

Analisis Perairan dangkal Berdasarkan Pengolahan Digital Citra Satelit Sentinel-2B di Perairan Pulau Karimunjawa, Jawa Tengah

Daniel Alfa Maestro*, Muhammad Helmi dan Warsito Atmodjo

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Kampus Tembalang, Semarang 50275 Telp/Fax. 024-7474698
Email: *d.maestro@gmail.com

Abstrak

Kedalaman perairan dapat memberikan berbagai informasi penting mengenai area laut. Pada umumnya pengukuran kedalaman dilakukan dengan survei lapangan, namun hal tersebut tidak dapat menjangkau area perairan dangkal, membutuhkan biaya tinggi dan waktu yang lama. Data kedalaman perairan dangkal di Pulau Karimunjawa cukup penting karena dapat dimanfaatkan untuk perencanaan pemanfaatan zona perairan dangkal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji kemampuan citra satelit digital Sentinel-2B untuk pemetaan kedalaman perairan dangkal dan mengkaji pola spasial kedalaman perairan dangkal hasil pengolahan citra Satelit Sentinel-2B di Pulau Karimunjawa. Penelitian ini menggunakan data citra satelit Sentinel-2B dengan tiga saluran multispektral (saluran merah, saluran hijau, dan saluran biru) dan diintegrasikan dengan data kedalaman insitu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode perbandingan ratio dari Stumpf untuk mendapatkan kedalaman perairan dari citra Satelit Sentinel-2B. Hasil penelitian menunjukkan pengolahan digital Citra Satelit Sentinel-2B dapat digunakan untuk pemetaan dan analisis pola spasial perairan dangkal dengan persamaan $y=0,9076x - 1,9094$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 dan RMSE adalah 2,31. Persamaan yang dibangun ini menggunakan rasio band 2 dengan band 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa area studi didominasi oleh perairan dangkal dengan kedalaman 0 dan 20 meter dibawah MSL.

Kata kunci: Perairan Dangkal, NDWI, Sentinel-2B, Karimunjawa, Jawa Tengah

Abstract

Shallow Water Analysis Based on Digital Processing of Sentinel-2B Satellite Imagery in Karimunjawa Island Water, Central Java

The depth of the seawater can provide a variety of important information about an area of the sea. In general, depth measurements of the sea are carried out by field surveys that cannot reach shallow water areas due to higher costs, time commitments, and operational costs. Shallow water depth data on Karimunjawa Island is quite important because it can be used for planning the use of shallow water zones. The purpose of this study was to examine the ability of digital satellite imagery Sentinel-2B for mapping shallow water depths and to examine the spatial pattern of shallow water depths as a result of image processing from the Sentinel-2B Satellite Imagery. This study uses Sentinel-2B satellite imagery data with three multispectral channels (Red Band, Green Band, and Blue Band), and the results are integrated with in situ depth data. The method used in this research is the ratio band comparison method from Stumpf to get the water depth from the Sentinel-2B satellite imagery. The results showed that the digital processing of Sentinel-2B satellite imagery can be used for mapping and analyzing shallow water spatial patterns with the formula equation $y = 0,9076x - 1,9094$ and with a high level of influence ($R^2 = 0.94$) between the ratio of band 2 (blue band) and band 3 (green band) images to the data depth survey with a low error rate ($RMSE = 2.31$). The study area is dominated by shallow waters with a depth between 0 and 20 meters below MSL.

Keywords: Shallow Waters, NDWI, Sentinel-2B, Karimunjawa, Central Java

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang memiliki kurang lebih 16.056 pulau (BPS, 2020). Ribuan pulau – pulau kecil ini dikelilingi oleh laut dangkal yang luas. Pulau Karimunjawa merupakan salah satu pulau yang ada di Kepulauan Karimunjawa yang secara geografis terletak di $5^{\circ}50'17,4''$ LS dan $110^{\circ}25'05,7''$ BT. Perairan di sekitar Pulau Karimunjawa ini tergolong perairan dangkal dan memiliki tutupan dasar perairan yang beragam (Helmi *et al.*, 2020). Pada umumnya tipe dasar perairan di Kepulauan Karimunjawa mulai dari

tepi pulau adalah pasir, makin ke tengah dikelilingi oleh gugusan terumbu karang mulai dari kedalaman 0.5 m hingga kedalaman 20 meter (KKP, 2015). Pulau Karimunjawa memiliki perairan dangkal dengan berbagai pemanfaatan seperti kegiatan konservasi terumbu karang, budidaya perikanan, dan alur pelayaran nelayan lokal (Yusuf, 2013). Pemanfaatan zona perairan dangkal tersebut hendaknya memperhatikan pola spasial kedalaman perairan dangkal agar masing-masing kegiatan dapat berjalan beriringan tanpa merusak kelestarian alam.

