

Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A Dan Landsat 8 Perairan Pantai Matahari Terbit, Bali

Ravienkha Raisharas Budaya^a, I Gusti Ngurah Putra Dirgayusa^a, I Putu Yogi Darmendra^{a*}

^aProgram Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

*Corresponding author, email: yogidarmendra@unud.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 16 Juli 2022

Received in revised form: 15 Agustus 2022

Accepted: 20 Juli 2023

Available online: 28 Agustus 2023

Keywords:

Microplastic

Sediment

Seagrass

Nusa Dua

Kata Kunci:

Mikroplastik

Sedimen

Lamun

Nusa Dua

ABSTRACT

Bathymetric mapping is essential for human activities, mainly marine and fisheries. However, conventional bathymetry measurement in coastal areas is quite time-consuming, high cost, and difficult to ship access. With the advancement of current technology, remote sensing technology using satellite imagery is believed to overcome these obstacles. In practice, several satellite imagery can be used, with its advantages and disadvantages that differ from each other. This study compared two open-access satellite imagery with different resolutions, Sentinel-2A and Landsat 8, using Lyzenga's algorithm to estimate depth in Matahari Terbit Beach Waters, Bali Island. The depth data estimated from these satellite imageries was then validated with in situ measurement data collected in November 2012. Inverse regression analysis is carried out to obtain the absolute depth and know the relation between the relative depth of the image and the in situ depth. The analysis results using Sentinel-2A got an estimated absolute depth of 0 – 7.1 meters with $R^2 = 0.705$ and RMSE 6.165324. While the research using Landsat 8 received an estimated absolute depth of 0 – 5.5 meters with $R^2 = 0.588$ and RMSE 7.086484. The results showed that the data obtained using Sentinel-2A satellite imagery was better than Landsat 8's imagery, which could be due to differences in image spatial resolution and water conditions when the images were recorded

ABSTRAK

Pemetaan batimetri mempunyai peranan penting bagi aktivitas manusia khususnya di bidang kelautan dan perikanan. Kesulitan pengukuran batimetri secara konvensional di wilayah pesisir antara lain cukup memakan waktu, biaya tinggi, dan akses kapal yang sulit. Dengan kemajuan teknologi saat ini, teknologi penginderaan jauh melalui citra satelit diyakini dapat mengatasi kendala tersebut. Terdapat beberapa citra satelit yang dapat digunakan, dengan kelebihan dan kekurangan tersendiri yang berbeda satu sama lain. Penelitian ini membandingkan dua citra satelit *open access* dengan resolusi berbeda yaitu Sentinel-2A dan Landsat 8 dengan menerapkan algoritma Lyzenga untuk memperkirakan kedalaman di perairan Pantai Matahari Terbit, Bali. Data kedalaman yang diperkirakan dari citra satelit tersebut kemudian divalidasi dengan data pengukuran in situ yang dikumpulkan pada bulan November 2012. Untuk mendapatkan kedalaman absolut dan mengetahui hubungan antara kedalaman relatif citra dengan kedalaman in situ dilakukan analisis regresi invers. Hasil analisis menggunakan Sentinel-2A diperoleh perkiraan kedalaman absolut 0 – 7,1 m dengan $R^2 = 0,705$ dan RMSE 6,165324. Sedangkan analisis menggunakan Landsat 8 diperoleh perkiraan kedalaman absolut 0 – 5,5 m dengan $R^2 = 0,588$ dan RMSE 7,086484. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data yang diperoleh menggunakan citra satelit Sentinel-2A lebih baik dibandingkan citra Landsat 8, hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan resolusi spasial citra dan kondisi air pada saat gambar direkam.

