

# ANALISIS DATA BATIMETRI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2 (STUDI KASUS: PULAU PUTRI, BATAM)

## *BATHYMETRY DATA ANALYSIS USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGERY (CASE STUDY: PUTRI ISLAND, BATAM)*

Pandu Akhbar Antares Arisanto<sup>1\*</sup>, Ankiq Taofiqurohman<sup>1</sup>, Nineu Yuyu Gerhaneu<sup>2</sup>,  
Alexander M. A. Khan<sup>1</sup>, Subiyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup> Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung

\*Email: : pandu18001@mail.unpad.ac.id

Diterima : 17-08-2023, Disetujui : 11-06-2024

### ABSTRAK

Data batimetri secara konvensional umumnya diperoleh dengan menggunakan teknik *echo-sounding* yakni dengan instrumen *echosounder*. Sejumlah masalah atau hambatan dari metode tersebut diantaranya biaya operasional yang mahal, perolehan data tidak multi temporal, kecuali dengan pengukuran ulang. Perkembangan teknologi memungkinkan metode pengukuran batimetri menjadi semakin beragam, salah satu metode alternatifnya adalah menggunakan metode penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra satelit atau biasa disebut *sattelite derived bathymetry (SDB)*. Lokasi penelitian ini berada di Pulau Putri, Batam yang dilakukan untuk mengkaji perbandingan data batimetri yang dihasilkan dari citra Sentinel-2 dengan beberapa citra yang diambil pada tanggal berbeda, dengan data pengukuran *in situ*. Nilai kedalaman dikaji menggunakan metode *band ratio* dengan memanfaatkan *band* biru dan hijau. Hasil kedalaman dari Sentinel-2 kemudian dibandingkan berdasarkan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)*, koefisien determinasi ( $R^2$ ), dan *Total Vertical Uncertainty (TVU)*. Hasil penelitian ini menunjukkan citra bulan Januari merupakan citra terbaik dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,372. Hasil *RMSE* menunjukkan semakin tinggi tingkat kesalahan seiring bertambahnya kedalaman. Nilai *RMSE* pada kedalaman 0 - 30 meter berkisar antara 0,1 - 0,3 meter. Sedangkan pada kedalaman lebih dari 30 meter nilai *RMSE* bertambah dari 1 - 3 meter. Kualitas SDB dapat diidentifikasi berdasarkan nilai TVU. Berdasarkan analisis pada 8479 titik data insitu masing-masing hanya 645, 318, dan 179 titik data yang terklasifikasi dalam Ordo 2, Ordo 1, dan Ordo spesial.

**Kata kunci:** Batimetri, *Band ratio*, Sentinel-2, Pulau Putri, Citra satelit

## ABSTRACT

Conventional bathymetry data is generally obtained using echo-sounding techniques, namely with an echosounder instrument. A number of problems or obstacles to this method include expensive operational costs, data acquisition is not multi-temporal, except by repeated measurements. Technological developments allow bathymetry measurement methods to become increasingly diverse, one alternative method is to use remote sensing methods using satellite imagery or what is usually called satellite derived bathymetry (SDB). The location of this research was on Putri Island, Batam, which conducted to examine the comparison of bathymetric data produced from Sentinel-2 imagery with several images taken on different dates, with in situ measurement data. The depth value was studied using the band ratio method using the blue and green bands. The depth results from Sentinel-2 were then compared based on the Root Mean Square Error (RMSE), coefficient of determination ( $R^2$ ), and Total Vertical Uncertainty (TVU) values. The results of this research show that the January image is the best image with a coefficient of determination value of 0.372. The RMSE results show that the error rate increases as the depth increases. The RMSE value at a depth of 0 - 30 meters ranges from 0.1 - 0.3 meters. Meanwhile, at depths of more than 30 meters, the RMSE value increases from 1 - 3 meters. SDB quality can be identified based on the TVU value. Based on analysis of 8479 in situ data points, only 645, 318, and 179 data points were classified in Order 2, Order 1, and Special Order, respectively.

**Keyword:** Bathymetry, Band ratio, Sentinel-2, Putri Island, Satellite Imagery

## PENDAHULUAN

Republik Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak potensi dan sumber daya di bidang kelautan. Untuk mendukung potensi tersebut, data batimetri atau data kedalaman merupakan salah satu data yang diperlukan untuk mendukung pembangunan, penelitian, dan perkembangan di bidang kelautan. Perolehan data batimetri memiliki banyak macam metode dan pengukurannya. Secara konvensional perolehan data batimetri biasanya menggunakan teknik *echo-sounding* yakni dengan instrumen *singlebeam echosounder* dan juga *multibeam echosounder*. Salah satu masalah atau hambatan dari metode konvensional adalah biaya yang mahal, yang mengharuskan pengulangan dan juga pengukuran berulang-ulang di area yang akan disurvei. Wilayah yang memiliki perairan dangkal, wilayah terpencil, muara, wilayah yang memiliki gelombang tinggi, dan wilayah yang sulit untuk dilewati oleh kapal survei juga menjadi hambatan dalam melakukan pengukuran menggunakan *echosounder*. Selain membutuhkan waktu dan biaya yang lama, faktor keselamatan juga menjadi salah satu aspek yang diperhitungkan dalam melakukan survei hidrografi (Ashphaq dkk., 2021)

Dengan luasnya wilayah laut di Indonesia dan juga keterbatasan waktu dan biaya, sulit rasanya untuk melakukan pengukuran dengan metode konvensional untuk seluruh wilayah laut Indonesia. Hal tersebut mengakibatkan kebutuhan akan informasi data batimetri yang *up-to-date* belum sesuai harapan. Contoh kasus yang terjadi pada tahun 2017, sebuah kapal *cruise merchant vessel* Caledonian Sky kandas di Perairan Raja Ampat

mengakibatkan sekitar 1600 m<sup>2</sup> terumbu karang menjadi rusak. Kandasnya kapal tersebut dikarenakan kurangnya informasi kedalaman di daerah tersebut (Wibisono dkk., 2021)

Seiring perkembangan teknologi, metode pengukuran batimetri juga semakin beragam, seperti LIDAR (*Light Detection and Ranging*), ROV (*Remotely Operated Vehicles*) dan juga AUV (*Autonomous Underwater Vehicles*). Alternatif lainnya adalah dengan memanfaatkan penginderaan jauh atau *remote sensing* dengan menggunakan citra satelit beresolusi menengah sampai dengan resolusi sangat tinggi. Terdapat dua kategori pendekatan atau algoritma yang biasanya digunakan dalam pengukuran batimetri menggunakan citra satelit, yakni pendekatan secara empiris dan fisika (*physics-based*). Pendekatan empiris didasarkan pada hubungan statistik antara data kedalaman yang sudah diketahui dan pengukuran reflektansi pada satu atau beberapa *band* (Stumpf dkk., 2003). Pendekatan ini memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik pada spektrum biru dan hijau (0,48 – 0,60  $\mu\text{m}$ ) yang memiliki kemampuan penetrasi yang kuat dalam air. Ketika energi radiasi tersebut masuk merambat (*transmitted*) ke dalam air, sebagian akan terserap (*absorbed*) oleh sifat fisik air dan sisanya yang mencapai dasar air akan dipantulkan kembali (*reflected*). Energi reflektansi tersebut yang ditangkap dan direkam oleh sensor satelit dapat mengindikasikan kedalaman air (Jawak dkk., 2015).

