

Pemanfaatan Data Citra Sentinel-2 Untuk Pemetaan Batimetri Dengan Pendekatan *Satellite Derived Bathymetry*

Nursapnah Indraini Pratama¹, Bambang Kun Cahyono²

^aTeknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Research Article

DOI:

10.22146/jgst.v2i1.11178

correspondence:
nursapnahindraini
@mail.ugm.ac.id

Article history:

Received:
8-12-2023

Accepted:
02-05-2023

Published:
30-07-2024

ABSTRACT

The updating of information on water depth is increasingly essential for various purposes such as monitoring, research, management, and mapping of water areas. The advancement in remote sensing technology and Satellite-Derived Bathymetry (SDB) modeling allows obtaining water depth values. This research aims to acquire depth values using the Satellite Derived Bathymetry (SDB) approach and Stumpf (2003) extraction modeling, followed by an evaluation of the obtained results. The data utilized in this study consists of Navionics data and SBES measurement data. The best correlation in this research was achieved from the composite of green (B3) and red (B4) bands at 0.642. The best Root Mean Square Error (RMSE) with the Stumpf (2003) modeling was 2.46 meters within the depth range of 0 to 5 meters compared to Navionics Nautical chart depths. The accuracy evaluation of the Stumpf (2003) modeling met the requirements of SNI 8202 Year 2015 concerning the Accuracy of Basic Maps for the creation of LPI and LLN at a 1:25,000 scale with a 10-meter contour interval.

Key words: satellite derived bathymetry, ekstraksi Stumpf, satellite imagery

INTISARI

Pembaharuan informasi mengenai kedalaman perairan semakin diperlukan untuk berbagai keperluan seperti monitoring, penelitian, manajemen, dan pemetaan area perairan. Adanya perkembangan teknologi penginderaan jauh dan pemodelan Satellite-Derived Bathymetry (SDB) memungkinkan digunakan untuk memperoleh nilai kedalaman perairan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai kedalaman dengan pendekatan Satellite Derived Bathymetry (SDB) dan pemodelan ekstraksi Stumpf (2003) serta melakukan evaluasi terhadap hasil yang diperoleh. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data navionics dan data pengukuran SBES. Pada penelitian ini nilai korelasi terbaik dihasilkan dari komposit band hijau (B3) dan merah (B4) sebesar 0,642. RMSE terbaik dengan pemodelan Stumpf (2003) diperoleh 2,46 meter dengan rentang kedalaman 0 s.d 5 meter dengan perbandingan kedalaman Navionics Nauticalchart. Hasil evaluasi ketelitian dari pemodelan Stumpf (2003) sudah memenuhi syarat dari SNI 8202 Tahun 2015 tentang Ketelitian Peta Dasar untuk pembuatan LPI dan LLN skala 1 : 25.000 dengan interval kontur 10 meter.

Kata kunci: satellite derived bathymetry, ekstraksi Stumpf, Citra Satelit

1. Pendahuluan

Pembaharuan informasi mengenai kedalaman perairan semakin diperlukan untuk berbagai keperluan seperti monitoring, penelitian, manajemen, dan pemetaan area perairan. Dalam mendapatkan nilai kedalaman suatu perairan dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi akustik maupun penginderaan jauh menggunakan satelit. Pengukuran dengan menggunakan teknologi akustik dasar laut dangkal dapat dilakukan dengan menggunakan alat echosounder. Pada pemeliharaan daerah perairan penggunaan teknologi echosounder membutuhkan biaya yang mahal dan waktu lama, oleh karena itu teknologi penginderaan jauh dapat dijadikan metode alternatif untuk memberikan informasi secara cepat, tepat, dan murah.

Penelitian terkait penggunaan Satellite Derived Bathymetri (SDB) telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti di berbagai lokasi. Adapun beberapa metode untuk pengujian akurasi terhadap data citra satelit yaitu pemodelan ekstraksi Stumpf (2003). Pemodelan ini memanfaatkan model kedalaman air relatif yang memungkinkan korelasi antara piksel dengan data pemeruman laut.

