}_i)^2}{(\hat{h}_i - h)^2} \dots \dots \dots (3)$$

di mana:

h_i = kedalaman pengukuran

\hat{h}_i = estimasi kedalaman perairan

\bar{h} = rata-rata nilai kedalaman

n = jumlah data

R^2 = koefisien determinan

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\Delta h_i - \Delta \hat{h}_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

Δh_i = selisih kedalaman insitu

$\Delta \hat{h}_i$ = selisih kedalaman prediksi

n = jumlah data

RMSE = nilai rerata dari jumlah kuadrat galat.

Untuk memperoleh nilai hasil analisis korelasi, dilakukan perhitungan yang menunjukkan tingkat keterkaitan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Metode korelasi digunakan untuk mengidentifikasi hubungan linier (garis lurus) antara dua variabel, yang dinyatakan melalui koefisien korelasi (r) sebagaimana dijelaskan dalam **Persamaan 5**.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \dots \dots \dots (5)$$

di mana:

r = korelasi antar variabel

x = variabel bebas

y = variabel tak bebas

n = jumlah data.

Normalized Mean Absolute Error (NMAE) merupakan salah satu parameter evaluasi yang krusial dalam studi pengamatan kedalaman wilayah perairan. Nilai NMAE yang lebih rendah menunjukkan tingkat akurasi data yang semakin tinggi dan dapat dijadikan referensi dalam penentuan kedalaman batimetri (Putri, 2018). Proses pengolahan kesalahan (galat) telah dilakukan oleh Wahyuningrum et al. (2008), dengan menggunakan rumus dari Chapra (1988), sebagaimana tercantum dalam **Persamaan 6**.

$$\epsilon_a = \left| \frac{A1 - A0}{A1} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

di mana:

ϵ_a = nilai error (galat)

A1 = perhitungan batimetri dengan konvensional echosounder

A0 = prediksi batimetri dengan penginderaan jarak jauh.

Tabel 2. Uji statistik.

Kedalaman (m)	RMSE	Korelasi (r)
	Citra Satelit	
(0)-(-20)	-	-
(-20,01)-(-40)	-	-
(-40,01)-(-60)	-	-
(-60,01)-(-80)	-	-

Data kedalaman aktual (absolut) yang telah diolah dikategorikan ke dalam empat (4) kelas kedalaman untuk mempermudah proses evaluasi tingkat akurasi hasil perhitungan, mengacu pada penelitian oleh Sesama et al. (2021) yang telah modifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pasang Surut

Hasil analisis pasang surut selama 29 hari pengamatan, yang diperoleh dari data Badan Informasi Geospasial (BIG), menghasilkan

konstanta harmonik utama yang ditampilkan pada **Tabel 3**. Berdasarkan grafik pasang surut pada **Gambar 3** dan hasil analisis harmonik, diperoleh nilai formzahl sebesar 1,50 yang mengindikasikan jenis pasang surut *mixed semidiurnal* (campuran dengan dominasi dua kali pasang dalam sehari) di wilayah penelitian Teluk Prigi.

Dari grafik tersebut dihasilkan datum vertikal, yaitu nilai *Low Water Surface* (LWS) sebesar -0,33 m, sebagaimana tercantum dalam **Tabel 4**. Informasi pasang surut ini digunakan sebagai data koreksi dalam pengukuran kedalaman dengan *echosounder*, untuk meningkatkan ketepatan hasil akibat fluktuasi muka air laut saat survei dilakukan. Adapun nilai LWS dimanfaatkan sebagai acuan koreksi kedalaman batimetri, karena diasumsikan sebagai titik paling rendah alat *echosounder* yang sejajar dengan lunas kapal. Hal ini bertujuan untuk memperkirakan *draft* kapal dan kedalaman perairan agar kapal dapat melintas dengan aman pada kondisi surut ekstrem tanpa bersentuhan dengan dasar laut atau mengalami kandas di area dangkal.

Tabel 3. Nilai konstanta harmonik.

No.	Konstanta Harmonik	Amplitudo (M)
1.	K1	0,18
2.	O1	0,27
3.	S2	0,12
4.	M2	0,18
5.	N2	0,03

Tabel 4. Nilai datum vertikal.