Keunggulan dari penggunaan *remote sensing* untuk pengukuran batimetri diantaranya tidak memakan waktu yang lama dan juga tidak perlu memerlukan biaya yang banyak (Smith & Sandwell, 2004). Cakupan pengukuran

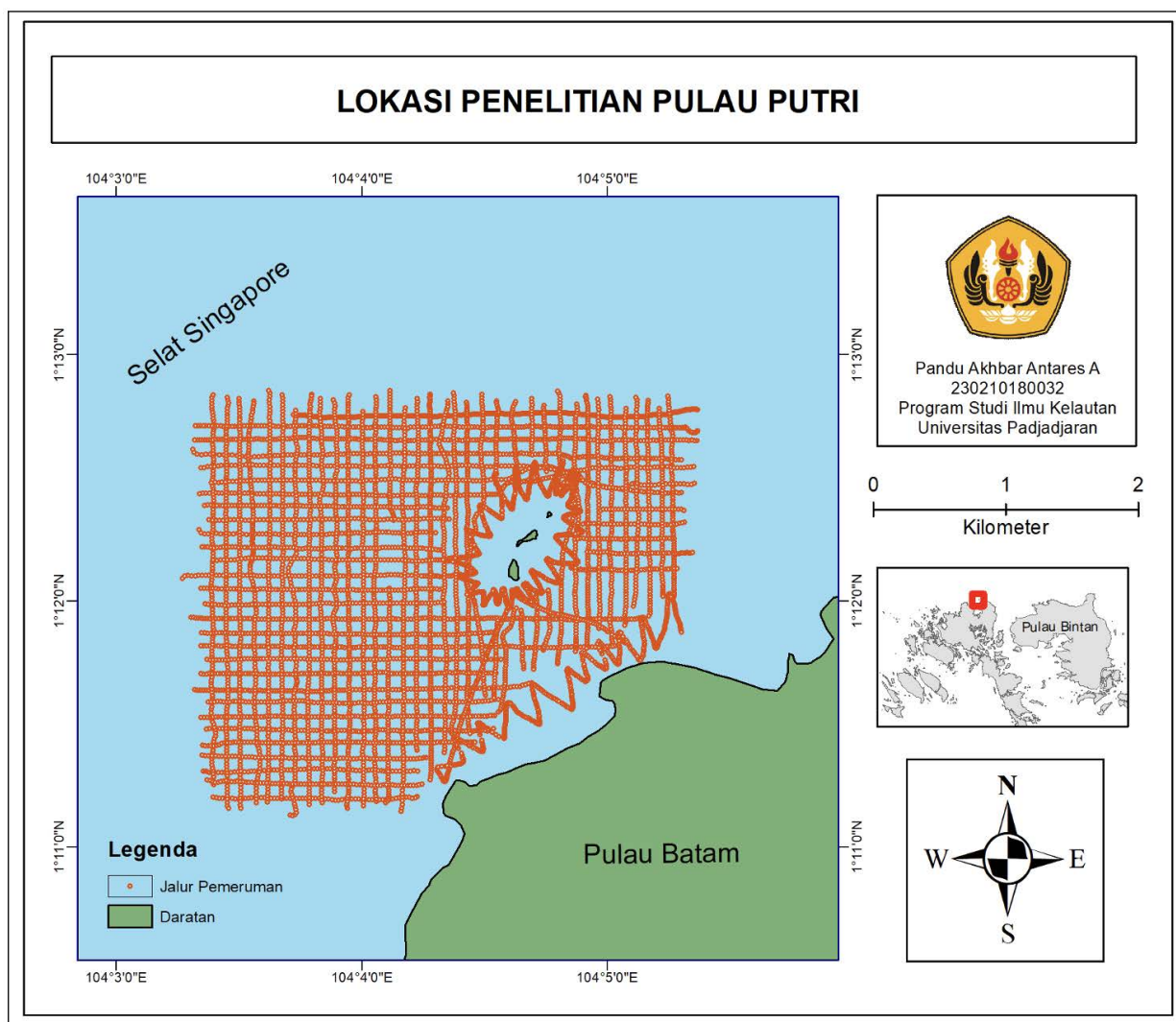
batimetri pun tidak terbatas selama kondisi di lokasi tersebut memenuhi persyaratan untuk dilakukan pengukuran seperti berada di perairan dangkal, tidak ada gangguan awan, turbiditas perairan yang rendah, tidak tercemar, dan lain-lain (IHO & IOC, 2018). Cerdeira-Estrada dkk (2012) menggunakan citra *WorldView-2* untuk memetakan batimetri dan habitat bentik di Mexican Caribbean. Sedangkan (Rahman, 2020) menggunakan citra Sentinel-2A untuk memetakan kedalaman perairan dangkal yang ada di Taman Nasional Perairan Karimun Jawa. (Manessa dkk., 2018) memanfaatkan citra SPOT 6 dengan tiga *band* tampak untuk memetakan kedalaman di dua tempat yakni Pulau Gili Mantra dan juga Pulau Menjangan. Namun perlu diingat bahwa penggunaan penginderaan jauh juga memiliki keterbatasannya tersendiri seperti tingkat akurasi dan tidak dapat digunakan di perairan dalam.

Dengan mempertimbangkan keterbatasan dan juga kekurangan dari pengukuran batimetri secara konvensional, pada penelitian ini dilakukan perolehan data batimetri menggunakan teknologi penginderaan jauh menggunakan citra satelit beresolusi menengah yakni Sentinel-2 dan juga membandingkannya dengan hasil data

batimetri secara konvensional. Keunggulan dari citra tersebut dapat digunakan secara gratis dengan resolusi sebesar 10 meter dan sudah digunakan dalam beberapa penelitian terdahulu serta menunjukkan tingkat akurasi yang beragam (Bobsaid & Jaelani, 2017; Caballero & Stumpf, 2019; Casal dkk., 2019; Meliala dkk., 2019). Dalam pemanfaatan batimetri dari citra Sentinel-2 dapat dimanfaatkan dalam pemetaan pelabuhan (Mateo-Pérez dkk., 2020), danau (Yunus dkk., 2019) hingga habitat bentik dan terumbu karang (Hedley dkk., 2018). Tujuan dari penelitian ini untuk menghitung nilai perbedaan batimetri antara data *in situ* dan data hasil pengolahan citra Sentinel-2 dan mengidentifikasi pola distribusi batimetri hasil pengolahan citra satelit.

## METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli - Agustus 2022 di Pulau Putri, Nongsa, Batam, Kepulauan Riau. Luasan daerah penelitian disesuaikan dengan data batimetri pengukuran *in situ* yang dimiliki sehingga data citra disesuaikan dengan titik pemeruman batimetri. Peta lokasi dan titik koordinat penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Peta lokasi penelitian**

Alat yang digunakan pada penelitian ini merupakan perangkat lunak (*software*) untuk pengolahan dan analisis data. Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

**Tabel 1. Alat dan kegunaan**

No.	Alat	Kegunaan
1.	Software SNAP	Mengolah data citra Sentinel-2
2.	Software ArcGIS	Mengolah data citra dan batimetri
3.	Software Microsoft Excel	Analisis data
4.	Software Surfer	Pembuatan kontur

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data batimetri hasil pengukuran *in situ* yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) pada tanggal 14 – 28 Mei 2014 dan juga citra satelit Sentinel-2 yang diunduh dari *website* <https://scihub.copernicus.eu>. Citra satelit Sentinel-2 memiliki resolusi spasial antara 10 - 60 meter bergantung pada *band* yang digunakan. Pada penelitian ini, *band 2* (biru) dan *band 3* (hijau) digunakan dalam teknik *band-ratio* (formula 3), *band* tampak (2, 3, dan 4) digunakan dalam proses koreksi *sun-glint* (formula 2), sedangkan *band 8* juga digunakan untuk memisahkan bagian daratan dan lautan (formula 1). Sedangkan resolusi temporal adalah lama waktu yang dibutuhkan satelit untuk kembali ke posisi semula untuk merekam citra di bumi. Lamanya waktu yang dibutuhkan Sentinel-2 untuk kembali ke posisi yang sama adalah lima hari.