Adapun penelitian lainnya yang dilakukan Said dkk (2017) menggunakan algoritma Lyzenga dan algoritma Stumpf. Hasil penelitian menunjukkan nilai RMSE pada algoritma Stumpf lebih rendah yaitu 1,432 meter daripada algoritma Lyzenga sebesar 1,728 meter, dimana menurut Mahyudin dkk (2014) semakin kecil atau nilai RMSE mendekati 0 maka hasil prediksi akan semakin akurat.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan hasil yang diperoleh masih belum cukup baik jika dibandingkan dengan pengukuran langsung. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Said dkk (2017), penggunaan Satellite Derived Bathymetry (SDB) mampu diaplikasikan untuk pemodelan peta kedalaman. Mempertimbangkan kemampuan teknologi penginderaan jauh dan ketelitian dari metode algoritma SDB, penelitian ini akan menganalisis kegiatan aplikatif pekerjaan pembuatan peta kedalaman dengan pemodelan ekstraksi Stumpf (2003). Nilai kedalaman relatif yang diperoleh kemudian diuji menggunakan data pengukuran echosounder untuk mengetahui nilai kedalaman absolut. Lokasi yang akan dikerjakan pada penelitian ini adalah perairan sekitar Pelabuhan Belawan, Sumatera Utara.

2. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini antara lain data citra Sentinel-2 yang diperoleh dari situs Google Earth Engine (GEE) yang diakuisisi pada bulan Oktober tahun 2022, data pengukuran dengan singlebeam echosounder bulan Oktober tahun 2022 yang telah terkoreksi dengan data pasang surut, data kedalaman Navionics Nauticalchart yang diperoleh melalui Software SAS Planet, dan SNI 8202 Tahun 2015 tentang Ketelitian Peta Dasar.

Tabel 1. Peralatan penelitian

No	Alat	Fungsi
1.	Perangkat Keras Laptop	Sebagai alat untuk mengolah data hasil dari survei batimetri dan citra satelit.
2.	Software ArcMap 10.5 dan Google Earth Engine	Perangkat lunak pada laptop yang digunakan untuk mengolah citra satelit dan visualisasi data hasil penelitian.
3.	Software Microsoft Excel	Untuk pengujian akurasi
4.	Software Microsoft Word	Sebagai penyusunan laporan
5.	Software SAS Planet	Digunakan untuk mendapatkan nilai kedalaman dari Navionics Nauticalchart

3. Metodologi

Diagram alir pelaksanaan yang disajikan pada Gambar 1.

Tahap pengolahan data yaitu pengolahan citra satelit Sentinel-2 mulai dari masking citra, pemotongan citra, pengolahan algoritma Satellite-Derived Bathymetry (SDB) metode Stumpf, dan pemodelan regresi. Tahap analisis data dilakukan untuk menganalisis kemampuan Citra Sentinel-2 dalam estimasi kedalaman dengan cara uji validasi terhadap data hasil pengukuran menggunakan single beam echosounder yang sudah terkoreksi dengan nilai pasang surut. Hasil analisis tersebut diperoleh nilai kedalaman absolut yang kemudian diinterpolasi untuk digunakan sebagai bahan pembuatan peta.