Pada umumnya pengukuran kedalaman dilakukan dengan survei lapangan (Anida et al., 2020). Namun pengukuran kedalaman menggunakan survei lapangan memerlukan biaya, waktu, dan biaya operasional yang lebih tinggi serta tidak dapat menjangkau perairan dangkal dikarenakan kapal survei tidak bisa melewati perairan tersebut (Hambali *et al.*, 2021). Oleh karena itu digunakan pemetaan kedalaman perairan dangkal menggunakan teknologi penginderaan jauh (Setyawan *et al.*, 2014).

Teknologi penginderaan jauh merupakan metode yang paling efisien baik dalam segi waktu dan tenaga dalam mengkompilasi dan memperbaharui peta laut terutama laut dangkal dikarenakan penginderaan jauh mampu mengamati perubahan dan fenomena yang terjadi di daerah intertidal secara kontinu (Setyawan *et al.*, 2014). Penelitian ini menggunakan citra satelit sentinel 2B yang menggunakan citra multispectral resolusi tinggi dan datanya bersifat open source, sehingga citra satelit sentinel 2B ini dapat diakses semua orang secara gratis.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji bagaimana kemampuan citra satelit digital Sentinel-2B untuk pemetaan kedalaman perairan dangkal di Pulau Karimunjawa. Selain itu dalam penelitian ini dilakukan analisis pola spasial kedalaman perairan dangkal hasil pengolahan citra Satelit Sentinel-2B untuk mendukung perencanaan dan pengelolaan perairan dangkal di Pulau Karimunjawa. Pola spasial kedalaman perairan dangkal dapat menjadi data pendukung dalam memanfaatkan zona perairan dangkal. Pada penelitian ini dalam merumuskan penentuan nilai kedalaman dilakukan penyederhanaan model dengan mengasumsikan penyeragaman objek dasarnya.

MATERI DAN METODE

Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data citra satelit sentinel 2-B Level 2A Pulau Karimunjawa perekaman 26 April 2021 dengan resolusi spasial 10 m dan data kedalaman perairan hasil pengukuran langsung menggunakan Echosounder Garmin GPSMap 585 pada tanggal 17 April 2021. Data citra satelit sentinel 2-B ini nantinya akan diekstraksi untuk memperoleh nilai kedalaman pada perairan di sekitar Pulau Karimunjawa dan akan dilakukan uji akurasi dengan data kedalaman hasil pengukuran menggunakan Echosounder Garmin GPSMap 585. Data sekunder yang digunakan adalah data pasang surut Bulan April 2021 Pulau Karimunjawa yang diperoleh dari stasiun pengamatan pasang surut BIG Karimunjawa dan Peta Rupabumi Indonesia (RBI) Pulau Karimunjawa skala 1:25000 yang dikeluarkan oleh BIG tahun 2017.

Metode Pengambilan Data

Data Citra Satelit Sentinel-2B Pulau Karimunjawa diperoleh dengan cara mendownload melalui website <https://scihub.copernicus.eu/>. Data Citra Sentinel-2B Pulau Karimunjawa yang dipakai adalah data perekaman 26 April 2021. Data pengukuran kedalaman insitu yang diperoleh dengan melakukan pemeruman menggunakan Echosounder di perairan Pulau Karimunjawa bagian Barat. Pemeruman dilakukan menggunakan metode random sampling. Metode random sampling dipilih supaya daerah yang memiliki kedalaman paling dalam sampai daerah kedalaman terdangkal dapat terekam oleh echosounder. Data pasang surut yang digunakan merupakan data pasang surut selama satu bulan dengan pengambilan tinggi pasang surut setiap jam. Data pasang surut yang digunakan merupakan data pasang surut selama 29 hari yaitu pada bulan April 2021. Data tersebut diperoleh dari data pasang surut publikasi BIG stasiun Karimunjawa. Data pasang surut ini selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai-nilai komponen pasang surut dan akan digunakan untuk koreksi kedalaman.