2023 JMRT. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Kedalaman perairan (Batimetri) adalah pengukuran kedalaman dari permukaan air hingga dasar laut. Pemetaan batimetri perairan dangkal memiliki peran penting baik secara langsung maupun tidak langsung dalam kegiatan kelautan dan perikanan. Peta batimetri dasar laut memberikan informasi tentang kondisi, struktur, bentuk dasar laut (Setiawan *et al.*, 2014). Dalam pemetaan batimetri, *echo sounding* dan pemetaan menggunakan instrumen *multi-beam*

sonar atau LIDAR udara merupakan metode tradisional/konvensional yang banyak digunakan, namun di kawasan tertentu, pemetaan dengan metode konvensional tersebut seringkali sulit dilakukan dan atau mahal biayanya. Sebagai alternatif, pemetaan batimetri juga dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit multi-spektral, atau yang dikenal dengan *satellite derived bathymetry (SDB)*. Menurut Irwanto (2018), kemajuan terbaru dalam teknologi satelit, seperti

peningkatan resolusi dan pita multi-spektralnya, telah meningkatkan potensinya sebagai sumber data hidrografi.

Nurkhyati, *et al.* (2013) berhasil memetakan batimetri perairan Karimun Jawa melalui citra Quickbird dengan RMSE terkecil 2.31 m dan nilai kedalaman berkisar 0-28 m. Di perairan yang sama dengan Prayogo *et al.* (2020) membandingkan kemampuan citra satelit Worldview-3 dan Sentinel-2A dalam memetakan batimetri perairan Kepulauan Karimun Jawa yang menghasilkan kedalaman terbaik pada rentang kedalaman 0-5 m dengan nilai RMSE sebesar 1,526 dan 1,558 m. Penggunaan citra satelit yang lain, dilakukan oleh Jagalingam *et al.*, (2015) yang memetakan batimetri perairan pantai barat daya India dengan citra Landsat 8 hingga kedalaman 20 m dengan RMSE 0.001708 pixel. Studi lain yang berbeda dari ketiga studi itu, dilaporkan oleh Aji *et al.* (2020) yang membandingkan penerapan algoritma Stumpf dan algoritma Lyzenga pada citra Sentinel-2A di perairan Pelabuhan Malahayati. Studi ini memperlihatkan bahwa keduanya dapat memetakan hingga kedalaman 20 m dengan RMSE masing-masing 2,02 dan 1,89 meter.

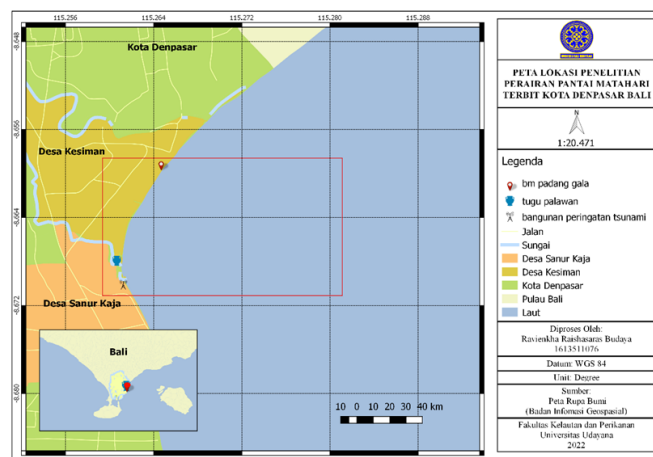
Pantai Matahari Terbit yang terletak di wilayah Sanur Kaja merupakan kawasan yang memiliki peran penting dalam kegiatan perikanan sebagai tempat nelayan beraktivitas dan juga kegiatan pariwisata dengan keindahan obyek wisata berupa kekayaan alam serta budaya masyarakatnya (Aryasih, 2012). Perairan Pantai Matahari Terbit juga difungsikan sebagai jalur transportasi laut yang menjadi salah satu akses utama baik bagi penduduk lokal maupun turis asing untuk menyebrang ke Nusa Penida dan Nusa Lembongan di Kabupaten Klungkung. Dalam hal ini tentunya peta batimetri akan diperlukan baik untuk membantu pengembangan kawasan di bidang kelautan dan perikanan juga akomodasi penunjang kegiatan pariwisata, serta dapat memberikan informasi kondisi perairannya secara umum.