Untuk mengakuisisi data batimetri menggunakan citra satelit, tentunya bergantung pada kualitas citra yang didapatkan. Casal dkk (2019) menggunakan enam citra Sentinel-2 untuk merepresentasikan kondisi citra yang berbeda (pasang surut, turbiditas, perbedaan *sun glint*). Kemudian penelitian Casal dkk (2020) pada tahun 2020 menggunakan sebanyak empat citra yang berulang pada area penelitiannya. Sedangkan Poursanidis dkk (2019) hanya menggunakan satu citra yang terbaik di wilayah penelitiannya. Pada penelitian di Pulau Putri, terdapat tiga citra yang diakuisisi yakni pada tanggal 15 April 2021, 21 November 2021 dan 30 Januari 2022 dengan kondisi terbaik yang dapat dilihat pada gambar 2, 3 dan 4.

Pemotongan atau *subset* citra diperlukan agar fokus pemrosesan data hanya pada daerah penelitian (*area of interest*), yang mana dapat memudahkan dalam proses pengolahan data. Untuk memisahkan area daratan dengan lautan, *land-masking* dilakukan dengan membuat nilai daratan menjadi nol dan nilai lautan menjadi satu, sehingga proses hanya terfokus pada daerah perairan. Pada proses *land-masking* ini menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Wetness Index*) (Gao, 1996) dengan *band NIR* (*Near Infra Red*) atau B8 dan *band* merah atau B3 (formula 1):

$$NDWI = \frac{(B3-B8)}{(B3+B8)} \quad (1)$$

Pada penelitian ini dilakukan koreksi *sun glint* (*deglint*) dengan menggunakan metode (Hedley dkk., 2005) yang menjelaskan hubungan linear antara *band*

NIR dan juga *band* tampak (*visible band*) menggunakan regresi linear berdasarkan sampel piksel citra. Berikut merupakan perhitungan yang dideskripsikan oleh Hedley (formula 2).

$$R'_i = R_i - b_i (R_{NIR} - \text{Min}_{NIR}) \quad (2)$$

dengan :

$R'_i$  = Piksel yang sudah melakukan proses *deglint*

$R_i$  = Reflektansi dari *band* tampak (*visible band*)

$b_i$  = Kemiringan regresi

$R_{NIR}$  = *Value band* NIR

$\text{Min}_{NIR}$  = *Value minimum band* NIR

Untuk pengestimasi kedalaman, pada penelitian ini menggunakan model yang dikembangkan oleh Stumpf dkk pada tahun 2003 berdasarkan prinsip bahwa setiap *band* memiliki perbedaan tingkat absorpsi pada air dan secara teoritis nantinya akan diperoleh perbedaan rasio di tiap *band*-nya (Stumpf dkk., 2003). Rasio ini kemudian akan terus berubah juga seiring berubahnya kedalaman (formula 3).

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (3)$$

dengan:

$Z$  = Kedalaman yang diestimasi

$m_1, m_0$  = Konstanta model

$R_w(\lambda_{i,j})$  = Reflektansi *band* i dan j

$n$  = Konstanta tetap agar logaritma tetap positif

Teknik *band ratio* ini telah terbukti lebih kuat dan dapat menginterpretasi kedalaman hingga 25 meter dan menunjukkan hasil yang stabil dengan tingkat kesalahan *RMSE* 30% pada kedalaman 25 meter (Ashphaq dkk., 2021). Teknik ini juga menunjukkan estimasi kedalaman yang lebih akurat untuk perairan dangkal dengan reflektansi yang rendah dan juga area bentik yang lebih dalam jika dibandingkan dengan model derivasi yang lain (Said dkk., 2017).

### Uji Perbandingan Data

#### *RMSE*

Merupakan metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi (formula 4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_j - \hat{y})^2}{n}} \quad (4)$$



**Gambar 2. Citra 15 April 2021**



**Gambar 3. Citra 21 November**



Gambar 4. Citra 30 Januari 2022

dengan:

$y_j$  = Kedalaman hasil SDB

$y$  = Kedalaman referensi

$n$  = Jumlah sampel

#### TVU

*Total Vertically Uncertainty* merupakan aturan baku yang dibuat oleh *International Hydrographic Organization* (IHO) untuk menentukan ketelitian survei hidrografi. Penelitian terdahulu (Ramadhan dkk., 2021; Said dkk., 2017; Wright dkk., 2016) juga menggunakan TVU untuk mendeskripsikan kualitas dari hasil data model batimetri untuk dibandingkan dengan data *in situ*. Berdasarkan publikasi IHO No. 44 (2008), nilai TVU dideskripsikan sesuai dengan formula (5).

Tabel 2. Nilai koefisien dan konstanta ordo TVU

	Ordo Spesial	Ordo 1A	Ordo 1B	Ordo 2
Konstanta	$a = 0.25 \text{ m}$	$a = 0.5 \text{ m}$	$a = 0.5 \text{ m}$	$a = 1 \text{ m}$
$a \text{ dan } b$	$b = 0.0075$	$b = 0.0075$	$b = 0.0075$	$b = 0.023$

$$TVU = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (5)$$

dengan:

$a$  = koefisien ketidakpastian yang tidak dipengaruhi kedalaman

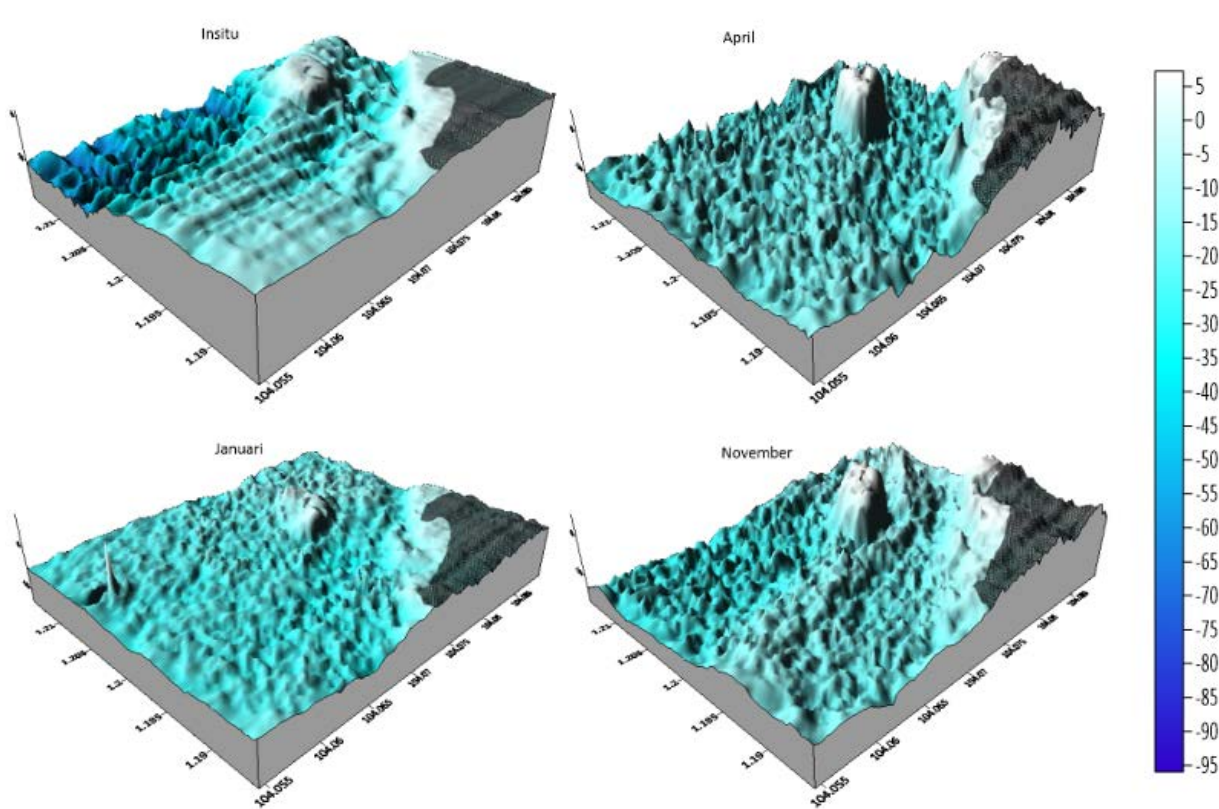
$b$  = koefisien ketidakpastian yang dipengaruhi

