




Jambura Geoscience Review

p-ISSN 2623-0682 | e-ISSN 2656-0380

Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo



Deteksi Batimetri Perairan Dangkal di Pulau Menjangan, Provinsi Bali Menggunakan Citra Landsat

Gerardus David Ady Purnama Bayuaji¹, Seftiawan Samsu Rijal¹ , Kuncoro Teguh Setiawan², Kholifatul Aziz²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran, Ketawanggede, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

²Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, BRIN, Jalan Kalisari, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 March 2022

Accepted: 14 June 2022

Published: 5 July 2022

Keywords:

Bathymetry; Landsat; Menjangan; Stumpf Algorithm

Corresponding author:

Seftiawan Samsu Rijal

Email: seftiawan.sr@ub.ac.id

Read online:



Scan this QR code with your smartphone or mobile device to read online.

ABSTRACT

Remote sensing-based research in Indonesia using satellite imagery frequently faces the challenge of cloud coverage due to the tropical country. One spatial data that can be extracted from satellite imagery is bathymetry. However, cloud-covered water bathymetric extraction still needs to be examined. This study aims to understand the ability of Landsat 7 ETM+ acquired on 29 July 2013, and Landsat 8, acquired on 24 July 2020, as the representative of non-cloudy image compared to Landsat 8, acquired on 9 August 2020, as the cloudy image. Stumpf algorithm was applied, including a statistical approach of linear regression analysis with in-situ data measurement from Single Beam Echo-Sounder (SBES) to derive the absolute bathymetric map with several classes of depth ranging from 0 – 2 m up to > 10 m. To assess the accuracy, RMSE and confusion matrix was used. The result shows that Landsat 7 ETM+ yields the highest R^2 with 0,52, while the lowest total RMSE (8,167 m) and highest overall accuracy of about 69% from the confusion matrix was achieved by the cloudy image of Landsat 8. Nevertheless, the highest absolute depth value yield by Landsat 8 non-cloudy image with 16,1 m. This research confirms that the highest R^2 value does not always produce the best model, but it is still promised to be used. Furthermore, the quality of the imagery based on its percentage of cloud coverage is affecting the resulted model.

How to cite: Bayuaji, G. D. A. P., Rijal, S. S., Setiawan, K. T., & Aziz, K. (2022). Deteksi Batimetri Perairan Dangkal di Pulau Menjangan, Provinsi Bali Menggunakan Citra Landsat. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 102–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.13886>

1. PENDAHULUAN

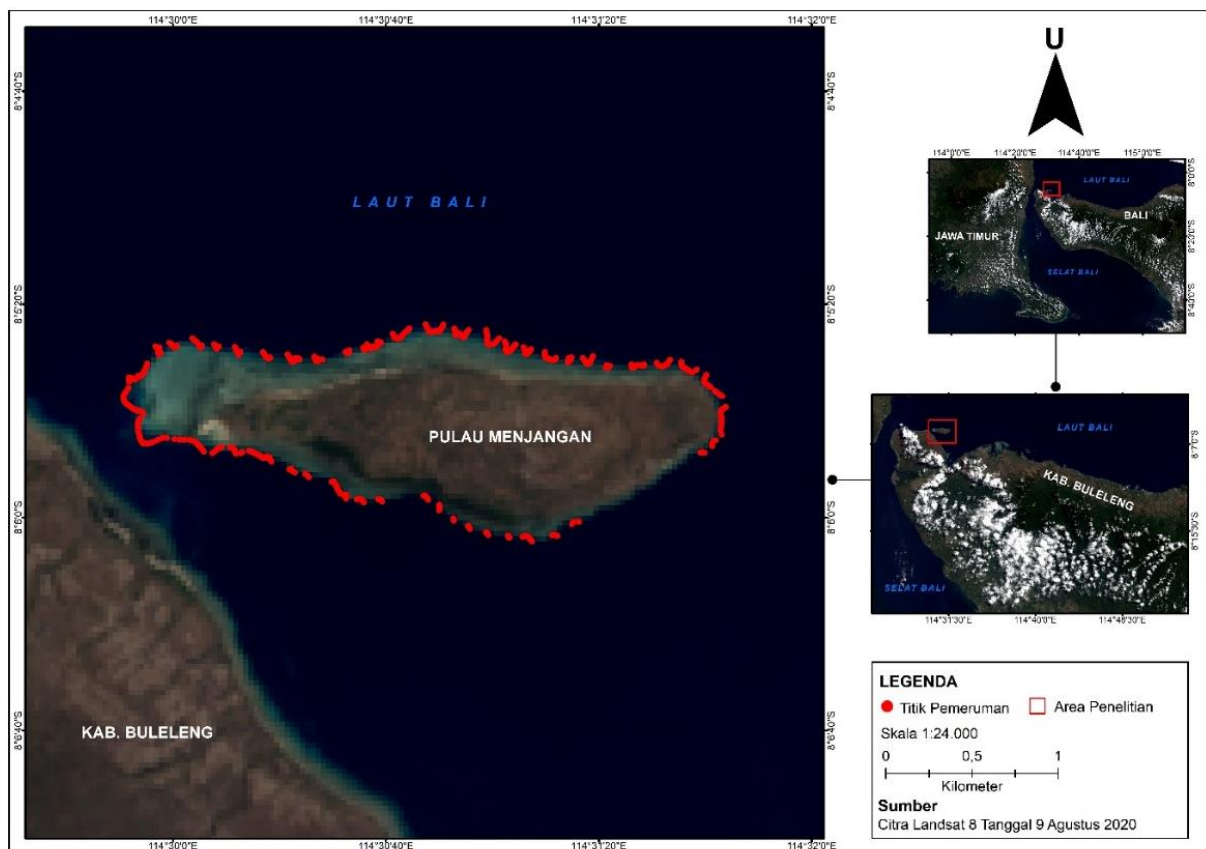
Wilayah laut di Indonesia memiliki luas mencapai 3,1 juta km², hal ini setara dengan 62 % dari seluruh wilayah Indonesia (Zulkarnain et al., 2013). Dominasi luas wilayah perairan atas wilayah daratan di Indonesia membutuhkan penanganan khusus agar dapat dikelola dengan baik serta mendukung ketepatan dalam pengambilan keputusan sehingga pemanfaatan secara maksimal dapat dilakukan demi mendukung majunya peradaban Indonesia. Salah satu data yang wajib tersedia dalam pengelolaan wilayah perairan adalah data spasial, khususnya data batimetri sebagai informasi mengenai relief dasar bawah laut (Aji et al., 2021) untuk mendukung pengelolaan lingkungan laut. Data batimetri dapat diperoleh dengan survei terestris secara konvensional, namun demikian metode tersebut tidaklah efektif dan efisien sebab terkendala oleh lamanya waktu survei, tingginya biaya, keterbatasan jangkauan kapal untuk mendatangi beberapa area tertentu dan kendala batas kedalaman yang dapat diidentifikasi yaitu maksimal hanya 25 m (Prayogo &