Dengan mempertimbangkan kemampuan teknologi penginderaan jauh untuk pemetaan batimetri, penulis melakukan pemetaan batimetri dengan membandingkan data citra resolusi menengah dan bebas akses citra satelit Sentinel-2A dan Landsat 8, dan dengan menggunakan algoritma Lyzenga untuk pendugaan kedalamannya, di perairan Pantai Matahari Terbit, Denpasar, Bali. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi untuk pengembangan kawasan serta memberikan gambaran kemampuan teknologi penginderaan jauh khususnya citra satelit dalam pengukuran batimetri.

Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Lokasi penelitian berada di sepanjang perairan Pantai Matahari Terbit, Kota Denpasar. Pengolahan data dan analisis data akan dilaksanakan di Laboratorium GIS, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana. Lokasi pengamatan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Pengambilan Data

Data citra satelit Sentinel-2 pada tanggal 26 Juli 2020 pukul 10.40 WITA yang diunduh melalui <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> serta data citra satelit Landsat 8 pada tanggal 18 Agustus 2020 pukul 10.23 WITA yang diunduh melalui <https://earthexplorer.usgs.gov/> digunakan pada penelitian ini.

Setelah data citra satelit dikumpulkan, dilakukan pengukuran data kedalaman in-situ merupakan proyek kerjasama antara LPPM UNUD dengan Dinas Perhubungan Kota Denpasar yang dilakukan pada tanggal 7 – 8 November 2012 dengan menggunakan alat *Single Beam Echo Sounder* dan terkoreksi LWS (*Low Water Spring*). Data pasang surut selama Bulan Juli dan Agustus 2020 diperoleh dari <https://tides.big.go.id/>.

2.3 Pengolahan Citra Satelit

Perangkat lunak QGIS dan ArcGIS digunakan untuk mengolah citra. Tahap pra-pengolahan citra terdiri dari kalibrasi radiometrik, koreksi atmosfer dan pemotongan citra. Koreksi atmosfer dilakukan untuk menghasilkan nilai reflektansi permukaan yang lebih akurat dan berpotensi meningkatkan ekstraksi parameter permukaan dari citra satelit (Chrysoulakis, 2010). Metode koreksi atmosfer yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Dark Object Subtraction* (DOS). Metode DOS dilakukan dengan asumsi ada objek yang menyerap energi matahari dengan sempurna sehingga objek tersebut bernilai nol (Ardiansyah 2015). Pemotongan citra dilakukan agar pengolahan fokus pada lokasi penelitian.

Langkah berikutnya adalah tahap pengolahan citra yang terdiri dari *masking* citra dan penerapan algoritma. *Masking* citra dilakukan untuk memisahkan daerah daratan dengan daerah perairan. Selanjutnya dilakukan penerapan algoritma bertujuan untuk memperkirakan kedalaman dengan menggunakan citra satelit. Kanal yang digunakan untuk penerapan algoritma pada penelitian ini adalah kanal biru dan kanal hijau dimana pada citra Sentinel-2 dan Landsat 8 berturut-turut merupakan band 2 dan band 3. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *band tunggal* menurut Lyzenga (1985).

2.4 Analisis Data

2.4.1 Algoritma Lyzenga

Setelah pengolahan citra, langkah selanjutnya adalah penerapan algoritma yang dirumuskan oleh Lyzenga.

Lyzenga merupakan algoritma yang menggabungkan *spectral band* untuk menghasilkan nilai kedalaman relatif di perairan dangkal. Pada proses ini, Kanal biru dan kanal hijau dipilih untuk dihitung rasio koefisien atenuasinya. Algoritma band tunggal yang digunakan untuk menghitung kedalaman perairan menurut Lyzenga (1985) yaitu:

$$DII = (\ln Li) + (Ki / Kj \times \ln Li) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

DII = Depth Invariant Index

Li = nilai reflektan kanal biru

Lj = nilai reflektan kanal hijau

Ki/Kj = rasio koefisien atenuasi kanal biru dan hijau dimana:

$$\frac{Ki}{Kj} = a + \sqrt{a^2 + 1} \dots\dots\dots(2)$$

nilai *a* pada persamaan (2) ditentukan dari persamaan (3)

$$a = \frac{(\sigma_{ii} - \sigma_{jj})}{2 \times \sigma_{ij}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