kedalaman

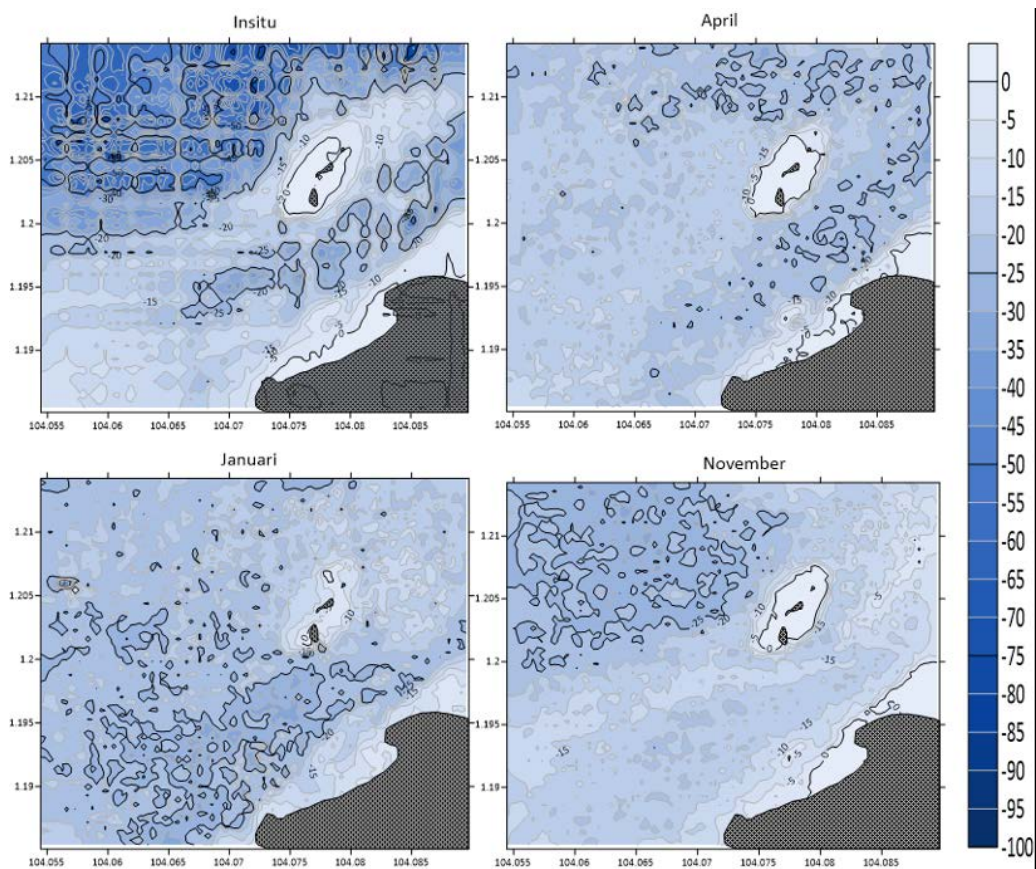
$d$  = kedalaman laut

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil visualisasi data batimetri yang diperoleh dengan menggunakan metode *band ratio* pada citra Sentinel-2 menunjukkan bahwa kedalaman maksimal yang berhasil dipetakan oleh metode ini adalah 40 meter. Hal ini berbeda signifikan jika dibandingkan dengan data batimetri yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan (*in situ*), dimana kedalaman yang tercatat mencapai 90 meter. Perbedaan ini menunjukkan adanya batasan dalam kemampuan pemetaan kedalaman menggunakan citra satelit pada area tertentu. Dari ketiga citra yang digunakan yakni pada tanggal 15 April 2021, 21 November 2021 dan 30 Januari 2022 juga menghasilkan kedalaman batimetri yang berbeda-beda (gambar 5 dan 6). Penginterpretasian pemisahan daratan dengan lautan pada Pulau Putri juga berbeda di setiap citranya. Terdapat beberapa titik data kedalaman hasil SDB yang diinterpretasikan sebagai daratan dengan menganggap bahwa titik tersebut memiliki elevasi diatas 0 meter. Hasil *scatter plot* antara data *in situ* dengan data kedalaman hasil pengolahan citra dapat dilihat pada Gambar 7, 8, dan 9. Titik data kedalaman pengukuran *in situ* bervariasi dari kedalaman 0 - 80 meter, sedangkan hasil pengolahan SDB berkisar kedalaman 0 - 40 meter. Jumlah titik data terbanyak