3.1. Koreksi Atmosfer

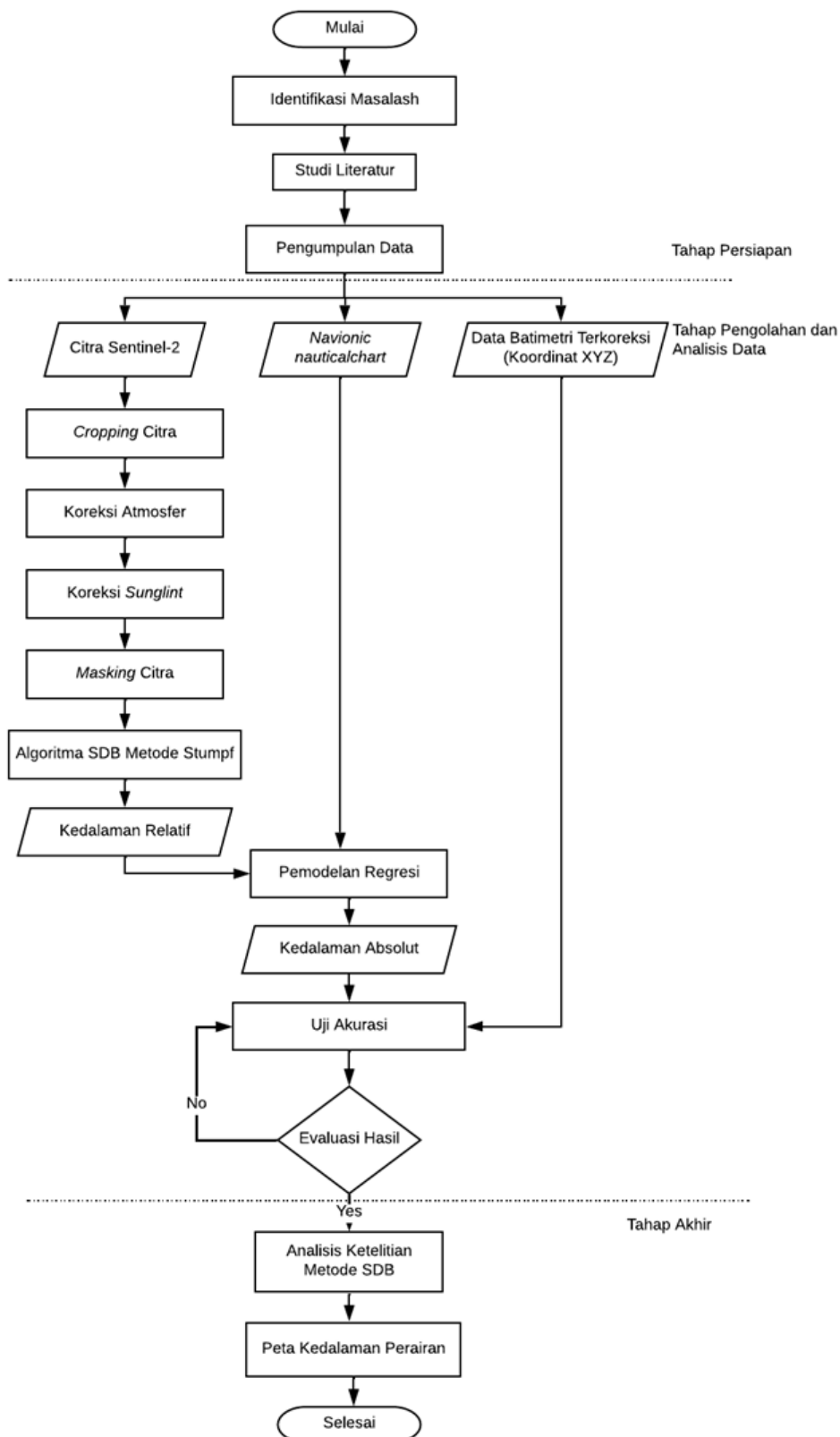
Citra Sentinel-2B yang digunakan pada pekerjaan ini adalah citra yang sudah mendapatkan koreksi radiometrik dan geometrik. Akan tetapi masih perlu dilakukan koreksi atmosfer dan koreksi sunglint. Pada metode ini objek tergelap diasumsikan memiliki nilai reflektan terendah karena kemampuan objek dalam menyerap energi matahari kurang sempurna. Area tergelap yang dimaksud berupa bayangan awan yang terbentuk.

3.2. Koreksi Sunglint

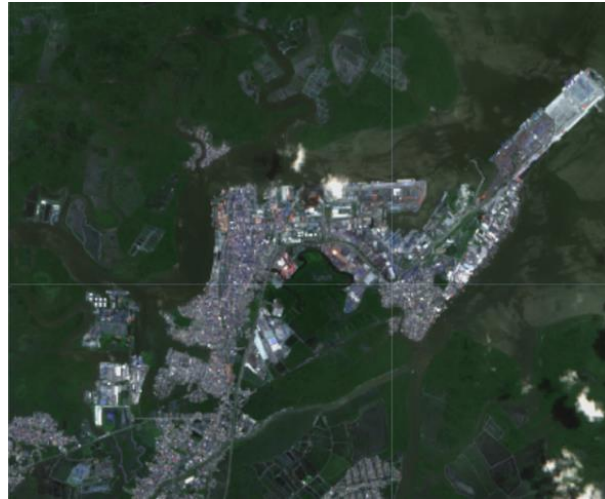
Bencana merupakan peristiwa yang mengganggu kelangsungan hidup masyarakat karena menimbulkan korban, merusak lingkungan, kerusakan benda dan harta, dan hilangnya mata pencaharian (UU No. 24 tahun 2007). Bencana banjir merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi di berbagai kawasan Indonesia yang mayoritas areanya di dominasi dengan perairan. Banjir dapat terjadi ketika tampungan air melebihi batas maksimumnya dan daerah resapan air yang tidak memadai, sehingga aliran air akan meluap dan mencapai area daratan.