σ_{ii} = varian kanal biru

σ_{jj} = varian kanal hijau

σ_{ij} = kovarian kanal biru dan kanal hijau

2.4.2 Koreksi Pasang Surut

Setelah diterapkan algoritma Lyzenga pada citra, akan didapatkan kedalaman yang masih relatif. Untuk menghilangkan pengaruh dari efek pasang surut pada data kedalaman, perlu dilakukan koreksi yang dalam hal ini adalah koreksi pasang surut. Data *insitu* yang digunakan sudah terkoreksi ke LWS (*Low Water Spring*) maka pada data kedalaman relatif perlu dilakukan koreksi kedalam kondisi yang sama. Data pasang surut di area penelitian pada bulan dan waktu yang sama dengan waktu perekaman citra didapatkan melalui <https://tides.big.go.id/>.

2.4.3. Pemodelan Regresi

Analisis regresi digunakan untuk melihat hubungan suatu variabel yang diterangkan atau respon dengan suatu variabel yang menerangkan atau bebas (Gujarati 2003). Pemodelan ini dilakukan antara nilai kedalaman relatif dari pengolahan citra dengan nilai kedalaman dari data pengukuran dilapangan untuk mendapatkan nilai kedalaman absolut atau nilai kedalaman yang sebenarnya. Analisa Regresi yang digunakan adalah regresi nonlinear sederhana inverse dengan bentuk umum persamaan :

$$Y = a + \frac{b}{X} \dots\dots\dots(4)$$

Untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antara variabel tersebut juga dilakukan analisa korelasi. Hubungan tersebut dilihat dari nilai koefisien korelasi (*r*) masing - masing algoritma yang digunakan. Menurut Walpole (1997), nilai koefisien korelasi akan semakin baik apabila nilai semakin mendekati 1.

2.4.4. Uji Akurasi

Root Mean Squared Error (RMSE) merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi model regresi dengan mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model. RMSE didasarkan pada total kuadratis dari hasil simpangan antara hasil model dengan hasil observasi. Nilai RMSE menunjukkan seberapa besar error yang dimiliki model

dibandingkan dengan data riil/aktual. RMSE tidak memiliki satuan, semakin kecil nilai RMSE yang dihasilkan semakin bagus pula hasil peramalan yang dilakukan (Aswi dan Sukarna, 2006) (persamaan 5).

$$RSME = \left(\frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

RMSE = nilai root mean square error

Y_i = nilai hasil observasi

Ŷ_i = nilai hasil prediksi

n = jumlah data

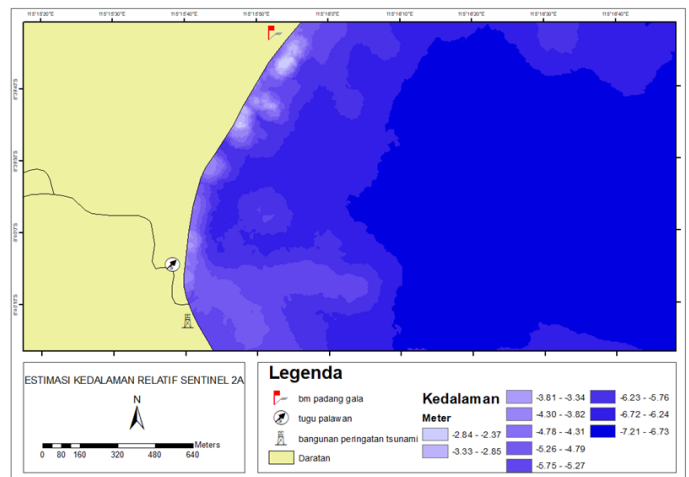
2.4.5 Kriging

Kriging merupakan metode interpolasi spasial yang mengestimasi nilai pada lokasi yang belum tersampel dengan menggunakan nilai spasial pada lokasi yang sudah terukur dan sebuah semivariogram (Tatalovich, 2005). Kriging adalah suatu teknik perhitungan untuk estimasi dari suatu variabel tereregional yang menggunakan pendekatan bahwa data yang dianalisis dianggap sebagai suatu realisasi dari suatu variabel acak, dan keseluruhan variabel acak yang dianalisis tersebut akan membentuk suatu fungsi acak menggunakan model struktural variogram (Alfiana, 2010).