No.	Datum Vertikal	Amplitudo (M)
1.	HHWL	1,62
2.	LLWL	0,12
3.	Zo	0,87
4.	MSL	1,20
5.	HWS	0,75
6.	LWS	-0,33

Perhitungan Kedalaman Relatif

Data kedalaman relatif diekstrak dan dikombinasikan dengan data pemodelan *in-situ*, lalu dianalisis menggunakan metode regresi. Nilai

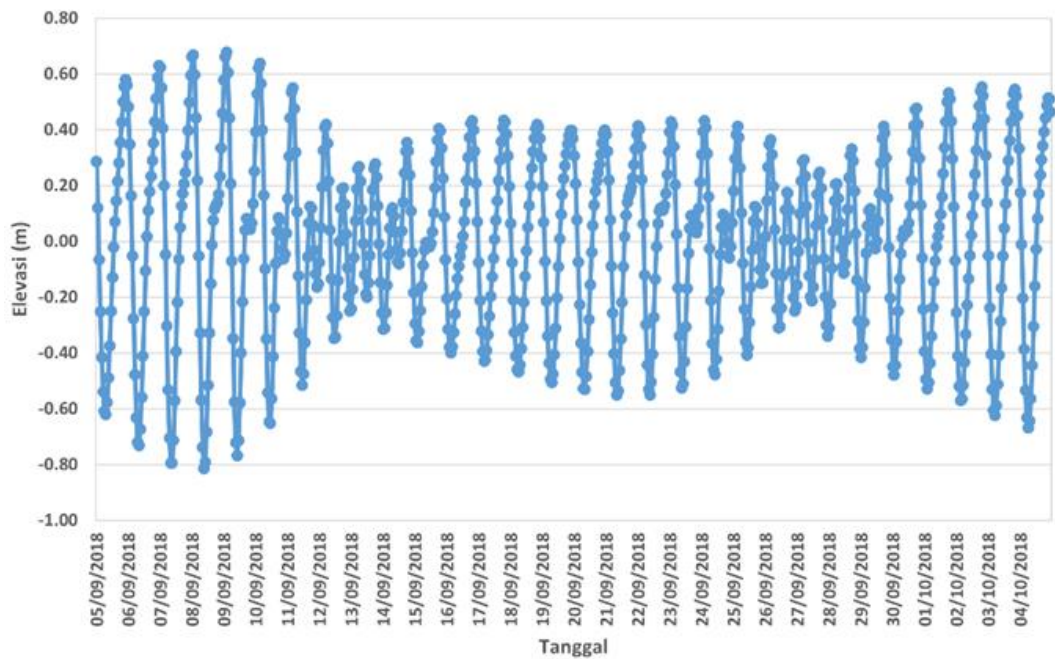
regresi antara rasio dua band citra dan data kedalaman hasil pemodelan *in-situ* diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*, sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 5** dan **Gambar 4**.

Tabel 5. Nilai indeks dan persamaan regresi

Citra	Landsat 8	
Nilai Indeks	<i>High</i>	0,91
	<i>Low</i>	1,02
Regresi	$Y = -874,24x + 820,47$	
R ²	0,373	