Gambar 5. Hasil visualisasi 3 Dimensi data SDB



Gambar 6. Hasil visualisasi SDB

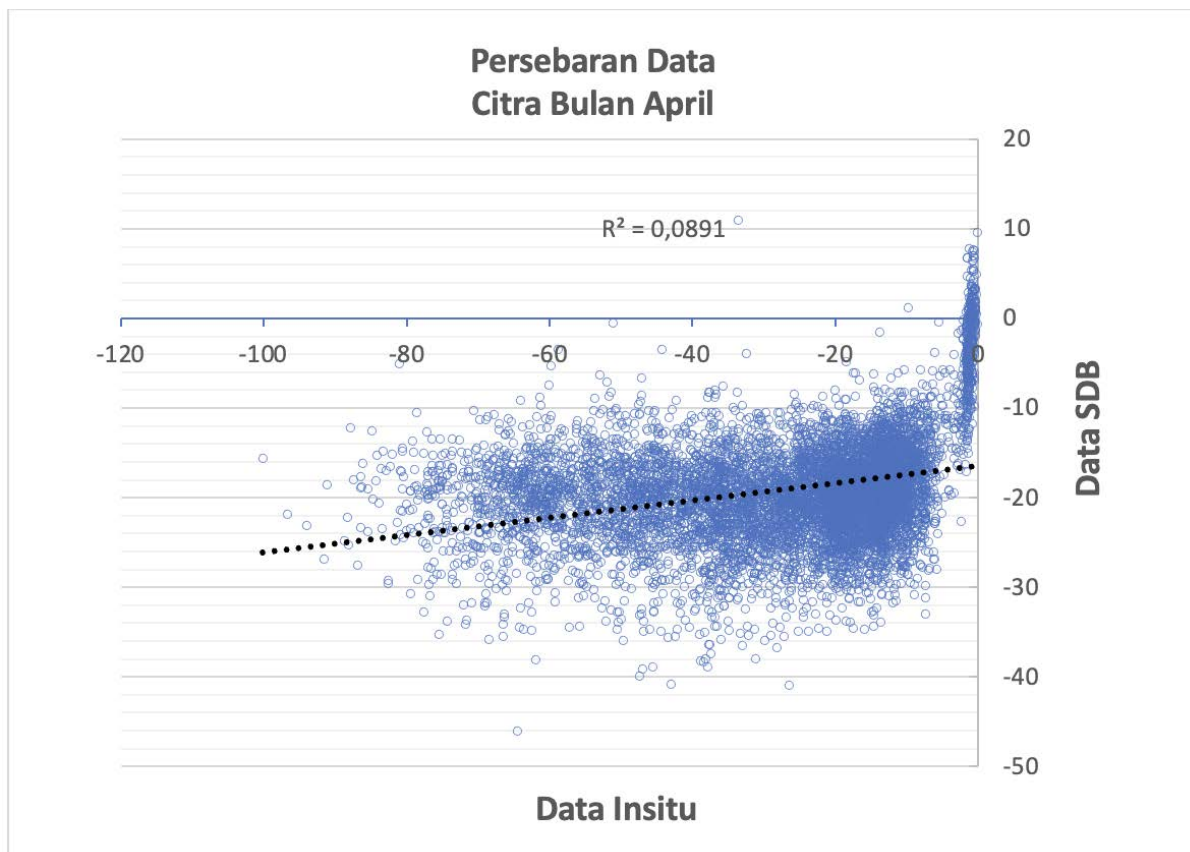
terdapat pada kedalaman 10 - 15 meter yakni sebanyak 1592 titik data. Berdasarkan pengolahan dan hasil visualisasi, data SDB tidak dapat merepresentasikan kedalaman yang ada di perairan dalam. Semakin dalam perairan tersebut, maka tingkat *error* juga semakin tinggi jika dilihat dari hasil *RMSE*.

Dari ketiga citra tersebut, citra bulan Januari merupakan citra yang mempunyai hasil interpretasi kedalaman yang lebih baik dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,372. Penafsiran kedalaman perairan dalam yang buruk pada hasil SDB tentunya disebabkan oleh keterbatasan penetrasi *band* yang ada pada citra. Cahaya pada spektrum *band* biru hanya dapat berpenetrasi hingga kedalaman 30 meter sedangkan *band* hijau sedalam 15 meter (Meliala dkk., 2019). Perbedaan kondisi citra dan albedo dasar laut juga menyebabkan perbedaan hasil kedalaman SDB. Citra bulan November memiliki penginterpretasian kedalaman yang buruk dari ketiga citra dengan koefisien determinasi hanya sebesar 0,01 dan TVU. Jika dilihat pada akuisisi awal, citra tersebut memiliki kondisi berkabut dibanding citra lainnya dan juga terdapat *noise*. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa pengolahan SDB sangat dipengaruhi oleh kondisi citra.

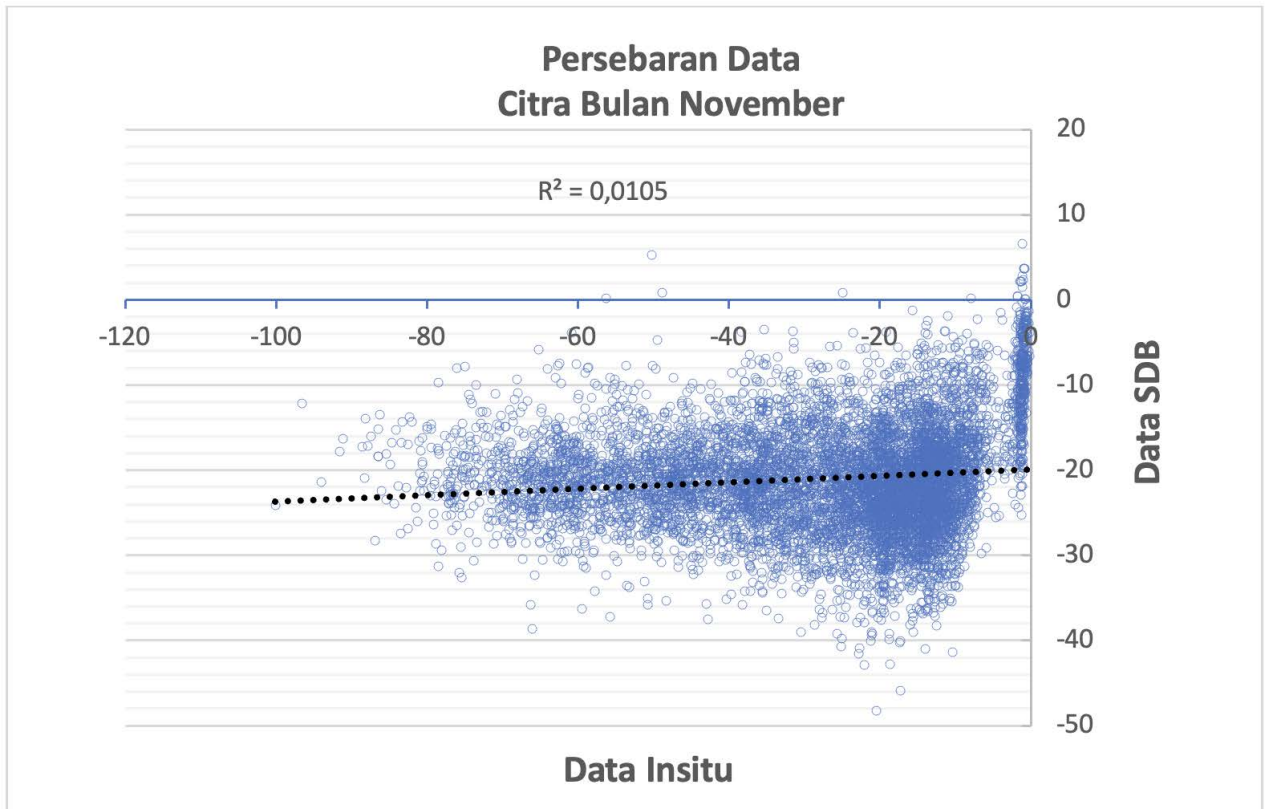
#### ***Perbandingan Data SDB dengan In Situ***

Dari tabel 4 dapat diketahui adanya 8479 titik data kedalaman pengukuran *in situ*, hanya  $\pm 7\%$  data hasil SDB terklasifikasi pada kategori Ordo 2,  $\pm 3\%$  pada Ordo 1, dan  $\pm 2\%$  pada ordo spesial. Berdasarkan hasil tersebut juga dapat dilihat bahwa citra bulan Januari merupakan citra yang lebih baik dibandingkan dengan kedua citra lainnya. Rendahnya nilai titik data yang terklasifikasi menunjukkan data pengolahan SDB pada penelitian ini belum sesuai dengan tingkat standar ketelitian survei hidrografi yang ditetapkan oleh IHO. Mavraeidopoulos dkk (2017) menegaskan bahwa SDB tidak akan menggantikan sistem dan metode survei hidrografi konvensional, tetapi karena merupakan teknologi yang “berbeda”, SDB dapat digunakan sebagai produk pelengkap untuk data survei konvensional, yang memenuhi standar IHO Orde 1a atau 1b. Metode dan visualisasi SDB dengan indikator yang berkualitas merupakan aspek penting dari penggunaan SDB dan interpretasi pengguna terhadap kualitas data batimetri.