3.3. Crop Citra Satelit

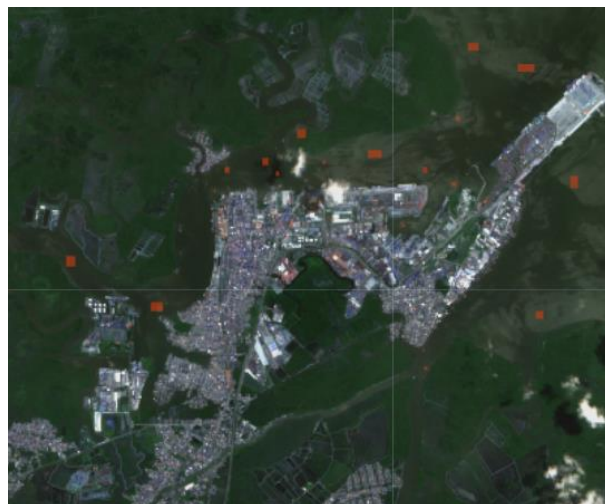
Proses ini dilakukan untuk memudahkan pengolahan pada area yang dikerjakan. Data yang digunakan adalah data raster dan vektor. Data raster (Citra Satelit Sentinel-2) dipotong berdasarkan data vektor (.shp) lokasi penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan.



Gambar 2. Hasil pertampalan atau overlay data parameter.



Gambar 3. Sampel koreksi sunglint.

3.4. Masking Citra Satelit

Pemisahan wilayah perairan dan daratan dilakukan dengan mengidentifikasi objek daratan dan perairan. Metode yang digunakan dalam proses ini adalah Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

3.5. Algoritma SDB Metode Stumpf

Pada tahapan ini dilakukan untuk memperoleh nilai kedalaman relatif. Kedalaman relatif yaitu hasil proses analisis spasial raster calculation menggunakan model algoritma SDB sehingga pada data ini masih berupa data spektral citra. Proses algoritma yang digunakan dalam ekstraksi kedalaman laut yaitu menggunakan metode Stumpf.

3.6. Pemodelan Regresi

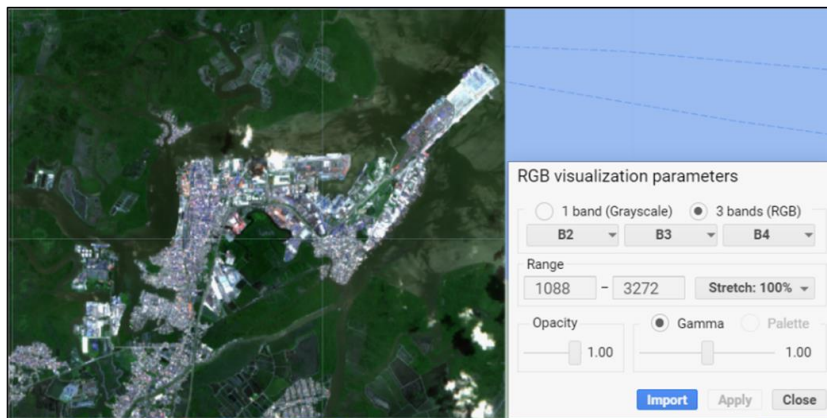
Pada tahap ini dilakukan pemodelan regresi antara nilai kedalaman relatif dari citra satelit dengan nilai kedalaman Singlebeam echosounder (SBES) untuk mendapatkan nilai kedalaman absolut.