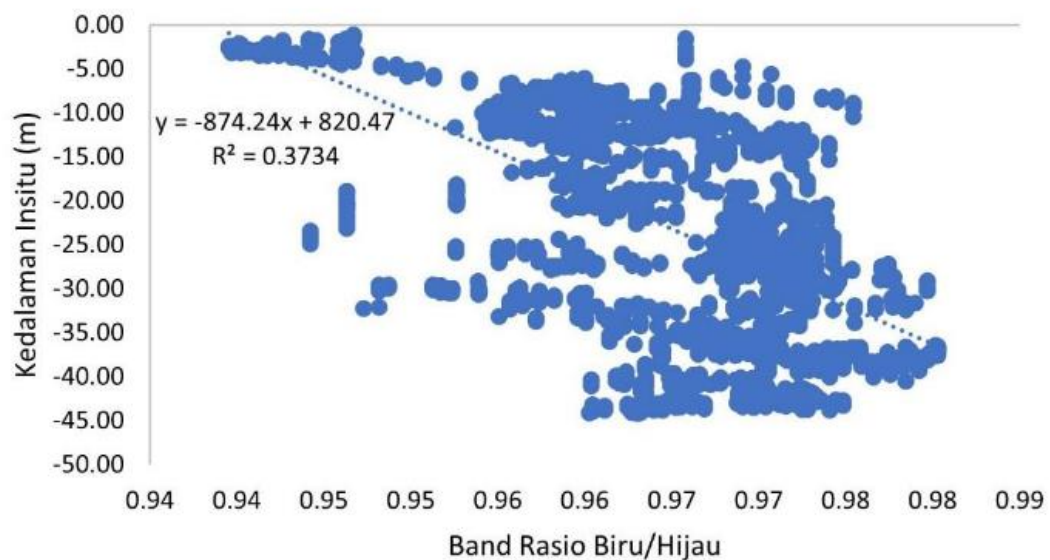
Model perkiraan kedalaman citra Landsat 8 pada tanggal 05 Oktober 2018 dengan memanfaatkan metode rasio yang akan ditampilkan pada **Persamaan 2** dengan menggunakan *band blue* dan *band green*. Setelah mendapatkan nilai perbandingan antara band 2 band 3, dilakukan *extract data* kedalam data pemodelan *in-situ* agar mendapatkan perbandingan rasio kedalaman antara citra dengan kedalaman insitu. Pemilihan rasio *band blue* dan *band green* dimanfaatkan untuk menormalisasikan pantulan dasar akibat adanya perubahan pada kolom air. citra Landsat 8 menunjukkan nilai indeks 0,91 sampai 1,02 meter pada **Gambar 4**. Persebaran warna biru muda diestimasikan perairan dangkal dan biru tua adalah perairan yang lebih dalam. Persebaran nilai yang lebih rendah didapatkan disekitaran daratan yang dikelilingi nilai tinggi yang ditampilkan pada **Gambar 5**.

Citra Landsat 8 menghasilkan *Depth of Extinction* (DOE) dengan regresi $Y = -874,24x + 820,47$ dan nilai R-squared (R²) sebesar 0,374 yang merepresentatifkan bahwa kedalaman relatif pada citra dapat menggambarkan perkiraan kedalaman sesungguhnya. Sesuai pernyataan Masykur (2021), bahwa nilai R² memberikan arti adanya tingkat hubungan yang erat atau tidaknya pada nilai kedalaman citra yaitu band 2 dan 3 dengan nilai kedalaman hasil pemeruman. Semakin besar nilai piksel maka semakin besar pula kedalaman yang akan didapat hingga kedalaman tertentu.



Sumber: srgi.big.go.id dan Hutomo, 2019

Gambar 3. Periode grafik pasang surut.



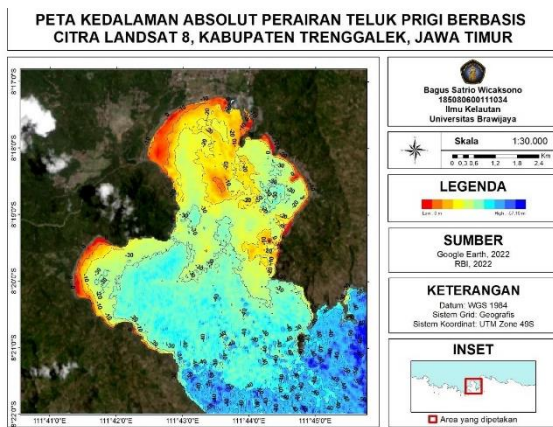
Gambar 4. Grafik rasio algoritma stumpf Landsat 8.



Gambar 5. Peta kedalaman relatif Landsat 8.

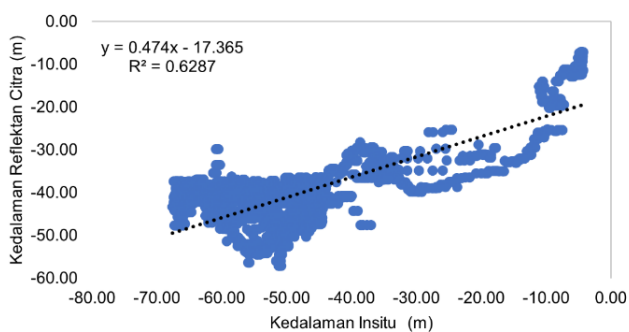
Perhitungan Kedalaman Absolut dan Uji Akurasi Citra Landsat 8