Metode Pengolahan Data

Data citra sentinel 2B level 2B yang telah didownload dilakukan proses koreksi atmosferik terlebih dahulu. Proses koreksi atmosfer pada penelitian ini menggunakan metode *Dark Object Subtraction* (DOS). Metode DOS ini tidak membutuhkan data lapangan untuk melakukan proses koreksi atmosferik (Firmansyah *et al.*, 2019). Citra hasil koreksi atmosferik kemudian dipotong (*crooping*), pemotongan ini bertujuan untuk membatasi daerah kajian, yaitu di perairan Pulau Karimunjawa. Pemotongan ini perlu dilakukan karena citra satelit Sentinel-2B ini memiliki data *scene* sebesar 290 km. Pemotongan citra ini dilakukan melalui fitur *subset* pada *software* SNAP. Proses selanjutnya adalah proses *masking*. Proses *masking* adalah proses pemisahan objek perairan dengan daratan. Proses *masking* bertujuan agar lokasi penelitian tidak nampak di area daratan dan hanya fokus di perairan saja. Menurut Kaplan dan Ugur (2017), proses *masking* dapat menggunakan rumus NDWI (*Normalized Difference Wetness Index*) sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}}$$

Dimana :

ρ_{Green} = Kanal *Green* (Kanal 3)

ρ_{NIR} = Kanal *Near Infrared* (Kanal 8)

Data pasang surut diolah menggunakan metode Admiralty untuk mendapatkan nilai konstanta harmonik pasang surut yang meliputi M2, S2, K1, O1, N2, K2, P1, M4 dan nilai amplitudo (A) (Supriyadi *et al.*, 2019). Selanjutnya diperoleh nilai MSL (*Mean Sea Level*), HHWL (*Highest High Water Level*), LLWL (*Lowest Low Water Level*) dan tipe pasang surutnya. Parameter LLWL ini kemudian digunakan sebagai nilai koreksi kedalaman.

Berdasarkan komponen harmonik pasang surut akan diperoleh :

1. *Mean Sea Level* (MSL)

$$MSL = A(S_0)$$

2. *Lowest Lower Water Level* (LLWL)

$$LLWL = A(S_0) - (A(M_2) + A(S_2) + A(K_1) + A(O_1) + A(P_2) + A(K_2))$$

3. *Highest High Water Level* (HHWL)

$$HHWL = A(S_0) + (A(M_2) + A(S_2) + A(K_1) + A(O_1) + A(P_2) + A(K_2))$$

Pengukuran kedalaman dilakukan dengan *Echosounder*. Data mentah hasil pengukuran kedalaman yang diperoleh tidak dapat secara langsung digunakan. Untuk mendapatkan tampilan kedalaman yang sebenarnya, data tersebut terlebih dahulu dikoreksi (BSNI, 2010). Adapun koreksi yang akan dilakukan adalah koreksi *transducer* sebesar 30 cm, lalu dilanjutkan dengan koreksi pasang surut dengan rumus sebagai berikut:

$$rt = (TWL_t - (MSL + Z_0))$$

Dimana:

rt = besarnya koreksi hasil pengukuran kedalaman pada waktu t

TWL_t = posisi permukaan laut (*True Water Level*) pada waktu t

MSL = muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*)

Z_0 = kedalaman muka surutan di bawah MSL

Kemudian, penentuan kedalaman sesungguhnya adalah:

$$D = dT - rt$$

Dimana:

D = kedalaman sesungguhnya

dT = kedalaman terkoreksi *transducer*

rt = koreksi pasang surut laut pada waktu t

Estimasi kedalaman perairan pada citra satelit Sentinel 2B dengan perbandingan kanal menurut Stumpf (2003). Metode ini mengembangkan model semi-analitis yang membentuk hubungan linier antara rasio kedalaman dengan nilai pantulan dari perbandingan dua kanal untuk memperoleh nilai kedalaman dan dapat diaplikasikan pada perairan yang memiliki albedo rendah. Perbandingan kanal yang digunakan dalam

penelitian ini *Blue/Green, Blue/Red, Green/Blue Green/Red, Red/Blue, Red/Green*. Stumpf (2003) membuat suatu formula penduga kedalaman dengan dua reflektansi panjang gelombang sebagai berikut:

$$Z = m_1 \left(\frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} \right) - m_0$$

Dimana:

- Z = Kedalaman
- m_1 = Koefisien kalibrasi
- $R_w(\lambda.)$ = Reflektansi perpanjang gelombang yang meninggalkan air
- ln = Konstanta untuk menjaga rasio tetap positif
- m_0 = Koreksi kedalaman nol (0)

Dengan demikian untuk memperoleh kedalaman duga dari hasil regresi rasio nilai-nilai reflektansi pada masing-masing band yang digunakan, persamaan diatas dapat ditulis ulang berdasarkan persamaan regresi linear menjadi:

$$Y = aX + b$$

dimana nilai slope (a) mewakili koefisien m_1 , nilai intercept (b) mewakili koefisien m_0 , dan nilai X mewakili hasil rasio nilai reflektansi pada band yang digunakan.