3.7. Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan data SDB dari citra Sentinel-2 dengan data SBES sebagai data kedalaman yang sebenarnya (absolut). Data SDB hasil dari citra Sentinel-2 juga dilakukan uji akurasi dengan data kedalaman Navionics Nauticalchat dan dilakukan evaluasi menurut standar yang ditentukan oleh SNI 8202 Tahun 2015 tentang Ketelitian Peta Dasar.

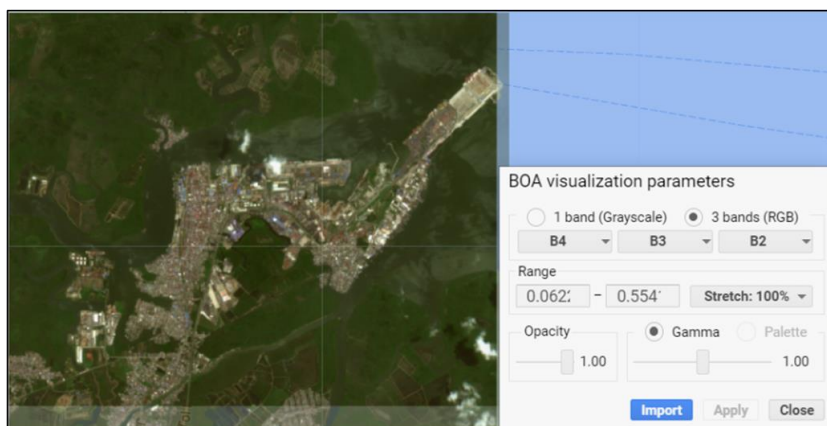
4. Hasil dan Pembahasan

Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Sentinel-2. Citra ini merupakan citra yang sudah terkoreksi geometrik sehingga tidak perlu dilakukan koreksi lagi. Akan tetapi, masih perlu dilakukan koreksi atmosfer pada citra. Dark pixel subtraction merupakan koreksi atmosfer yang digunakan dalam pengoreksian citra Sentinel-2 untuk menghasilkan nilai surface reflectance.



Gambar 4. Citra sebelum koreksi atmosfer.

Pada gambar 5 ditunjukkan tampilan citra yang sudah terkoreksi atmosfer. Dapat dilihat adanya penurunan nilai rentang citra sebelum dikoreksi dan citra sesudah dikoreksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa ada pengaruh atmosfer pada citra Sentinel-2. Secara visualisasi terjadi perubahan yang signifikan terhadap citra sesudah dilakukan koreksi atmosfer.



Gambar 5. Citra setelah koreksi atmosfer.

4.1. Koreksi Sunglint

Koreksi sunglint dilakukan untuk menghilangkan nilai distorsi pada citra Sentinel-2. efek sunglint ini mengakibatkan hilangnya sebagian informasi dari citra, hal tersebut disebabkan oleh distorsi pantulan matahari pada area perairan yang memiliki pola menyerupai garis putih. Namun pada penelitian ini koreksi sunglint yang dilakukan tidak berpengaruh signifikan terhadap visualisasi citra. Dapat dilihat dari nilai reflektansi citra yang berpengaruh sangat kecil pada gambar 6.

Tabel 2. . Koefisien korelasi (r) dan determinasi (R²) hasil regresi antara kombinasi band dengan kedalaman observasi

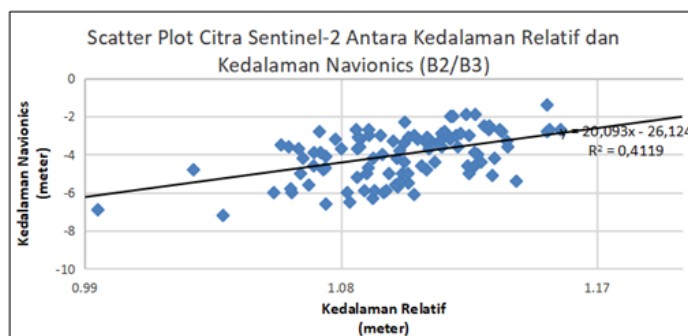
Kombinasi Band	Koefisien Determinasi (R ²)	Koefisien Relasi (r)
B2/B3	0,061	0,245
B2/B4	0,273	0,522
B3/B4	0,411	0,642