Perhitungan algoritma juga dapat mempengaruhi perhitungan reflektan nilai citra satelit. Akurasi informasi juga sangat dipengaruhi oleh tingkat kejernihan air dideteksi oleh sensor satelit (Setiawan et al., 2014). Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi kedalaman dari model SDB dengan data kedalaman aktual yang diperoleh melalui metode *sounding* (Safi'i & Dewi, 2020). Nilai yang diperoleh dari persamaan regresi kemudian dimasukkan ke dalam algoritma Stumpf bersama data kedalaman untuk uji akurasi, sehingga menghasilkan nilai batimetri absolut, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Kedalaman absolut Citra Landsat 8.

Untuk mendapatkan nilai koefisien determinan menggunakan persamaan regresi yang mengindikasikan apabila nilai mendekati angka 1 maka hasil perhitungan dari metode regresi linier cukup beragam dan mampu menangani data cukup baik dalam model regresi yang dihasilkan (Jamil et al., 2020). Citra Landsat 8 menghasilkan persamaan linier $Y = 0,474x - 17,365$ dan hasil regresi menghasilkan nilai R^2 /koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6287. Sesuai pernyataan yang dilakukan oleh Jamil et al., (2020), bahwa koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui keragaman nilai variable dependen (kedalaman insitu). Penelitian lainnya memperkuat, model regresi menampilkan hasil regresi terbaik menggunakan rasio \ln_{band1} dengan \ln_{band2} menggunakan citra quickbird mendapati nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,711 yang berarti model merepresentasikan keakuratan sebesar 71.1% (Nurkhaiyati & Khakhim, 2013). Dengan demikian, model regresi pada citra yang didapatkan mampu menjelaskan persebaran kedalaman pada peta 62.87% pada citra Landsat 8 yang ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Hasil Regresi Nilai Kedalaman Insitu Dengan Citra Landsat 8

Klasifikasi peta kedalaman didasarkan pada hasil perhitungan kedalaman absolut yang dibagi ke dalam empat (4) kategori. Pengujian akurasi dilakukan dengan menghitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan Koefisien Korelasi (r). Hasil klasifikasi kedalaman di Teluk Prigi

menggunakan citra Landsat 8 dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan klasifikasi tersebut, nilai RMSE terkecil terdapat pada rentang kedalaman (-20,01) hingga (-40) meter, yaitu sebesar 6,373335. Sebaliknya, nilai RMSE tertinggi tercatat pada kedalaman antara (-60,01) hingga (-80) meter sebesar 22,23419. Nilai korelasi tertinggi yang menunjukkan tingkat akurasi sangat kuat ditemukan pada kedalaman 0 hingga (-20) meter dengan nilai sebesar 0,92, meskipun masih disertai dengan nilai RMSE yang cukup besar, yakni 10,37837. Adapun korelasi terendah dengan tingkat akurasi sangat lemah diperoleh pada rentang kedalaman (-40,01) hingga (-60) meter dengan nilai hanya 0,15. Semakin kecil nilai RMSE, semakin tinggi tingkat keakuratan model dalam merepresentasikan kedalaman sebenarnya. Sebaliknya, nilai RMSE yang besar menunjukkan penurunan akurasi dan menandakan adanya kesalahan estimasi yang signifikan (Hodson, 2022).

Hasil temuan sejalan dengan penelitian Masykur (2021), menggunakan citra Sentinel-2 dengan Algoritma Stumpf yang dievaluasi menggunakan kombinasi rasio spektral antara band 2 dan 3, band 2 dan 4, serta band 3 dan 4 dari citra satelit. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio band 2 dan 3 memiliki hubungan paling kuat dengan data kedalaman, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi tertinggi ($r^2 = 0,78$), diikuti oleh rasio band 3 dan 4 ($r^2 = 0,75$) dan band 2 dan 4 ($r^2 = 0,54$). Berdasarkan hasil tersebut, rasio band 2 dan 3 dipilih sebagai parameter utama dalam pemodelan batimetri. Nilai Root Mean Square Error (RMSE) pada kedalaman maksimum (Depth of Extinction) 20 meter diperoleh sebesar 2,35 meter, yang menunjukkan tingkat kesalahan estimasi yang relatif rendah.