Basith, 2020). Diperlukan sebuah metode alternatif untuk mengatasi keterbatasan dan kendala dari survei terestris dalam pemetaan batimetri, salah satunya dengan menggunakan citra penginderaan jauh.

Kajian penginderaan jauh memiliki sebuah pendekatan untuk memetakan batimetri yang dikenal dengan *Satellite Derived Bathymetry* (SDB). SDB sampai saat ini terus dikembangkan dan terbukti secara empiris dapat menghasilkan peta batimetri dengan tingkat efektifitas dan efisiensi yang cukup tinggi apabila dibandingkan dengan survei terestris (Aji et al., 2021). Penelitian SDB terdahulu yang telah melakukan pemodelan empiris diantaranya (Hartuti & Winarso, 2017; Manessa et al., 2018; Setiawan et al., 2014). Informasi batimetri yang diperoleh dengan metode empiris merupakan hasil pemodelan regresi antara nilai spektral citra yang digunakan dengan kedalaman hasil pengukuran lapangan (*in-situ*). Metode empiris lebih mudah dan praktis digunakan karena tidak memperhatikan proses rambatan gelombang elektromagnetik di dalam tubuh air.

Algoritma derivasi kedalaman perairan yang berbasis metode empiris salah satunya adalah Stumpf. Algoritma ini memanfaatkan rasio panjang gelombang kanal biru dan hijau untuk mengekstraksi kedalaman suatu perairan dari citra penginderaan jauh. Pada penelitian ini, algoritma Stumpf akan digunakan untuk menghasilkan informasi batimetri dari Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8. Kedua citra satelit ini dipilih karena ketersediaan data yang bebas akses dan direkam hampir bersamaan dengan pengambilan data *in-situ*.

Perairan Pulau Menjangan, Provinsi Bali memiliki perairan yang jernih. Kondisi tersebut memenuhi kriteria untuk penelitian batimetri menggunakan citra satelit (Setiawan et al., 2014). Data yang digunakan dalam proses pengolahan adalah citra satelit Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 dengan kualitas citra yang dibedakan berdasarkan tutupan awannya (*cloud coverage*). Adapun data *in-situ* yang digunakan untuk memvalidasi hasil pemodelan batimetri dari citra satelit didapatkan melalui Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Hasil yang diharapkan dari penelitian ini berupa evaluasi pengaruh kualitas citra satelit Landsat 7 ETM+ dan citra satelit Landsat 8 dalam menghasilkan peta kedalaman perairan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2. METODE

2.1. Lokasi dan Data

Pulau Menjangan, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali (Gambar 1) secara geografis terletak antara 114°29'00"-114°32'00" Bujur Timur dan 08°05'00"-08°06'30" Lintang Selatan. Perairan yang mengelilingi pulau ini adalah Laut Bali pada bagian Timur dan Utara serta Selat Bali pada bagian Selatan dan Barat (Setiawan et al., 2014). Pulau Menjangan merupakan area pariwisata dengan kondisi terumbu karang yang sempurna akibat intensitas curah hujan yang rendah (Manessa et al., 2018).