Pemilihan kombinasi band terbaik untuk penerapan model Stumpf (2003) (ratio transform) dilakukan dengan melihat relasi atau hubungan antara nilai reflektansi band biru (B2), band hijau (B3), dan band merah (B4) dengan data Navionics Nauticalchat. Berdasarkan pada Tabel III.1 hasil regresi tertinggi diperoleh dari kombinasi band hijau (B3) dan band merah (B4). Maka dari itu, untuk

penelitian ini komposit yang digunakan adalah kombinasi band hijau (B3) dan band merah (B4). Penggunaan data ini dilakukan untuk mendapatkan hasil estimasi kedalaman yang terbaik sehingga digunakan data yang memiliki nilai korelasi tinggi. Sebaran titik korelasi antara nilai reflektan dengan nilai Navionics Nautical chart ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai reflektan sebelum (a) dan sesudah (b) dikoreksi sunglint.



Gambar 7. Scatter plot regresi.

Nilai determinasi (R^2) dari hasil pemodelan regresi adalah 0,4119 sehingga untuk nilai korelasi (r) yang diperoleh adalah 0,642. Berdasarkan Tabel 2 kedalaman citra yang dihasilkan memiliki tingkat korelasi kuat. Hal ini menunjukkan bahwa nilai estimasi kedalaman yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh visible band sebagai variabel bebasnya. Sehingga kedalaman absolut hasil ekstraksi yang diperoleh akan menghasilkan pola sebaran yang sama dengan pola sebaran kedalaman model. Hasil dari pemodelan ini digunakan untuk mencari nilai kedalaman absolut dari citra satelit.

4.2. Kedalaman Absolut

Kedalaman absolut diperoleh dengan melakukan pemodelan regresi antara kedalaman relatif terhadap data Navionics Nauticalchart untuk mempelajari hubungan antar variabel dengan persamaan yang diperoleh. Penggunaan model regresi ini digunakan untuk mengetahui tingkat pengaruh variabel kedalaman relatif dan kedalaman Navionics Nauticalchart, sehingga nilai kedalaman absolut yang dihasilkan memiliki nilai yang mendekati nilai kedalaman Navionics Nauticalchart. Berdasarkan Gambar 6 didapatkan Persamaan 1 regresi antara kedalaman Navionics dan kedalaman citra satelit.

$$y = 20,093x - 26,124 \tag{1}$$

Kedalaman absolut citra satelit yang dihasilkan dari pemodelan regresi antara citra Sentinel-2 dan data Navionics Nauticalchart adalah 1,309 s.d 10,919 meter. Pada kegiatan ini citra yang digunakan memiliki tingkat cloud cover seluruh area yaitu 16,23%, untuk area penelitian yang digunakan tidak terdapat awan namun kondisi kejernihan air pada area yang dipetakan dalam kegiatan aplikatif ini memiliki tingkat kejernihan rendah. Hal ini disebabkan karena sedimentasi yang cukup tinggi pada area penelitian. Pada Tabel 3 ditunjukkan contoh nilai kedalaman absolut dari citra satelit Sentinel-2.

Tabel 3. Contoh format ekstraksi nilai estimasi kedalaman

X	Y	Z_Navionics	Z_Relatif	Z_Absolut
466371,882	418697,675	-9,300	0,757	-10,919
464384,009	417919,922	-7,200	1,039	-5,561
467183,130	418748,652	-6,900	0,995	-6,413
463611,777	417252,112	-6,600	1,075	-4,530
467082,588	418743,360	-6,500	1,083	-4,361

4.3. Analisis dan Evaluasi Uji Ketelitian

Analisis ketelitian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan dua data yaitu kedalaman Navionics Nauticalchart dan kedalaman SBES. Persebaran data kedalaman Navionics Nauticalchart yang digunakan untuk uji ketelitian ditunjukkan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 ditunjukkan persebaran data uji ketelitian dari data SBES. Hasil ekstraksi nilai kedalaman menggunakan metode Stumpf dilakukan uji ketelitian dengan melakukan perhitungan Root Means Square (RMSE) untuk setiap model SDB.



Gambar 8. Persebaran titik uji ketelitian dengan Navionics Nauticalchart.



Gambar 9. Persebaran titik uji ketelitian dengan SBES.