Jumlah saluran yang digunakan dalam model pada dasarnya mempengaruhi kemampuan algoritma untuk membedakan antara topografi dan massa air, sehingga semakin banyak saluran yang digunakan, semakin akurat model yang didapatkan (Saf'i & Dewi, 2020). Hal ini terjadi karena tidak semua struktur topografi dasar laut berhasil direkam oleh alat *echosounder*. Selanjutnya untuk nilai koefisien korelasi memiliki rentang keeratan hubungan dari rentang 0-1, semakin tinggi nilai koefisien korelasi antara kedua buah variabel (nilai mendekati angka 1) maka akan memiliki tingkat keeratan hubungan kedua variabel semakin kuat (tinggi). Tanda minus (-) pada nilai korelasi dalam tabel klasifikasi menunjukkan indikasi pendangkalan dasar laut, sedangkan tanda positif (+) mengindikasikan adanya hubungan searah antara variabel—artinya jika satu variabel meningkat, maka variabel lainnya cenderung ikut meningkat (Nuryadi et al., 2017). Perbedaan nilai RMSE dan korelasi antar kelas kedalaman dari citra satelit ini kemungkinan disebabkan oleh variasi jumlah data

pada masing-masing rentang kedalaman selama proses pengolahan dan luasan wilayah penelitian.

Tabel 6. Klasifikasi Kedalaman Citra Landsat 8

Kedalaman	RMSE	Korelasi
(0)-(-20)	10,37837	0,92
(-20,01)-(-40)	6,373335	-0,57
(-40,01)-(-60)	9,554646	0,15
(-60,01)-(-80)	22,23419	0,21

Berdasarkan hasil pemrosesan data citra, diperoleh selisih nilai (galat) antara kedalaman dari hasil *sounding* dan nilai yang digunakan dalam pengujian akurasi, dengan total 2.837 titik sampel. Jumlah ini belum termasuk titik yang digunakan dalam pembangunan model regresi. Evaluasi dilakukan menggunakan metode *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE), koefisien determinasi (R^2), dan koefisien korelasi (r) melalui analisis regresi linier sederhana, dengan hasil yang disajikan pada

Tabel 7.

Hasil perhitungan yang diperoleh dari pemrosesan citra Landsat 8 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi jika dibandingkan dengan data kedalaman *in-situ* yang dikumpulkan melalui survei lapangan. Kedalaman terkecil yang dihasilkan oleh citra tersebut adalah 7,05 meter, sedangkan kedalaman tertingginya mencapai 85,27 meter. Nilai koefisien determinasi (R^2) tercatat sebesar 0,628, koefisien korelasi (r) sebesar 0,792, serta nilai *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) sebesar 28,48%.

Tabel 7. Perbandingan Citra Landsat 8 dengan *in-situ*

Data Citra	Kedalaman Minimum (m)	Kedalaman Maksimum (m)	R^2	Korelasi	Error (%)
Landsat 8	7,05	57,10	0,628	0,792	28,48
Kedalaman <i>In Situ</i>	4,92	67,61	-	-	-

Mengacu pada pendapat Jaelani & Tyastiti (2020), ambang batas minimum yang dapat dijadikan standar akurasi adalah nilai NMAE maksimal 30%, sehingga hasil tersebut dinilai layak untuk digunakan dalam ekstraksi informasi kedalaman perairan melalui teknologi penginderaan jauh. Penelitian juga diperkuat dengan temuan Nugraha et al. (2017), menyatakan hasil evaluasi akurasi citra Spot-7 studi kasus lembar-lombok dalam estimasi kedalaman menunjukkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,6205$, dengan koefisien korelasi (R) mencapai 0,7877. Nilai ini mengindikasikan tingkat kecocokan model terhadap data aktual sebesar 78,77%, yang merefleksikan

kemampuan Spot-7 dalam merepresentasikan kondisi kedalaman secara akurat.