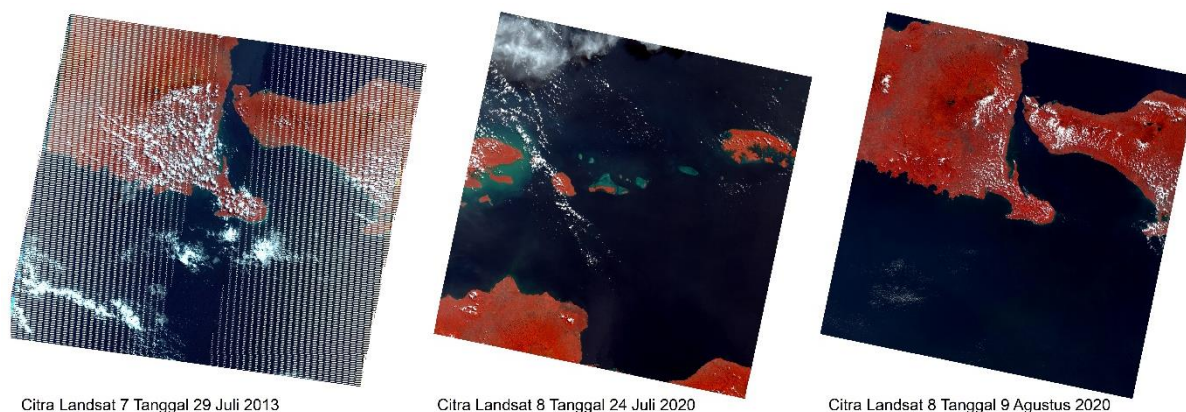
Data yang digunakan antara lain citra penginderaan jauh dan data pemeruman *Single Beam Echo Sounders (SBES)*. Data citra penginderaan jauh yang digunakan yaitu citra Landsat 7 ETM+ akuisisi data tanggal 29 Juli 2013, serta citra Landsat 8 akuisisi data tanggal 24 Juli 2020 dan 9 Agustus 2020 (USGS, 2013) (Gambar 2). Kombinasi kanal yang digunakan pada citra tertera pada Tabel 1. Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 memiliki resolusi spasial 30 m. Akuisisi data pemeruman SBES dilakukan tanggal 1 Februari 2013 yang digunakan untuk memvalidasi data pengolahan citra. Data pemeruman sudah dilakukan tahap koreksi terhadap kondisi pasang surut dengan jumlah data pemeruman SBES yaitu sebanyak 1432 titik sampel.

2.2. Pengolahan Data

Data citra Landsat yang telah diunduh telah memiliki informasi seputar *Ground Control Point (GCP)* beserta *Root Mean Square Error (RMSE)*. Lebih jelas mengenai nilai GCP dan RMSE Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra Landsat 8 dapat dilihat pada Tabel 2. Citra Landsat yang digunakan pada penelitian ini telah memiliki RMSE kesalahan geometrik yang dapat ditolerir yaitu kurang dari 30 m atau seukuran 1 piksel dari citra yang digunakan, sebagaimana penelitian (Manessa et al., 2018).

Tabel 1. Kombinasi kanal pada citra

Citra	Kanal	Hijau	Inframerah Dekat
L7 ETM+	Biru (0,45 0,52 μm)	(0,52 – 0,6 μm)	(0,77 – 0,9 μm)
L8	Biru (0,45 – 0,51 μm)	Hijau (0,53 – 0,59 μm)	Inframerah Dekat (0,85 – 0,88 μm)



Gambar 2. Tampilan visual citra yang digunakan pada penelitian

Tabel 2. Kualitas geometrik citra landsat

Citra	Jumlah GCP	RMSE (meter)	RMSE Longitude (m)	RMSE Latitude (m)
L7 ETM+ (29 Juli 2013)	63	6.085	3.841	4.720
L8 Kondisi Berawan (24 Juli 2020)	109	6.532	4.358	4.866
L8 Kondisi Tanpa Awan (9 Agustus 2020)	131	6.535	4.714	4.525

Konversi nilai *Digital Number* (DN) menjadi reflektansi *Top of Atmosphere* (ToA) pada tahap koreksi radiometrik menurut (Tarigan et al., 2019) dilakukan menggunakan (Persamaan 1) dibawah ini.

$$\rho\lambda = M\rho.Qcal + A\rho \quad (1)$$

dimana: $\rho\lambda$ adalah reflektansi ToA planet, tanpa koreksi untuk sudut matahari; $M\rho$ adalah *band-specific multiplicative rescaling factor* dari metadata; $A\rho$ adalah *band-specific additive rescaling factor* dari metadata; $Qcal$ adalah *digital number*.