Setelah mendapat kedalaman dari citra, maka kedalaman hasil ekstraksi citra ini harus dikoreksi terhadap pasang surut terlebih dahulu. Menurut Harianto *et al.* (2019), koreksi pasang surut ini dilakukan dengan cara menyurutkan tinggi air laut pada saat perekaman citra dilakukan. Untuk melihat kapan waktu perekaman citra dapat dilihat pada metadata citra. Koreksi pasang surut pada citra dapat dicari dengan rumus:

$$D = Z - (TWL_t \text{ Citra} - LLWL)$$

Dimana:

- D = Kedalaman hasil citra terkoreksi
- Z = Kedalaman hasil citra
- TWL_t Citra = Posisi permukaan laut (*True Water Level*) pada waktu t citra

Untuk menentukan hubungan antara data kedalaman hasil citra sentinel 2B dengan data kedalaman hasil pemeruman dilakukan dengan menggunakan koefisien korelasi. Dimana variabel X, yaitu variable data nilai kedalaman dari pengolahan citra dan Y, yaitu data kedalaman hasil pengukuran lapangan. Kuat tidaknya hubungan antara keduanya ditunjukkan dengan tinggi tidaknya korelasi antara kedua variabel tersebut (Nurkhayati dan Khakhim, 2013). Rumus dasar koefisien korelasi ini adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{(n \sum x^2 - (\sum x)^2) - (n \sum y^2 - (\sum y)^2)}$$

Dimana:

- R = Koefisien korelasi
- n = Jumlah sampel
- x = Variabel yang mewakili nilai band rasio citra
- y = Variabel yang mewakili nilai hasil pengukuran di lapangan

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan akurasi dari peta kedalaman yang dihasilkan yaitu RMSE (*root mean square error*) (Nurkhayati dan Khakhim, 2013). RMSE merupakan akar dari rata - rata jumlah kuadrat nisbah antara selisih nilai kedalaman aktual hasil pengukuran lapangan dengan nilai kedalaman hasil estimasi pengolahan citra penginderaan jauh. RMSE dapat dihitung sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (At - Ft)^2}{n}}$$

Dimana:

- At = Nilai hasil estimasi kedalaman dari citra
- Ft = Nilai hasil pengukuran lapangan
- n = Jumlah titik kedalaman yang digunakan dalam validitas model

HASIL DAN PEMBAHASAN

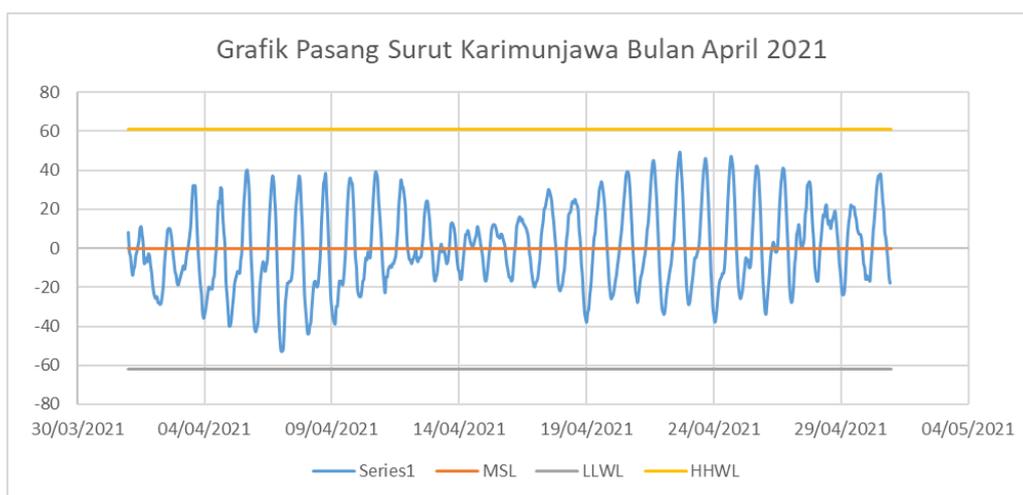
Hasil

Pengolahan data pasut dilakukan menggunakan metode *Admiralty* untuk mendapatkan konstanta harmonik pasut. Konstanta harmonik pasang surut yang didapatkan nilai S0, M2, S2, K2, N2, K1, O1, P1, M4, MS4. Konstanta harmonik pasang surut digunakan untuk mencari nilai muka surutan (Z0), *Mean Sea Level* (MSL), *Lowest Low Water Level* (LLWL), *Highest High Water Level* (HHWL). Berikut merupakan hasil dari perhitungan data pasut.