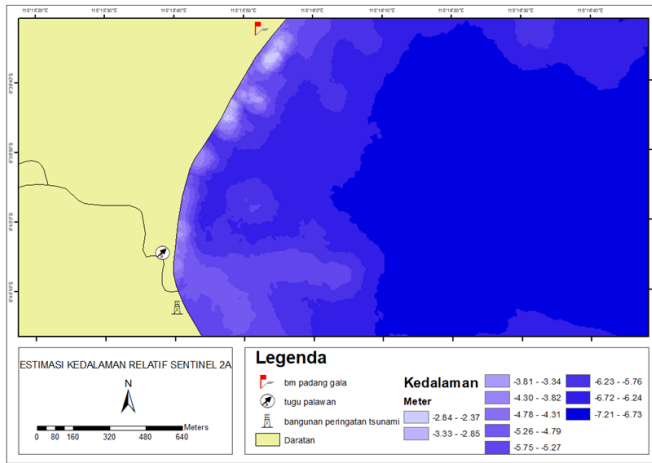
2. Hasil dan Pembahasan

3.1 Estimasi Kedalaman Relatif Citra

Kedalaman relatif didapatkan dengan memasukkan nilai reflektan kanal biru dan hijau atau kanal 2 dan 3 pada citra Sentinel-2A maupun Landsat 8 kedalam algoritma Lyzenga. Hasil dari estimasi kedalaman relatif pada citra Sentinel-2A dan Landsat 8 ditampilkan berturut - turut pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Peta Estimasi Kedalaman Relatif Citra Sentinel-2A

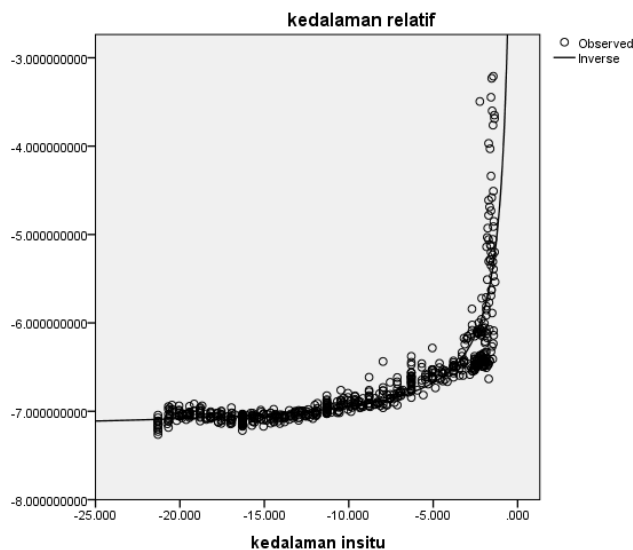


Gambar 3. Peta Estimasi Kedalaman Relatif Citra Landsat 8

Dapat dilihat dari Gambar 2 dan 3, terdapat perbedaan nilai kedalaman pada kedua citra, dimana pada citra Sentinel-2A memiliki kedalaman maksimum relatif sebesar 7,2 m, sedangkan pada citra Landsat 8 memiliki kedalaman maksimum relatif 5,6 meter di bawah permukaan laut. Kedalaman relatif pada citra satelit bukanlah kedalaman yang sebenarnya karena kedalaman relatif adalah nilai yang didapat dari citra satelit sehingga harus diolah kembali untuk mendapatkan nilai kedalaman yang absolut.