Uji ketelitian dilakukan berdasarkan kelas kedalaman yang sudah ditentukan. Pembagian kelas dan hasil validasi ekstraksi nilai kedalaman yang dihasilkan citra Sentinel-2 dibandingkan dengan kedalaman Navionics Nauticalchart dan kedalaman SBES menggunakan pemodelan Stumpf (2003) ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelas kedalaman dan uji ketelitian

No	Kelas Kedalaman (m)	RMSE Kedalaman Navionics	RMSE Kedalaman SBES
1.	0 – 2	2,99	-
2.	0 – 5	2,46	-
3.	0 – 10	2,69	6,59
4.	0 – 12	3,06	6,03
5.	0 – 17	3,35	6,53

Berdasarkan Tabel 4 nilai RMSE dengan perbandingan hasil ekstraksi dan SBES pada kedalaman 0 s.d 5 meter tidak ada nilai RMSE. Hal ini dikarenakan pada kedalaman tersebut tidak ada data kedalamannya. Rentang kedalaman SBES yang digunakan pada penelitian ini berada pada rentang 6 s.d 13 meter. Sedangkan untuk nilai RMSE yang dihasilkan dari perbandingan hasil ekstraksi dan Navionics Nauticalchart memiliki nilai RMSE pada setiap rentangnya. Rentang kedalaman Navionics Nauticalchart yang digunakan pada penelitian ini adalah 0 s.d 17 meter, maka dari itu nilai RMSE berdasarkan kelas kedalaman memiliki nilainya masing-masing. Hasil uji ketelitian menggunakan RMSE dilakukan evaluasi dengan SNI 8202 Tahun 2015 tentang Ketelitian Peta Dasar. Data yang digunakan untuk evaluasi ketelitian ini adalah hasil uji RMSE dengan kelas kedalaman seperti pada Tabel 3. Evaluasi ini dilakukan untuk memvalidasi ketelitian hasil ekstraksi kedalaman citra Sentinel-2 sudah sesuai dengan standar pemetaan batimetri. Dalam SNI 8202 Tahun 2015 memuat peraturan mengenai spesifikasi nilai ketelitian sebagai pembuatan peta LPI dan LLN seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. SNI 8202 tahun 2015 tentang ketelitian peta dasar

No.	Jenis Peta	Interval Kontur	Ketelitian Kedalaman (CL95)
1.	Peta LPI 1:10.000	2	1
		3	1,5
		5	2,5
2.	Peta LPI 1:25.000	10	5
		20	10
3.	Peta LPI dan LLN 1:50.000	50	25
		100	50
4.	Peta LPI dan LLN 1:250.000	100	50
		200	100

Evaluasi ketelitian hasil ekstraksi kedalaman dilakukan berdasarkan Persamaan 1 yang menghasilkan nilai ketelitian kedalaman Navionics Nauticalchart dan kedalaman SBES dengan CL95 seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai ketelitian berdasarkan CL95

Kedalaman (m)	0 - 2	0 - 5	0 - 10	0 - 12	0 - 17
CL95 Navionics Nauticalchart	5,86	4,82	5,27	6,00	6,57
CL95 SBSE	-	-	12,92	11,82	12,80