Tabel 1. Hasil Elevasi Pasang Surut dan Tipe Pasang surut

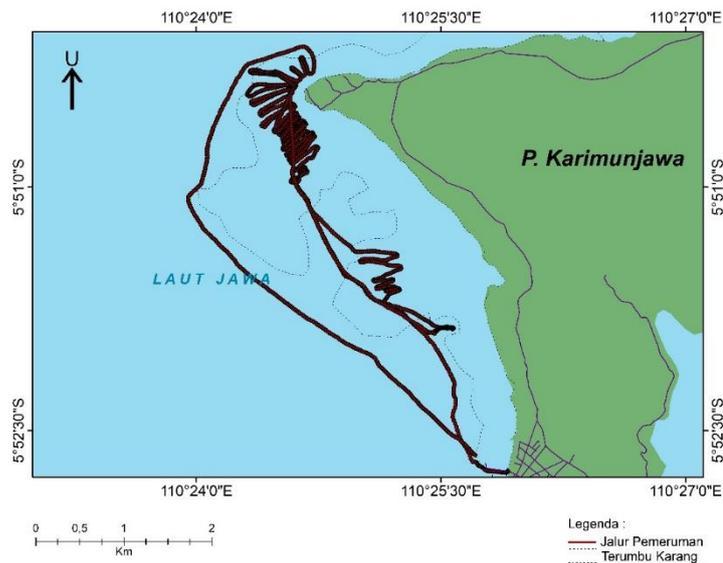
Z0	MSL	LLWL	HHWL	Formzahl	Tipe Pasut
61	173	112	234	2,273	Campuran Condong Ke Harian Tunggal

Data elevasi pasang surut akan dilakukan koreksi kembali menggunakan data MSL. Hal ini dilakukan untuk menyamakan datum pasang surut yang dipakai pada peta dasar yang digunakan. Peta dasar yang digunakan merupakan Peta Rupabumi Indonesia skala 1:25.000 yang dipublikasikan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Peta ini memiliki referensi pasang surut berdasarkan datum pasut MSL, sehingga kedalaman perairan pada penelitian ini akan mengikuti datum pasut yang digunakan oleh peta dasar. Adapun grafik pasang surut setelah dikoreksi dengan MSL adalah sebagai berikut.



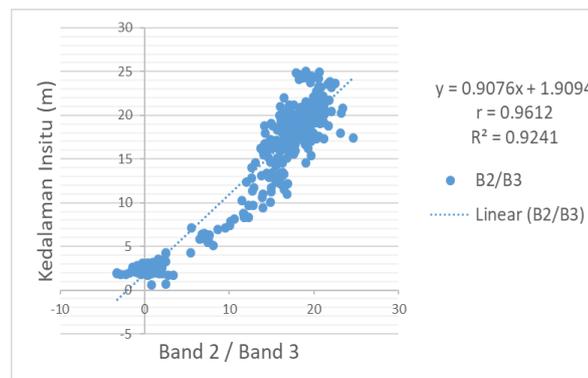
Gambar 1. Grafik pasang surut di Karimunjawa (April 2021) setelah dikoreksi dengan MSL

Data kedalaman lapangan dilakukan koreksi *transducer* terlebih dahulu sebesar 30 cm. Selanjutnya dilakukan koreksi kembali dengan elevasi permukaan laut pada saat pemeruman dilakukan dan saat kondisi pasang surut di lokasi. Pembangunan model kedalaman menggunakan 1240 titik sampel kedalaman. Uji akurasi menggunakan 420 titik sampel kedalaman yang mewakili sampel di setiap kedalaman yang ada. Peta hasil pemeruman dapat dilihat pada Gambar 2.