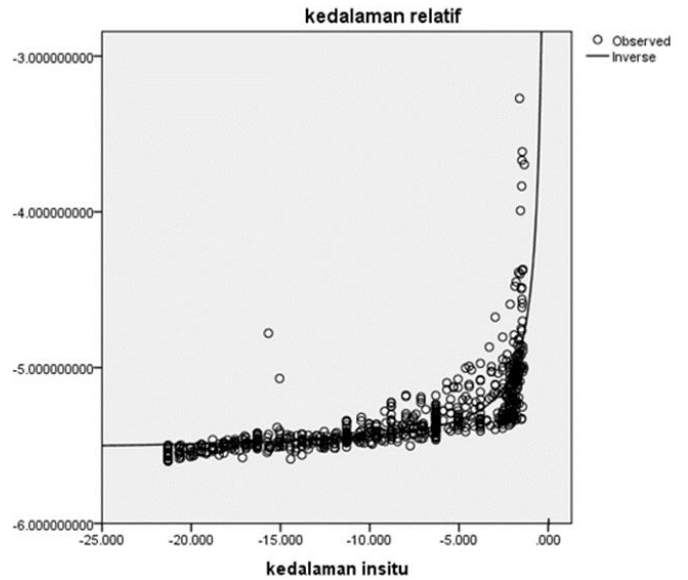
3.2 Estimasi Kedalaman Absolut Citra

Kedalaman absolut atau kedalaman sebenarnya dari citra didapatkan dengan melakukan pemodelan regresi antara kedalaman relatif dan kedalaman *in situ*. Analisa regresi yang digunakan adalah model regresi nonlinier *inverse*. Hasil analisa dan model regresi kedalaman relatif citra Sentinel-2A terhadap data *in situ* ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Regresi Estimasi Kedalaman Relatif antara Sentinel-2A dan Kedalaman *In Situ*.

Pada Gambar 4, kedalaman *in situ* dinyatakan sebagai sumbu X sedangkan kedalaman relatif sebagai sumbu Y. Hasil pemodelan regresi pada citra Sentinel-2A memiliki nilai korelasi (R^2) yaitu 0,705. Hasil model regresi yang didapat dari data citra Landsat 8 ditampilkan pada Gambar 5.



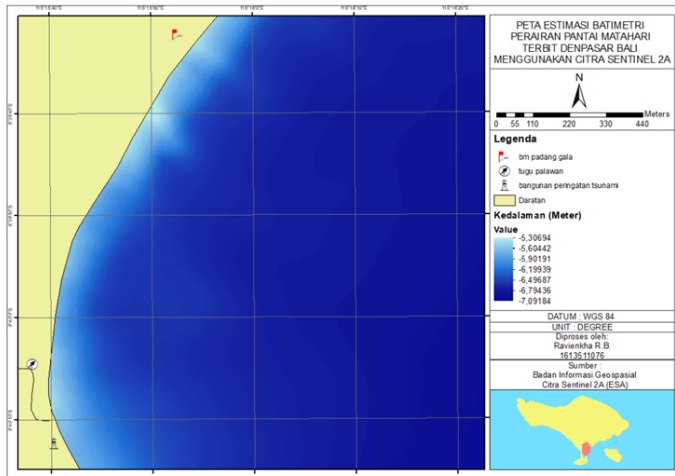
Gambar 5. Model Regresi Estimasi Kedalaman Relatif antara Landsat 8 dan Kedalaman *In Situ*

Hasil pemodelan regresi tersebut memiliki nilai korelasi yaitu 0,588. Korelasi model regresi pada citra Sentinel-2A masih lebih baik daripada citra Landsat 8. Hasil korelasi antara kedalaman relatif masing-masing terhadap data insitu termasuk kriteria cukup (Sarwono, 2006). Setelah didapat hasil pemodelan regresinya, maka dapat dihitung nilai kedalaman absolut menggunakan persamaan regresi masing - masing citra. Berikut adalah persamaan yang didapat dari data citra Sentinel-2A dan Landsat 8. Dimana X adalah nilai kedalaman relatif dari citra Sentinel-2A dan Landsat 8, dan Y adalah nilai estimasi kedalaman absolut.