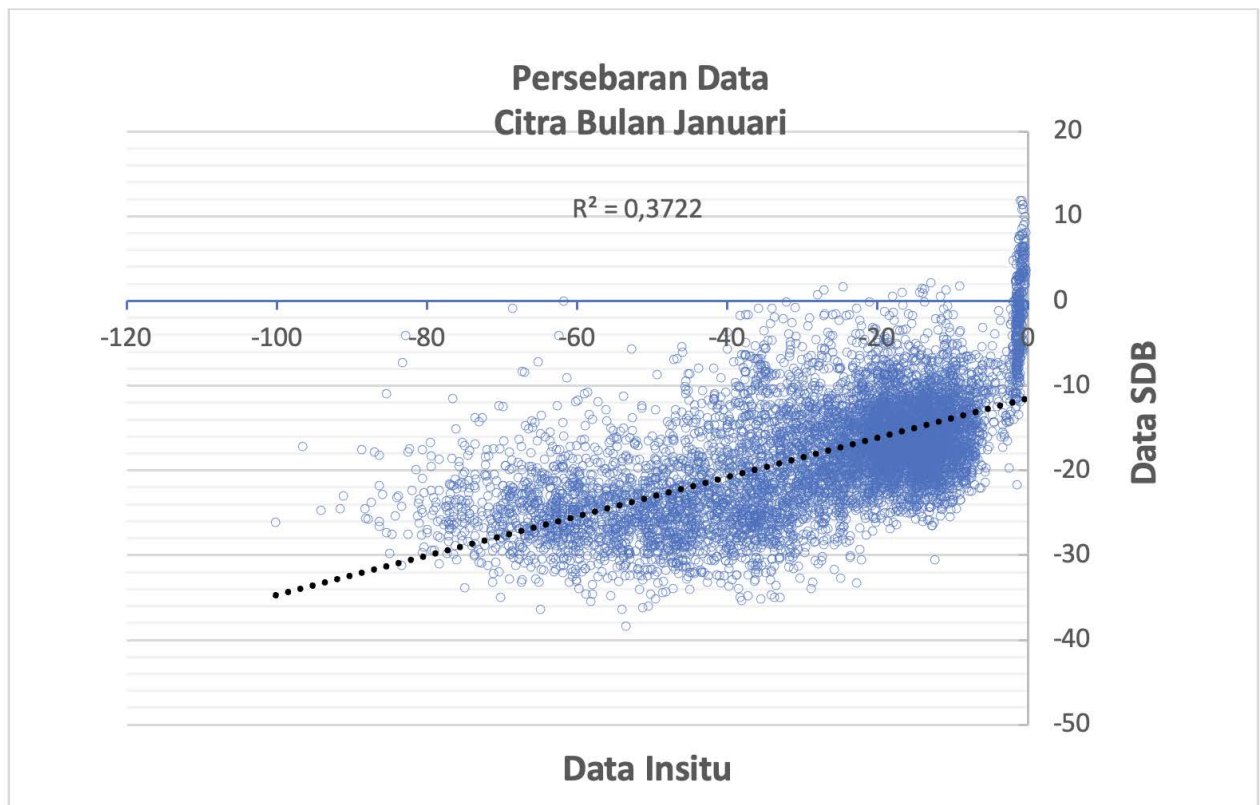


**Gambar 7. Scatter plot data SDB dan In situ pada citra bulan April**





Gambar 8. Scatter plot data SDB dan in situ pada citra bulan November



Gambar 9. Scatter plot data SDB dan in situ pada citra bulan Januari

**Tabel 3. Hasil analisis *RMSE* dan *R*<sup>2</sup>**

Citra	<i>Range</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	N
	Kedalaman			
April	<5	0,205	0,403	466
	5 sd 10	0,104	0,022	545
	10 sd 15	0,315	0,010	1592
	15 sd 20	0,123	0,002	1352
	20 sd 25	0,208	0,002	870
	25 sd 30	0,060	0,002	595
	30 sd 35	0,247	0,003	537
	35 sd 40	0,154	0,001	548
	40 sd 45	1,520	0,007	356
	45 sd 50	1,296	0,000	388
	50 sd 55	1,220	0,003	293
	55 sd 60	2,414	0,023	242
	60 sd 70	1,563	0,006	475
	> 70	2,933	0,009	220
Januari	<5	0,326	0,363	466
	5 sd 10	0,250	0,018	545
	10 sd 15	0,128	0,008	1592
	15 sd 20	0,155	0,001	1352
	20 sd 25	0,166	0,018	870
	25 sd 30	0,276	0,002	595
	30 sd 35	1,158	0,005	537
	35 sd 40	1,125	0,005	548
	40 sd 45	1,523	0,009	356
	45 sd 50	1,693	0,013	388
	50 sd 55	1,384	0,003	293
	55 sd 60	2,094	0,000	242
	60 sd 70	1,735	0,003	475
	> 70	3,124	0,025	220
November	<5	0,637	0,126	466
	5 sd 10	0,100	0,091	545
	10 sd 15	0,069	0,004	1592
	15 sd 20	0,032	0,001	1352
	20 sd 25	0,194	0,002	870
	25 sd 30	0,444	0,004	595
	30 sd 35	0,946	0,003	537
	35 sd 40	0,610	0,000	548
	40 sd 45	0,818	0,000	356
	45 sd 50	1,223	0,004	388
	50 sd 55	1,604	0,000	293
	55 sd 60	2,061	0,006	242
	60 sd 70	2,039	0,001	475
	> 70	3,570	0,000	220

**Tabel 4. Hasil pengklasifikasian dan SDB berdasarkan TVU**

	TVU (jumlah data yang terpenuhi dari keseluruhan 8479 data in situ)					
	April		Januari		November	
<b>Ordo 2</b>	588	6,9%	645	7,6%	425	5%
<b>Ordo 1</b>	290	3,4%	318	3,8%	199	2,3%
<b>Ordo Spesial</b>	172	2,0%	179	2,1%	100	1,2%

Dalam keadaan tertentu, teknik SDB juga dapat digunakan untuk memberikan informasi tambahan dan juga bisa digunakan untuk tambahan survei lanjutan.