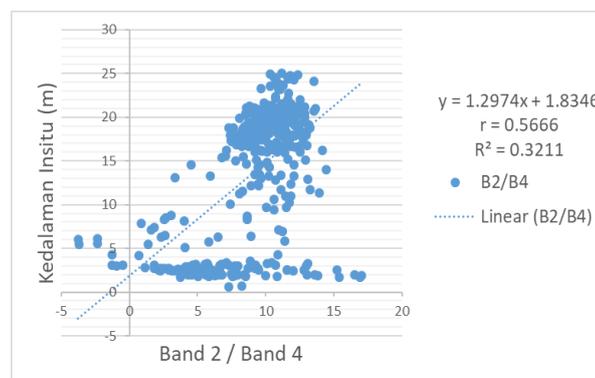


Gambar 2. Peta survei lapangan di Perairan Pulau Karimunjawa

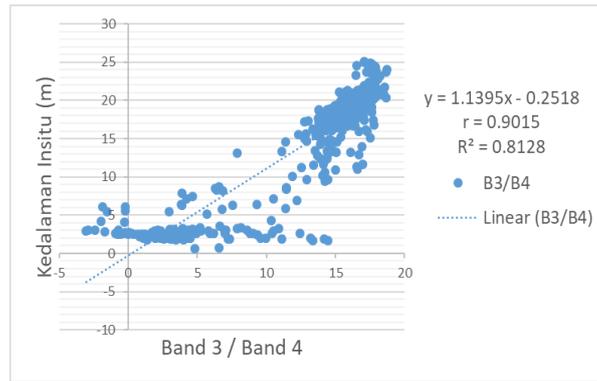
Proses pemodelan batimetri menggunakan metode *band ratio* ini merupakan proses inti untuk mendapatkan data kedalaman dari citra sentinel. Proses pemodelan batimetri dengan metode *band ratio* merupakan metode empirik karena menggunakan data batimetri in situ untuk membangun model dan untuk uji akurasi data. Setelah didapatkan data estimasi batimetri dari ekstraksi citra, selanjutnya dibuat grafik analisis regresi linier antara data ekstraksi citra kombinasi 3 band dengan data batimetri in situ.



Gambar 3. Grafik regresi band 2/3 terhadap kedalaman dari pengukuran lapangan



Gambar 4. Grafik regresi band 2/4 terhadap kedalaman dari pengukuran lapangan



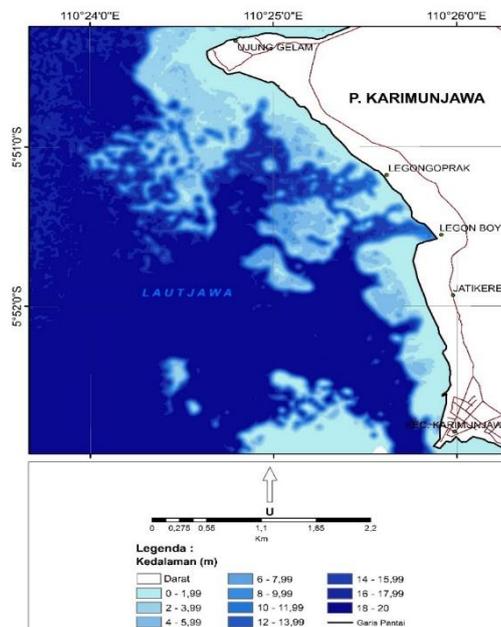
Gambar 5. Grafik regresi band 3/4 terhadap kedalaman dari pengukuran lapangan

Hasil model kedalaman dari masing-masing kombinasi band kemudian dilakukan uji akurasi menggunakan metode RMSE. Dari hasil uji akurasi kedalaman hasil ekstraksi citra satelit Sentinel 2 terhadap data kedalaman in situ menggunakan metode RMSE, diperoleh hasil terbaik dengan pada kombinasi band biru-hijau sebesar 2,37. Berikut merupakan hasil lengkap nilai RMSE pada masing-masing kombinasi band.

Tabel 2. Nilai RMSE kedalaman dari citra satelit dan pengukuran lapangan

Band Rasio	RMSE (m)
Band 2 / Band 3	2,37
Band 2 / Band 4	7.82
Band 3 / Band 4	3,71

Hasil akhir dari pemodelan kedalaman menggunakan algoritma *band ratio* ini berupa peta sebaran perairan dangkal dengan warna putih yang menunjukkan daerah daratan dan varian warna biru yang menunjukkan daerah perairan. Tingkatan kedalaman dalam peta sebaran perairan dangkal ini ditunjukkan oleh varian warna biru yang dihasilkan, semakin gelap warna biru maka kedalaman perairan tersebut semakin dalam. Pola distribusi (profil) kedalaman disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta kedalaman perairan dangkal hasil pemodelan citra satelit Sentinel 2B

Pembahasan

Pengolahan data pasang surut pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode admiralty. Dari metode admiralty ini diperoleh beberapa komponen harmonik pasang surut yaitu S0, M2, S2, K2, N2, K1, O1, P1, M4, dan MS4. Setelah mendapatkan masing-masing komponen harmonik pasut kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai MSL, LLWL, HHWL, Z0 dan nilai Formzahl. Tanggal pengambilan data kedalaman insitu yaitu pada 17 April 2021 dengan tanggal perekaman citra yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pada 26 April 2021 hanya berjarak 9 hari dan masih dalam periode bulan yang sama, sehingga memiliki nilai datum pasang surut yang sama. Dari perhitungan konstanta harmonik pasut didapatkan nilai Formzahl sebesar 2,273 yang berarti pasang surut yang terjadi memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian tunggal. Menurut Haryono dan Narni (2004), tipe pasang surut yang terjadi di Jepara ialah pasang surut campuran condong ke harian tunggal, hal ini sesuai dengan tipe pasang surut di lokasi penelitian di perairan Karimunjawa yang berada di Jepara.