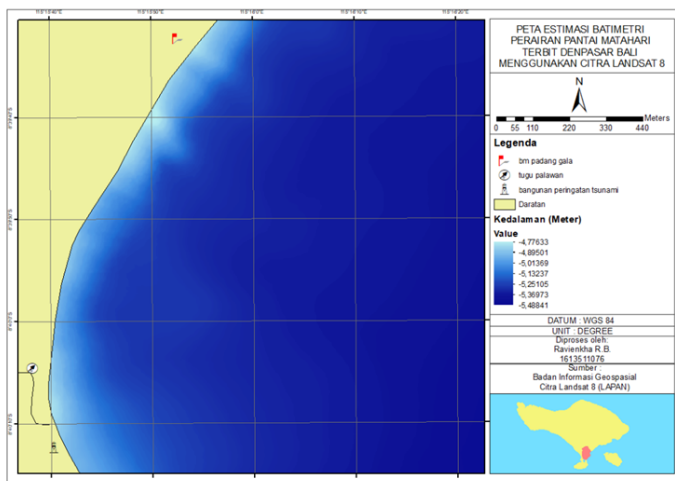
$$y = -7.219 + \frac{-2.715}{x} \dots\dots\dots (6)$$

$$y = -5.539 + \frac{-1.081}{x} \dots\dots\dots (7)$$

Hasil dari estimasi kedalaman absolut menggunakan persamaan regresi nonlinier *inverse* (pers. 6 dan 7) pada citra Sentinel-2A dan Landsat 8 berturut - turut ditampilkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Peta Estimasi Kedalaman Absolut menggunakan Citra Sentinel-2A



Gambar 8. Peta Estimasi kedalaman absolut menggunakan Citra Landsat 8.

Estimasi kedalaman absolut yang didapat dari titik sampel menggunakan citra Sentinel-2A adalah sampai dengan kedalaman maksimum -7,091 meter dan minimum -5,185 meter sedangkan untuk citra Landsat 8 kedalaman minimum -4,729 meter sampai dengan kedalaman maksimum -5,488 meter. Dari hasil tersebut dapat diketahui Sentinel-2A dapat mengestimasi kedalaman lebih besar daripada citra Landsat 8, dengan rentang masing – masing 1,906 m dan 0,759 m. Kedua data citra tersebut tidak dapat mengambil data kedalaman yang lebih dangkal dari -4 meter maupun lebih dalam dari -8 meter yang mana kedalaman *in situ* tersebut dapat kurang serta melebihi angka tersebut.

3.3. Akurasi Estimasi Kedalaman

Akurasi merupakan ukuran yang menunjukkan kedekatan hasil analisis terhadap nilai yang sebenarnya. Pengukuran akurasi yang digunakan adalah RMSE (*Root Mean Square Error*), untuk mencari seberapa besar simpangan data estimasi kedalaman absolut terhadap nilai hasil pengukuran. Nilai yang dihitung adalah sampel acak yang berbeda dari sampel yang digunakan untuk mendapatkan model regresinya.

Tabel 1. Hasil Estimasi Kedalaman Absolut dari Pengolahan Citra Sentinel-2A dan Landsat 8

Citra Satelit	Kedalaman Absolut Rata-rata (Meter)	Maksimum Kedalaman Absolut (Meter)	Minimum Kedalaman Absolut (Meter)	Nilai Korelasi (R ²)	RMSE (meter)
Sentinel -2A	6,655	7,091	5,185	0.705	6,165324
Landsat 8	5,318	5,488	4,729	0.588	7,086484

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat hasil estimasi kedalaman absolut di 698 titik sampel, citra Sentinel-2A memiliki nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan citra Landsat 8. Hal tersebut dapat disebabkan oleh citra Sentinel-2A yang memiliki resolusi spasial lebih baik yaitu 10 meter dan dapat mengestimasi kedalaman absolut lebih baik dibandingkan dengan citra Landsat 8 dengan resolusi spasial 30 meter, dan juga nilai reflektan perairan pada kanal biru dan hijau citra Sentinel-2A memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan nilai reflektan citra Landsat 8. Nilai reflektan pada citra akan mempengaruhi nilai kedalaman absolut yang didapat karena dalam konsep pemetaan kedalaman menggunakan citra satelit multispektral juga memanfaatkan nilai reflektan perairan pada citra satelit.