Hasil nilai akurasi berdasarkan nilai determinasi yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki hasil yang berbeda dengan dengan beberapa penelitian lain (Tabel 10.) yang menggunakan metode dan juga citra satelit dengan resolusi spasial yang sama (Sentinel-2). Penelitian yang dilakukan oleh (Gerhaneu & Muji, 2020) di area studi yang sama di Pulau Putri menghasilkan nilai  $R^2$  yang lebih tinggi menggunakan analisis regresi linear berganda dengan metode *best subset regression* dan menggunakan citra Landsat 8 yang seperti diketahui citra tersebut memiliki resolusi yang lebih rendah. Meskipun penelitian tersebut tidak dapat dibandingkan karena perbedaan jumlah titik data yang digunakan untuk validasi, namun demikian penelitian tersebut juga menunjukkan hal yang sama bahwa akurasi pemetaan batimetri pada kedalaman lebih dari 20 meter kurang efektif. Penelitian yang dilakukan oleh (Manessa dkk., 2018) dalam mendapatkan estimasi kedalaman menggunakan Citra SPOT 6 yang beresolusi lebih tinggi (6 meter) dengan metode yang sama (*band ratio*) di Gili Mantra dan Menjangan menunjukkan hasil koefisien determinasi yang serupa yakni masing masing 0,2 dan 0,14 dengan *RMSE* sebesar 2,17 dan 1,37 meter. Penelitian ini juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode yang sama namun di tempat yang berbeda seperti di Dublin Bay (Casal dkk., 2020) dan Gili Iyang (Bobsaid & Jaelani, 2017). Pemilihan citra yang optimal, algoritma yang digunakan serta kondisi perairan sangat penting dalam ekstraksi kedalaman menggunakan citra satelit. Leder dan Duplančić (2020) juga menyatakan bahwa keterbatasan dalam metode SDB berkaitan dengan beberapa faktor penting, diantaranya: resolusi citra satelit; kondisi meteorologi; dan kualitas pantulan kolom air. Keunggulan dari penggunaan citra sentinel-2 dalam penelitian ini yakni tidak membutuhkan biaya atau dapat digunakan secara umum namun sudah mendapatkan citra dengan resolusi skala menengah. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, metode SDB harus digunakan pada citra satelit komersial dengan resolusi citra yang dapat mencapai 0,5 - 0,3 meter.

Kondisi meteorologi di waktu pengambilan citra juga berpengaruh terhadap kualitas citra yang dihasilkan. Kondisi meteorologi pada saat citra direkam mempengaruhi kualitas citra satelit dan akibatnya sangat

penting dalam penggunaan metode SDB. Menurut kondisi meteorologi yang ideal yakni citra diakuisisi pada waktu tengah hari pada hari yang cerah, kering, tanpa awan, dan tidak adanya polusi. Jika diamati secara visual, citra bulan Januari adalah citra dengan penggambaran yang lebih baik dibandingkan dua citra lainnya dengan kondisi yang cerah dan tidak adanya awan yang mengganggu. Sedangkan, citra bulan November merupakan citra dengan keberadaan awan atau kabut yang paling banyak dibandingkan dua citra lainnya. Berdasarkan hasil analisis akurasi kedalaman juga membuktikan bahwa citra bulan Januari memiliki akurasi yang paling baik.

Dalam mendapatkan nilai kedalaman, metode SDB menggunakan pemodelan dengan memanfaatkan penetrasi cahaya melalui kolom air pada *band* tampak dan inframerah. Radiasi elektromagnetik diserap dan dihamburkan sambil menyebar melalui air dan sisa energi dihamburkan balik dan direkam di satelit (Stumpf dkk., 2003). Efektivitas metode ini tergantung pada sifat optik air di daerah pesisir, seperti koefisien penyerapan zat tersuspensi dan terlarut, atenuasi, hamburan dan refleksi pantulan dasar laut (Poliyapram dkk., 2017). Secara umum kualitas pantulan radiasi elektromagnetik bergantung pada transparansi kolom air, topografi dan karakteristik sedimentologi dasar laut. Jika dilihat secara visual, citra sentinel-2 yang ada di Pulau Putri memiliki pantulan dasar laut atau albedo yang hanya bervariasi di sekitar pulau dan pesisir Pulau Batam. Penggunaan metode SDB tidak dianjurkan pada perairan pantai dengan pantulan dasar yang lemah dan kekeruhan yang tinggi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian ini citra Bulan Januari merupakan citra terbaik dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,372. Hasil *RMSE* menunjukkan semakin tinggi tingkat *error* seiring bertambahnya kedalaman. Nilai *RMSE* pada kedalaman 0 - 30 meter berkisar antara 0,1 - 0,3 meter, sedangkan pada kedalaman lebih dari 30 meter nilai *RMSE* bertambah dari 1 - 3 meter. Kualitas SDB juga dapat dilihat dengan melihat apakah data tersebut bisa terklasifikasi berdasarkan TVU. Berdasarkan 8479 titik data *in situ* masing-masing hanya 645, 318, dan 179 titik data yang terklasifikasi dalam Ordo 2, Ordo 1, dan Ordo spesial.

Terdapat perbedaan yang sangat signifikan dari hasil data batimetri pengolahan citra satelit (SDB) dengan menggunakan metode *band ratio*. Hasil data SDB hanya

**Tabel 5. Penelitian terdahulu**

Kajian Studi	Citra	Metode	Hasil
Pulau Putri, Kota Batam (penelitian yang dilakukan)	Sentinel 2	Stumpf	$R^2 = 0,372$ $RMSE = 0,3 - 3$ meter TVU: - Order 1b = 3,8 % - Order 2 = 7,6 % - Ordo spesial = 2,1 %
Pulau Putri, Kota Batam (Gerhaneu & Muji, 2020)	Landsat 8	Analisis Regresi	$R^2 = 85,4\%$ pada kedalaman 0-20 m $R^2 = 75\%$ pada kedalaman 0-25 m $R^2 = 49,1\%$ pada kedalaman 0-50 m
Dublin Bay, Ireland (Casal dkk., 2020)	Sentinel 2	-Stumpf -Lyzenga	Stumpf $R^2 = 0,27$ $RMSE = 89\%$ Lyzenga $R^2 = 0,14$ $RMSE = 88\%$
Bali dan Lombok (Manessa dkk., 2018)	SPOT 6	12 Empirical algorithms (termasuk stumpf)	Stumpf $RMSE = 2,17$ dan $1,37$ $R^2 = 0,2$ dan $0,14$
West Palm Beach, South Florida (Caballero & Stumpf, 2019)	Sentinel 2	-Stumpf	$MedAE = 0,5$ meter (0 sd 18 meter)
Perairan Poteran dan Gili Iyang, Madura) (Bobsaid & Jaelani, 2017)	-Landsat 8 -Sentinel 2	Algoritma Van Hengel dan Spitzer	Kedalaman Landsat 8 = 12,056 meter Sentinel = 11,149 meter Korelasi ( $R^2$ ) Landsat 8 = 0,102 Sentinel = 0,008 NMAE (%) Landsat 8 = 25,777 Sentinel = 26,877 $RMSE$ : Stumpf = 1,624 Lyzenga = 1,915
Eastern Sabah Security Zone, Malaysia (Said dkk., 2017)	-Pleiades	-Stumpf -Lyzenga	TVU: Stumpf - Order 1b = 29,6 % - Order 2 = 46,7 % Lyzenga - Order 1b = 24,9 % - Order 2 = 39 %
Semak Daun, Seribu Islands, Java Sea, Indonesia (Meliala dkk., 2019)	Sentinel 2	-Stumpf -Analytical approach	Kedua metode dapat menghasilkan kedalaman hingga 10 meter. Pada kedalaman lebih dari 15 meter $RMSE$ sebesar 4 meter. Kedua $R^2 = 0,7$

dapat menginterpretasi kedalaman hingga kedalaman maksimum 40 meter, berbeda dengan pengukuran in situ yang menunjukkan bahwa Perairan Pulau Putri memiliki kedalaman hingga 80 meter. Keterbatasan penetrasi cahaya pada spektrum *band* citra satelit menyebabkan penafsiran yang buruk terhadap kedalaman perairan. *Band* biru hanya mampu menembus hingga kedalaman 30 meter, sementara *band* hijau hanya sampai 15 meter. Perbedaan kondisi ketiga citra Sentinel-2 yang dipilih juga memengaruhi kualitas kedalaman yang dihasilkan.