Sampel kedalaman in situ untuk pemodelan yang telah didapatkan kemudian diproses menjadi vektor sebagai data training. Data training ini digunakan untuk pembentukan model ekstraksi kedalaman. Model yang didapat ini digunakan untuk mengekstraksi nilai kedalaman dari keseluruhan perairan pada citra yang digunakan. Setelah mendapatkan data hasil ekstraksi tersebut dilakukan analisis regresi untuk melihat hubungan antara nilai kedalaman hasil ekstraksi dengan sampel kedalaman insitu. Dari grafik regresi antara kedalaman hasil ekstraksi dengan sampel kedalaman insitu didapatkan nilai kedalaman absolut dengan kedalaman insitu yang disimbolkan sebagai sumbu Y dan kedalaman hasil ekstraksi sebagai sumbu X. Diperoleh tiga hasil grafik regresi linier dari tiga ekstraksi kedalaman dari kombinasi band 2/band 3, band 2/band 4, dan band 3/band 4 dengan kedalaman insitu. Dari ketiga hasil grafik regresi diketahui bahwa hasil pemodelan kedalaman terbaik yaitu band 2/band 3 dengan nilai korelasi (R²) sebesar 0,9241. Untuk band 2/band 4 mendapatkan nilai korelasi (R²) sebesar 0.3211 dan band 3/ band 4 mendapatkan nilai korelasi (R²) sebesar 0.8182. Menurut Sugiyono (2009), korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antar variabel yang disimbolkan dengan rentang angka -1 sampai dengan 1, semakin mendekati -1 atau 1 maka hubungan korelasi antar variabel makin kuat. Dari hasil pemodelan regresinya, selanjutnya dihitung kedalaman absolut dengan menggunakan ketiga fungsi regresi masing-masing kombinasi band. Untuk fungsi regresi band 2/band 3 yaitu ($Y=0,9076*(\text{band 2/band 3}) + 1,9094$), untuk fungsi regresi band 3/band 4 yaitu ($Y=1,1395*(\text{band 3/band 4}) - 0,2518$), dan untuk fungsi regresi band 2/band 4 yaitu ($Y=1,294*(\text{band 2/band 4}) + 1,8346$) dimana Y merupakan kedalaman absolut.

Hasil uji akurasi menggunakan metode RMSE terhadap ketiga model estimasi kedalaman yang dibedakan berdasarkan kombinasi band rasionya, diketahui bahwa nilai RMSE yang paling baik adalah model batimetri dengan kombinasi band 2/band 3 dengan nilai RMSE 2,37. Adapun nilai RMSE pada model batimetri dengan kombinasi band 2/band 4 adalah 7,82 dan pada kombinasi band 3/band 4 adalah 3,71. Nilai RMSE yang paling baik pada kombinasi band 2/band 3 didapatkan karena band 2 yang merupakan band biru dan band 3 yang merupakan band hijau mempunyai kemampuan untuk penetrasi ke kedalaman air yang paling jauh dibandingkan band lainnya. Band biru memiliki panjang gelombang yang paling pendek dibandingkan band hijau dan band merah, selain itu band biru juga tidak terlalu terpengaruh dengan jenis material dasar perairan (Masykur, 2020). Hal ini dikuatkan oleh penelitian Prayogo *et al.* (2020), dimana hasil penelitian menyatakan bahwa ekstraksi kedalaman menggunakan metode stumpf pada citra satelit Sentinel 2A diperoleh model terbaik yaitu pada band ratio hijau-biru dengan nilai $y=0,858x + 0,3123$ dan R² sebesar 0,697. Selain itu menurut Aji (2020) hasil ekstraksi kedalaman dengan metode stumpf pada citra satelit Sentinel 2A diperoleh nilai R² sebesar 0,882 dan RMSE 2,093m. Pada penelitian ini dapat diperoleh hasil dengan akurasi yang baik dikarenakan wilayah penelitian memiliki kondisi perairan dengan tingkat kejernihan yang baik dan kondisi citra satelit yang digunakan cukup bersih dari awan.