KESIMPULAN

Estimasi pemetaan dan uji akurasi kedalaman di wilayah Teluk Prigi, Kabupaten Trenggalek yang diperoleh melalui pemrosesan citra Landsat 8 menunjukkan hasil yang cukup presisi. Berdasarkan analisis perhitungan, citra Landsat 8 terbukti memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memperkirakan kedalaman perairan. Hal ini dibuktikan melalui evaluasi menggunakan nilai korelasi terbaik pada klasifikasi kedalaman sebesar 0,92 dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 10,37837 pada kedalaman (0)-(-20), koefisien determinasi (R^2) keseluruhan kedalaman sebesar 0,792, *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) sebesar 28,48%. Selisih antara hasil pengolahan citra dan data *sounding* dipengaruhi oleh variasi nilai reflektansi (*albedo*), yang berdampak pada proses penyerapan (*absorption*) dan penyebaran (*scattering*) cahaya—faktor penting dalam menentukan ketepatan estimasi kedalaman menggunakan data penginderaan jauh.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penyediaan data batimetri yang lebih efisien dan ekonomis melalui pemanfaatan citra satelit, khususnya dalam mendukung perencanaan wilayah pesisir, pengelolaan sumber daya kelautan, serta keselamatan navigasi di Teluk Prigi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada para pembimbing di Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dan Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya atas dukungan serta fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas bantuan beasiswa pendidikan dan pendanaan penelitian yang telah memungkinkan penelitian ini terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. (2017). Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Dan. *Jurnal Teknik Its*, 6(2), 564–569.
- Druscha, Belloa, U. Del, S.Carliera, O.Colinb, V.Fernandeza, F.Gasconb, B.Hoerschb, C.Isolaa, P.Laberintia, P.Martimorta, A.Meygrete, F.Spotoa, O.Sya, F.Marchesed, & P.Bargellinid. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission For GMES Operational Services. *ELSEVIER*, 120, 25–36.
- Fachrurrozi, M., Widada, S., Helmi, M., Kelautan, J. I., Perikanan, F., Diponegoro, U., Soedharto, J. P. H.,