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Citra Sentinel-2A memiliki rentang estimasi kedalaman absolut yang lebih baik dibandingkan dengan hasil yang di dapat dari citra Landsat 8 yaitu, masing – masing 1,906 m dan 0,759 m. Hal ini juga dikarenakan pada citra Sentinel-2A memiliki nilai reflektan lebih besar dibandingkan dengan citra Landsat 8 karena dalam mengestimasi kedalaman menggunakan citra satelit membutuhkan nilai reflektan perairan pada citra satelit. Namun kedua citra satelit ini tidak berhasil mengestimasi kedalaman absolut kurang dari -4 meter dan lebih dari -8 meter.
2. Nilai Korelasi atau hubungan antara nilai kedalaman absolut yang didapat menggunakan citra Sentinel-2A dan Landsat 8 terhadap nilai kedalaman insitu termasuk kriteria cukup yaitu 0,705 untuk Sentinel-2A dan 0,588 untuk Landsat 8. Hasil validasi estimasi kedalaman menggunakan citra Sentinel-2A menunjukkan nilai RMSE yang lebih baik dibandingkan dengan citra Landsat 8 (6,165323564 m dan 7,086483766 m). Hal tersebut dapat disebabkan oleh resolusi spasial dan juga nilai reflektan perairan citra Sentinel-2A yang lebih baik dibandingkan citra Landsat 8.

Daftar Pustaka

- Alfiana, A. N. 2010. Metode Ordinary Kriging pada Geostatistika. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Ardiansyah. 2015. Pengolahan Citra Penginderaan Jauh Menggunakan ENVI 5.1 dan ENVI LiDAR. Jakarta Selatan.
- Aswi dan Sukarna. 2006. Analisis Deret Waktu [Teori dan Aplikasi]. Makasar: Andira Publisher
- Bobsaid, M. W. dan L. M. Jaelani. 2015. Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit

- Landsat 8 dan Sentinel-2A (Studi Kasus: Perairan Pulau Alfiana, A. N. 2010. Metode Ordinary Kriging pada Geostatistika. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Ardiansyah. 2015. Pengolahan Citra Penginderaan Jauh Menggunakan ENVI 5.1 dan ENVI LiDAR. Jakarta Selatan.
- Aswi dan Sukarna. 2006. Analisis Deret Waktu [Teori dan Aplikasi]. Makasar: Andira Publisher
- Bobsaid, M. W. dan L. M. Jaelani. 2015. 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*, V4 (1): 629-634
- Chrysoulakis, N., Abrams, M., Feidas, H., dan Arai, K. 2010. Comparison of atmospheric correction methods using ASTER data for the area of Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 31(24), 6347-6385. doi: 10.1080/01431160903413697
- ESA, 2015. "Sentinel-2 User Handbook," [Online]. Available: https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel2_User_Handbook
- Gujarati D. 2003. *Ekonometrika Dasar*. Zain S, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga. Terjemahan dari: *Basic Econometric*.
- Lyzenga D.R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Appl Optics*. 17(3) : 379-383.
- Lyzenga D.R. 1985. Shallow-water bathymetry using combined LIDAR and passive multispectral scanner data. *Int J Remote Sens*. 6 : 115-125.
- Pushparaj J. dan Hegde A.V. 2017. Estimation of Bathymetry Along the Coast of Mangaluru using Landsat-8 Imagery. *Int J Ocean Clim Syst* 8:71–83. doi: 10.1177/17593 131166.
- Sarwono, J. 2006. Metodologi Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif, Jogjakarta: Graha Ilmu.
- Setyawan I.E, Siregar V.P, Pramono G.H. dan Yuwono D.M. 2014. Pemetaan profil habitat dasar perairan dangkal berdasarkan bentuk topografi: Studi kasus Pulau Panggang, Kepulauan Seribu Jakarta. *Globe*. 16(2) : 125-132.
- Tatalovich, Z. 2005. A Comparisson of Thiessen Polygon, Kriging and Spline Models of UV Exposure. Retrieved from <http://www.ucgis.org/summer2005/studentpapers/tatalovich.pdf>
- United States Geological Survey. 2013. —Using the USGS Landsat 8 Product | Landsat Missions,l. <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>.
- Walpole, R.E. 1997. *Pengantar statistika*. Jakarta (ID): PT Gramedia Pustaka Umum.