Pengaplikasian SDB sebaiknya hanya digunakan pada perairan dangkal. Pemilihan citra sangat berpengaruh dalam mendapatkan nilai kedalaman, sehingga harus memilih citra yang terbaik untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Pengaplikasian SDB dapat menggunakan metode atau algoritma lainnya dan juga menggunakan citra dengan resolusi yang lebih tinggi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) serta kepada seluruh anggota tim penelitian Pulau Putri, Nongsa, Batam atas sumber data lapangan yang digunakan dalam penelitian ini.

## DAFTAR ACUAN

- Ashphaq, M., Srivastava, P. K., & Mitra, D. 2021. Review of near-shore satellite derived bathymetry: Classification and account of five decades of coastal bathymetry research. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 6(4), 340–359. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2021.02.006>
- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. 2017. Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Landsat 8 dan Sentinel-2A (Studi Kasus : Perairan Pulau Poteran dan Gili Iyang, Madura). *Institut Teknologi Sepuluh November*.
- Caballero, I., & Stumpf, R. P. 2019. Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106277. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106277>
- Casal, G., Harris, P., Monteys, X., Hedley, J., Cahalane, C., & McCarthy, T. 2020. Understanding satellite-derived bathymetry using Sentinel 2 imagery and spatial prediction models. *GIScience & Remote Sensing*, 57(3), 271–286. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1685198>
- Casal, G., Monteys, X., Hedley, J., Harris, P., Cahalane, C., & McCarthy, T. 2019. Assessment of empirical algorithms for bathymetry extraction using Sentinel-2 data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(8), 2855–2879. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1533660>
- Cerdeira-Estrada, S., Heege, T., Kolb, M., Ohlendorf, S., Uribe, A., Muller, A., Garza, R., Ressler, R., Aguirre, R., Marino, I., Silva, R., & Martell, R. 2012. Benthic habitat and bathymetry mapping of shallow waters in Puerto Morelos reefs using remote sensing with a physics based data processing. *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4383–4386. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6350402>
- Gao, B. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gerhaneu, N. Y & Muji, T. 2020. Analisis Kanal-Kanal Landsat 8 Oli untuk Pemetaan Batimetri di Sekitar Pulau Putri, Kota Batam. *Jurnal Geologi Kelautan*. 18. 10.32693/jgk.18.1.2020.648.
- Hedley, J. D., Harborne, A. R., & Mumby, P. J. 2005. Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *International Journal of Remote Sensing*, 26(10), 2107–2112. <https://doi.org/10.1080/01431160500034086>
- Hedley, J. D., Roelfsema, C., Brando, V., Giardino, C., Kutser, T., Phinn, S., Mumby, P. J., Barrilero, O., Laporte, J., & Koetz, B. 2018. Coral reef applications of Sentinel-2: Coverage, characteristics, bathymetry and benthic mapping with comparison to Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 216, 598–614. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.014>
- IHO & IOC. 2018. The IHO-IOC GEBCO Cook Book. Monaco: IHO.
- IHO. 2008. IHO Standards For Hydrographic Surveys 5th Edition.
- Jawak, S. D., Vadlamani, S. S., & Luis, A. J. 2015. A synoptic review on deriving bathymetry information using remote sensing technologies: models, methods and comparisons. *Advances in remote Sensing*, 4(2), 147–162.
- Leder, T. D., & Duplančić Leder, T. 2020. Optimal Conditions for Satellite Derived Bathymetry (SDB)—Case Study of the Adriatic Sea. *Proceedings of the FIG Working Week, Amsterdam, The Netherlands*, 10–14.
- Manessa, M. D. M., Haidar, M., Hartuti, M., & Kresnawati, D. K. 2018. Determination of The Best Methodology for Bathymetry Mapping Using Spot 6 Imagery: A Study Of 12 Empirical Algorithms. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 14(2), 127. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2017.v14.a2827>
- Mateo-Pérez, V., Corral-Bobadilla, M., Ortega-Fernández, F., & Vergara-González, E. P. 2020. Port Bathymetry Mapping Using Support Vector

- Machine Technique and Sentinel-2 Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 12(13), 2069. <https://doi.org/10.3390/rs12132069>
- Mavraeidopoulos, A. K., Pallikaris, A., & Oikonomou, E. 2017. Satellite Derived Bathymetry (SDB) and Safety of Navigation. *The International Hydrographic Review*, 17.
- Meliála, L., Wibowo, W. A., & Amalia, J. 2019. Satellite Derived Bathymetry on Shallow Reef Platform: A Preliminary Result from Semak Daun, Seribu Islands, Java Sea, Indonesia. *KnE Engineering*. <https://doi.org/10.18502/keg.v4i3.5849>
- Poliyapram, V., Raghavan, V., Metz, M., Delucchi, L., & Masumoto, S. 2017. Implementation of Algorithm for Satellite-Derived Bathymetry using Open Source GIS and Evaluation for Tsunami Simulation. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 6(3), 89.
- Poursanidis, D., Traganos, D., Chrysoulakis, N., & Reinartz, P. 2019. Cubesats Allow High Spatiotemporal Estimates of Satellite-Derived Bathymetry. *Remote Sensing*, 11(11), 1299. <https://doi.org/10.3390/rs11111299>
- Rahman, A. 2020. Depth Estimation Of Shallow Water Using Multispectral Satellite Imagery Sentinel-2a. *Jurnal Segara*, 16(3). <https://doi.org/10.15578/segara.v16i3.8562>
- Ramadhan L, M., Sasmito, B., & Hadi, F. 2021. Analisis Pengaruh Nilai Kekeruhan Air Terhadap Akurasi Satellite Derived Bathymetry Dengan Algoritma Stumpf (Studi Kasus: Pantai Kartini, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 10, no. 2, pp. 36-46, (Issue 10). <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30642>
- Said, N. M., Mahmud, M. R., & 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 Spatial Information Sciences*, XLII-4/W5, 159–164. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W5-159-2017>
- Smith, W., & Sandwell, D. 2004. Conventional Bathymetry, Bathymetry from Space, and Geodetic Altimetry. *Oceanography*, 17(1), 8–23. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2004.63>
- 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(1part2), 547–556. [https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\\_part\\_2.0547](https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547)
- Wibisono, F. B., Ibrahim, A. L., & Hartuti, M. 2021. Perolehan Data Batimetri Menggunakan Metode Satellite Derived Bathymetry untuk Percepatan Pembuatan Electronic Navigational Chart di Perairan Raja Ampat: Acquisition of The Bathymetry Data using Satellite Derived Bathymetry Method to Accelerate The Making of Electronic Navigational Chart in Raja Ampat Waters. *Jurnal Hidropilar*, 7(1), 31–60. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v7i1.202>
- Wright, C. W., Kranenburg, C., Battista, T. A., & Parrish, C. 2016. Depth calibration and validation of the experimental advanced airborne research lidar, EAARL-B. *Journal of Coastal Research*, 76(sp1), 4–17. <https://doi.org/10.2112/SI76-002>
- Yunus, A. P., Dou, J., Song, X., & Avtar, R. 2019. Improved Bathymetric Mapping of Coastal and Lake Environments Using Sentinel-2 and Landsat-8 Images. *Sensors*, 19(12), 2788. <https://doi.org/10.3390/s19122788>