- Semarang, T., & Fax, T. (2013). Studi Pemetaan Batimetri Untuk Keselamatan Pelayaran Di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. *Journal Of Oceanography*, 2(3), 310–317.
- Fadillah, S. R., Manessa, Masita D, M., & Atmawidjaja, R. R. (2018). Ekstraksi Data Kedalaman Menggunakan Data Citra Landsat-8. *Studi Teknik Geodesi FT UNPAK*, 6(1), 1–12.
- Febrianto, T., Hestirianto, T., & Agus, S. B. (2016). Pemetaan Batimetri Di Perairan Dangkal Pulau Tunda, Serang, Banten Menggunakan Singlebeam Echosounder. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(2), 139–147.
- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. (2017). Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Dan. *Jurnal Teknik Its*, 6(2), 564–569.
- Druscha, Belloa, U. Del, S.Carliera, O.Colinb, V.Fernandeza, F.Gasconb, B.Hoerschb, C.Isolaa, P.Laberintia, P.Martimorta, A.Meygretc, F.Spotoa, O.Sya, F.Marchesed, & P.Bargellinid. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission For GMES Operational Services. *ELSEVIER*, 120, 25–36.
- Fachrurrozi, M., Widada, S., Helmi, M., Kelautan, J. I., Perikanan, F., Diponegoro, U., Soedharto, J. P. H., Semarang, T., & Fax, T. (2013). Studi Pemetaan Batimetri Untuk Keselamatan Pelayaran Di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. *Journal Of Oceanography*, 2(3), 310–317.
- Fadillah, S. R., Manessa, Masita D, M., & Atmawidjaja, R. R. (2018). Ekstraksi Data Kedalaman Menggunakan Data Citra Landsat-8. *Studi Teknik Geodesi FT UNPAK*, 6(1), 1–12.
- Febrianto, T., Hestirianto, T., & Agus, S. B. (2016). Pemetaan Batimetri Di Perairan Dangkal Pulau Tunda, Serang, Banten Menggunakan Singlebeam Echosounder. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(2), 139–147.
- Hutomo, T. P., A, S., & C, S, U. D. (2019). Karakteristik Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Serta Hubungannya Dengan Kedalaman Perairan Teluk Prigi, Kabupaten. *Universitas Brawijaya*.
- Ihlas, I., Winarso, G., Iwan Santoso, A., & Setiyadi, J. (2018). Akuisisi Data Batimetri Menggunakan Citra Satelit Spot-7 Diperairan Teluk Halong Kota Ambon. *Jurnal HIDROPILAR*, 4(1), 9–17.
- Irwanto, D. (2018). Pembangunan Kelautan Dan Perikanan Yang Berkelanjutan Dan Berkeadilan Sosial Dalam Menyongsong Poros Maritim Dunia. In *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan* (Vol. 59).
- Jaelani, L. M., & Tyastiti, E. Y. (2020). Uji Akurasi Produk Reflektan Permukaan Landsat-8 Beserta Pengaruhnya Terhadap Penentuan Konsentrasi Suspended Solid (Studi Kasus: Danau Kasumigaura, Jepang). *Geoid*, 15(1), 36.
- Jamil, F., Semedi, I. B., & Kurniawan, D. (2020). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Dan Landsat 8 (Studi Kasus: Perairan Temajuk, Kalimantan Barat).
- Masykur, S. F. (2021). Pemetaan Perairan Laut Dangkal Menggunakan Algoritma Stumpf Pada Citra Sentinel-2 Di Pulau Morotai. *Seminar Nasional Geomatika*, 643–650.
- 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): Bathymetry Mapping in Shallow Waters using Spot-7 Remote Sensing Data (Lombok-Sheet Case Study). *Jurnal Chart Datum*, 3(2), 61–80.
- Nurkhayati, R., & Khakhim, N. (2013). 140 Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird Di Perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2), 78320.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). Buku Ajar Dasar-Dasar Statistik Penelitian (1st Ed.). Sibuku Media.Pambuko, D. M., Jondri, J., & Umbara, R. F. (2013). Identifikasi Kedalaman Laut (Bathymetry) Berdasarkan Warna Permukaan Laut Pada Citra Satelit Menggunakan Metode ANFIS. *Jurnal Matematika Integratif*, 9(2), 167–178.
- 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: Journal Of Geospatial Information Science And Engineering*, 3(2), 161.
- Putri, K. (2018). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit Pleiades-1B Dengan Geographically Weighted Regression (Studi Kasus : Perairan Gili Iyang , Jawa Timur) [Institut Teknologi Sepuluh November]. In *Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Safi'i, A. N., & Dewi, R. S. (2020). Uji Akurasi Metode Berbasis Citra Satelit Untuk Ekstraksi Data Batimetri. *Teknik*, 41(2), 142–151.
- Sartimbul, A., Kasitowati, R. D., Izza, M. K., & Fauzia, S. S. (2021). High Catch Of Sardinella Lemuru (Bleeker, 1853) And Plankton Abundance In Prigi Waters: Case Study In 2017 And 2019. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 744(1).
- Sesama, A. S., Setiawan, K. T., & Julzarika, A. (2021). Bathymetric Extraction Using Planetscope Imagery (Case Study: Kemujan Island, Central Java). *International Journal Of Remote Sensing And Earth Sciences (Ijreses)*, 17(2), 209.
- Setiawan, K. T., Winarso, G., Ginting, D. N. B., Manessa, M., Anggraini, N., Hartuti, M., Asriningrum, W., & Parwati, E. (2021). Pemanfaatan Metode Semi-Analitik Untuk Penentuan Batimetri Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 18(1), 1–13.
- Sidabutar, E. A., Sartimbul, A., & Handayani, M. (2019). Distribusi Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Terhadap Kedalaman Di Perairan Teluk Prigi Kabupaten Trenggalek. *Journal Of Fisheries And Marine Research*, 3(1), 46–52.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination Of Water Depth With High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types. *Limnology And Oceanography*, 48(1), 547–556.
- Suwargana, N., & Setiawan, K. T. (2017). Model Informasi Kedalaman Laut Dangkal Di Perairan Teluk Lampung Menggunakan Data Satelit Landsat-8. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 1(1), 323–330.
- Wahyuningrum, P. I., Jaya, I., & Simbolon, D. (2008).