Nilai ketelitian terbaik diperoleh dari model yang digunakan menggunakan data uji dengan kedalaman Navionics Nauticalchart sebesar 2,46 meter dengan nilai CL95 berdasarkan Persamaan 1 adalah 4,82. Berdasarkan nilai tersebut, data kedalaman dengan rentang 0 s.d 5 meter dapat digunakan dalam pembuatan peta LPI skala 1 : 25.000 dengan interval kontur 10 meter. Sedangkan nilai CL95 yang dihasilkan dari data uji dengan kedalaman SBES bisa digunakan untuk pembuatan peta LPI dan LLN skala 1 : 250.000 dengan interval kontur 50 meter. Berdasarkan nilai CL95 pada Tabel 5 menunjukkan bahwa hasil ekstraksi dengan pemodelan Stumpf menggunakan data uji Nauticalchart ataupun SBES tidak dapat digunakan untuk pembuatan peta LPI skala 1 : 10.000. Ketelitian yang diperoleh dari hasil ekstraksi kedalaman menggunakan metode Satellite Derived Bathymetry telah memberikan hasil yang baik untuk peta skala menengah. Akan tetapi, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dapat dilakukan kajian lebih lanjut terkait model maupun spesifikasi citra yang digunakan untuk ekstraksi nilai kedalaman. Sehingga dapat digunakan sebagai dalam pembuatan peta LPI dan data pendukung dalam survei pendahuluan dalam memetakan perairan.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tulisan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemetaan kedalaman dengan pendekatan Satellite Derived Bathymetry (SDB) menggunakan pemodelan Stumpf (2003) dapat memberikan hasil yang cukup baik dalam ekstraksi kedalaman. Hal ini berdasarkan nilai korelasi yang diperoleh adalah 0,642.
2. Hasil evaluasi nilai ketelitian model ekstraksi kedalaman Stumpf (2003) dengan SNI 8202 Tahun 2015 Tentang Ketelitian Peta Dasar sudah memenuhi spesifikasi ketelitian pembuatan peta LPI dan LLN. Nilai CL95 terbaik diperoleh pada rentang kedalaman 0 s.d 5 meter dengan nilai CL95 adalah 4,82 dari data kedalaman Navionics Nauticalchart. Rentang kedalaman 0 s.d 5 meter hasil ekstraksi menggunakan kedalaman Navionics Nauticalchart dapat digunakan untuk pembuatan peta LPI skala 1 : 25.000 dengan interval kontur 10 meter. Sedangkan nilai ketelitian dengan perbandingan menggunakan data SBES pada rentang 0 s.d 17 meter bisa digunakan untuk pembuatan peta LPI dan LLN skala 1 : 250.000 dengan interval kontur 50 meter.

6. Acknowledgment

Terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini terutama dari PT Jaladri Prima Solusi yang telah memperbolehkan penulis dalam meneliti data pengukuran kedalaman untuk keperluan penelitian analisis SDB.

7. Daftar Pustaka

- Ariana, D. (2002). Pemetaan Batimetri dan Karakteristik Dasar Perairan Dangkal di Pulau Dangerr- Provinsi NTB dengan Data Satelit Penginderaan Jauh. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian
- Bobsaid, M. W. (2017). Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Landsat 8 dan Sentinel-2A (Studi Kasus: Perairan Pulau Poteran dan Gili Iyang, Madura). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

- Jaelani, L. M., Setiawan, F., & Matsushita, B. (2015). Uji Akurasi Produk Reflektansi Permukaan Landsat Menggunakan Data Insitu di Danau Kasumigaura, Jepang. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia* (hal. 464-470). Jakarta: Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN).
- Kanno, A., Koibuchi, Y., & Isobe, M. (2011). Shallow water bathymetry from multispectral satellite images: Extensions of Lyzenga's method for improving accuracy. *Coastal Engineering Journal*, 53(04), 431-450.
- Lillesand, Thomas M and Kiefer, Ralph W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 3rd Edition. USA : John Wiley & Sons, Inc. 750p.
- Mahyudin, M., Suprayogi, I., & Trimajon, T. (2014). Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (ZST) (Studi Kasus: Sub DAS Siak Hulu). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 1(1), 1-18.
- Mahendra, J. (2016). *Dunia Dredging & Reklamasi di Indonesia*. Depok: Joni Tristan.
- Pettorelli, N. 2013. *The normalized difference vegetation index*. Oxford University Press.
- Purwadhi SH. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: PT. Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Said, N., Mahmud, M., & Hasan, R. C. (2017). Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy Assessment on Depths Derivation Algorithm for Shallow Water Area. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spasial Information Sciences*.
- Stumpf (2003), R., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination of Water Depth with High Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types. *Limnology and Oceanography* Volume 48, 547-556.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta offset. Yogyakarta.
- Yudianto, A. C., Ismunarti, D. H., & Indrayanti, E. (2014). Pemetaan Batimetri Kolam Pelabuhan Khusus PT. Arun Ngl, Lhokseumawe, Aceh. *Journal of Oceanography*, 3(3), 366-374.
- Van der Meer, F.D., H.M.A. van der Werff and F.J.A. van Ruitenbeek. 2014. Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. *Remote Sensing of Environment* 148 (2014) : 124-133.
- Widjajanti, Nurrochmat., 2011, *Modul Kuliah Statistik dan Teori Kesalahan*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.