Area studi didominasi oleh perairan dangkal dengan kedalaman 0 - 20 meter dibawah MSL. Perairan dangkal dengan kedalaman 0 - 4 m memiliki pola spasial memanjang mengikuti garis pantai dari Pantai Batu Topeng di utara sampai ke selatan Pulau Karimunjawa. Untuk kedalaman 4 - 8 m tersebar secara berkelompok di sebelah Barat Daya Pantai Ujung Gelam dan sebagian di sebelah barat Jati Kerep. Kedalaman 8 - 10 m

tersebar di sebelah barat Legonboyo. Kedalaman 10 – 20 m tersebar di sebelah Barat Pulau Karimunjawa bagian selatan. Pola spasial kedalaman perairan dangkal ini bisa menjadi pertimbangan dalam perencanaan dan pengelolaan perairan dangkal.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemetaan kedalaman di perairan Karimunjawa dapat dilakukan dengan pemanfaatan rasio band 2 dan 3 dengan menggunakan persamaan $y=0,9076x - 1,9094$. Berdasarkan persamaan ini kedalaman wilayah studi di Karimunjawa berada pada kisaran 0-20m. Perairan dangkal memiliki kedalaman 0 – 4 m dan memiliki pola spasial memanjang mengikuti garis pantai dari Pantai Batu Topeng di utara sampai ke selatan Pulau Karimunjawa. Untuk kedalaman 4 – 8 m tersebar secara berkelompok di sebelah Barat Daya Pantai Ujung Gelam dan sebagian di sebelah barat Jati Kerep. Kedalaman 8 – 10 m tersebar di sebelah barat Legonboyo. Kedalaman 10 – 20 m tersebar di sebelah Barat Pulau Karimunjawa bagian selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, S., Sukmono., A dan 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). 2021. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1): 68-77.
- Anida, F., Helmi, M., Kunarso., Wirasatriya, A., Atmodjo, W., dan 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) :1-8.
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistik Indonesia 2020*. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia tentang Survei hidrografi menggunakan single beam echosounder*. SNI 7646:2010.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Metode Pengukuran Kedalaman Menggunakan Alat Perum Gema Untuk Menghasilkan Peta Batimetri*. SNI: 8283:2016.
- Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Profil Kawasan Konservasi Provinsi Jawa Tengah*. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- ESA. 2012. *Sentinel-2 ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operation Service*. Esa Communication.
- Firmansyah, S., Gaol, J.L, dan Susilo, S.B. 2019. Perbandingan Klasifikasi SVM dan *Decision Tree* untuk Pemetaan Mangrove Berbasis Objek Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2B di Gili Sulat, Lombok Timur. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(3): 746-757.
- Harianto, K., Takwir, A, dan Halili. 2019. Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Algoritma Jupp Pada Citra Spot-7 Di Perairan Tanjung Tiram. *Jurnal Sapa Laut Februari*, 4(1): 1-12.
- Haryono dan Narni, S. 2004. Karakteristik Pasang Surut Laut di Pulau Jawa. *Forum Teknik*, 28 (1): 1-5.
- Helmi, M., Hartoko, A., Herkiki, S., Munasik, dan Wouthuyzen, S. 2011. Analisis Respon Spektral dan Ekstraksi Nilai Spektral Terumbu Karang Pada Citra Digital Multispektral Satelit ALOS-AVNIR di Perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta. *Buletin Oseanografi Marina*, 1(1): 120-136.
- Hidayat, A., Suryoputro, A.A.D., Ismunarti, D.H. 2016. Pemetaan Batimetri Dan Sedimen Dasar Di Perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi*, 5(2): 191 – 201.
- Kaplan, G. dan U. Avdan. 2017. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50 (1): 137 – 143.
- Nurkhayati, R. dan Khakhim, N. 2013. Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird di Perairan Taman Nasional Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2): 140-148.
- Prayogo, L.M., dan Basith, A. 2020. Uji Performa Citra Worldview 3 dan Sentinel 2A untuk Pemetaan Kedalaman Laut Dangkal (Studi Kasus di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah). *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(2): 161-167.
- 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.

- Stumpf, R.P and Kristine, H. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol Oceanography*, 48(1): 547-556.
- Sugiyono. 2011. Metode Penelitian. Alfabeta. Bandung.
- Supriyadi, E., Siswanto., dan W.S. Pranowo. 2019. Analisis Pasang Surut Di Perairan Pameungpeuk, Belitung, Dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 19(1): 29 – 38.
- Syaiful, S. N., Helmi, M., Widada, S., Widiaratih, R, Subardjo, P, dan Suryoputro, A. A. D. 2019. Analisis Digital Citra Satelit Worldview-2 untuk Ekstraksi Kedalaman Perairan Laut di Sebagian Perairan Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa, Provinsi Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 1(1): 1- 8.
- Yusuf, M. 2013. Kondisi Terumbu Karang Dan Potensi Ikan Di Perairan Taman Nasional Karimunjawa, Kabupaten Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(2): 54 – 60.