- Algoritma Untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 Etm + (Studi Kasus : Perairan Gugus Pulau Pari , Kepulauan Seribu , Jakarta). Buletin PSP, XVII(3), 333–340.
- Hodson, T. O. (2022). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not. *Geoscientific Model Development Discussions*, 2022, 1-10.
- Hutomo, T. P., A, S., & C, S, U. D. (2019). Karakteristik Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Serta Hubungannya Dengan Kedalaman Perairan Teluk Prigi, Kabupaten. Universitas Brawijaya.
- Ihlas, I., Winarso, G., Iwan Santoso, A., & Setiyadi, J. (2018). Akuisisi Data Batimetri Menggunakan Citra Satelit Spot-7 Diperairan Teluk Halong Kota Ambon. *Jurnal HIDROPILAR*, 4(1), 9–17.
- Irwanto, D. (2018). Pembangunan Kelautan Dan Perikanan Yang Berkelanjutan Dan Berkeadilan Sosial Dalam Menyongsong Poros Maritim Dunia. In *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan* (Vol. 59).
- Jaelani, L. M., & Tyastiti, E. Y. (2020). Uji Akurasi Produk Reflektan Permukaan Landsat-8 Beserta Pengaruhnya Terhadap Penentuan Konsentrasi Suspended Solid (Studi Kasus: Danau Kasumigaura, Jepang). *Geoid*, 15(1), 36.
- Jamil, F., Semedi, I. B., & Kurniawan, D. (2020). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Dan Landsat 8 (Studi Kasus: Perairan Temajuk, Kalimantan Barat)
- Masykur, S. F. (2021). Pemetaan Perairan Laut Dangkal Menggunakan Algoritma Stumpf Pada Citra Sentinel-2 Di Pulau Morotai. *Seminar Nasional Geomatika*, 643–650.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). *Buku Ajar Dasar-Dasar Statistik Penelitian* (1st Ed.). Sibuku Media.
- Pambuko, D. M., Jondri, J., & Umbara, R. F. (2013). Identifikasi Kedalaman Laut (Bathymetry) Berdasarkan Warna Permukaan Laut Pada Citra Satelit Menggunakan Metode ANFIS. *Jurnal Matematika Integratif*, 9(2), 167–178.
- 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: Journal Of Geospatial Information Science And Engineering*, 3(2), 161.
- Putri, K. (2018). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit Pleiades-1B Dengan Geographically Weighted Regression (Studi Kasus : Perairan Gili Iyang , Jawa Timur) [Institut Teknologi Sepuluh November]. In *Doctoral Dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Safi'i, A. N., & Dewi, R. S. (2020). Uji Akurasi Metode Berbasis Citra Satelit Untuk Ekstraksi Data Batimetri. *Teknik*, 41(2), 142–151.
- Sartimbul, A., Kasitowati, R. D., Izza, M. K., & Fauzia, S. S. (2021). High Catch Of *Sardinella Lemuru* (Bleeker, 1853) And Plankton Abundance In Prigi Waters: Case Study In 2017 And 2019. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 744(1).
- Sesama, A. S., Setiawan, K. T., & Julzarika, A. (2021). Bathymetric Extraction Using Planetscope Imagery (Case Study: Kemujan Island, Central Java). *International Journal Of Remote Sensing And Earth Sciences (Ijreses)*, 17(2), 209.
- Setiawan, K. T., Winarso, G., Ginting, D. N. B., Manessa, M., Anggraini, N., Hartuti, M., Asriningrum, W., & Parwati, E. (2021). Pemanfaatan Metode Semi-Analitik Untuk Penentuan Batimetri Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 18(1), 1–13.
- Sidabutar, E. A., Sartimbul, A., & Handayani, M. (2019). Distribusi Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Terhadap Kedalaman Di Perairan Teluk Prigi Kabupaten Trenggalek. *Journal Of Fisheries And Marine Research*, 3(1), 46–52.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination Of Water Depth With High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types. *Limnology And Oceanography*, 48(1), 547–556.
- Suwargana, N., & Setiawan, K. T. (2017). Model Informasi Kedalaman Laut Dangkal Di Perairan Teluk Lampung Menggunakan Data Satelit Landsat-8. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 1(1), 323–330.
- Wahyuningrum, P. I., Jaya, I., & Simbolon, D. (2008). Algoritma Untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 Etm + (Studi Kasus : Perairan Gugus Pulau Pari , Kepulauan Seribu , Jakarta). Buletin PSP, XVII (3), 333–340.

Halaman Ini Sengaja Kami Kosongkan