Penerapan algoritma untuk mengestimasi kedalaman perairan ditentukan dengan menggunakan algoritma Stumpf (Stumpf et al., 2003) yang akan dijelaskan pada (Persamaan 2) dibawah ini.

$$Z = \frac{m_1 \ln(R(\lambda_2))}{\ln(R(\lambda_1))} - m_0 \quad (2)$$

dimana: Z adalah kedalaman perairan; m_1 , m_0 adalah koefisien konstanta model untuk ekstrak nilai kedalaman; $R(\lambda_2)$ adalah reflektan dari kanal biru; $R(\lambda_1)$ adalah reflektan dari kanal hijau.

Pemodelan kedalaman absolut diperoleh dari persamaan regresi yang mampu menggambarkan pengaruh antar variabel. Nilai kedalaman relatif yang didapatkan dari hasil pengolahan citra bersama dengan nilai kedalaman *in-situ* akan dimasukkan ke dalam analisis regresi linier sederhana (Aji et al., 2021) untuk diketahui kekuatan pengaruh antar variabel tersebut (Persamaan 3).

$$Y = a + bX \quad (3)$$

dimana: Y adalah variabel terikat; X adalah variabel bebas; a adalah nilai konstanta; dan b adalah nilai koefisien regresi.

Model kedalaman absolut perairan yang telah dibangun dengan analisis regresi linier sederhana akan diuji akurasi. Perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) menurut (Mahyudin et al., 2014) dapat diterapkan untuk melakukan uji akurasi tersebut dengan rumus seperti yang terdapat pada (Persamaan 4).

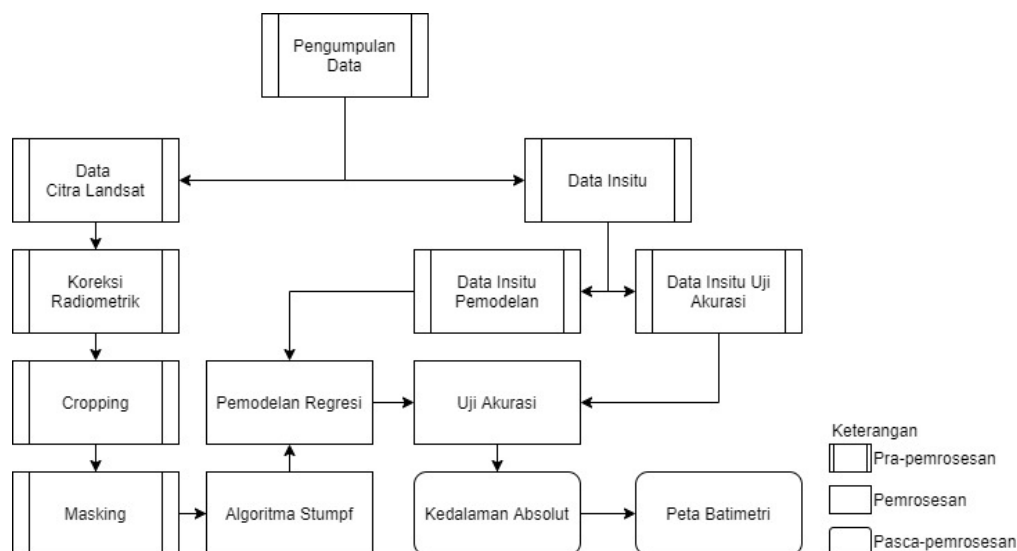
$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{100e}{V_{ti}}\right)^2}{n}} \quad (4)$$

dimana: (V_{ti}) estimasi adalah selisih kedalaman; n adalah jumlah titik; RMSE adalah nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan.

Hasil pemodelan kedalaman absolut dibagi menjadi empat kelas mengacu pada skema klasifikasi kedalaman perairan oleh (Sesama et al., 2020). Klasifikasi kedalaman perairan juga dihitung akurasi menggunakan *confusion matrix* yang membandingkan ketepatan antara kelas kedalaman hasil pemodelan dengan kelas kedalaman hasil *in-situ*.

2.3. Alur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga fase yaitu pra-pemrosesan, pemrosesan dan pasca-pemrosesan. Pada fase pra-pemrosesan dilakukan tahap pemisahan data pemeruman menjadi data pemodelan dan data uji akurasi dengan variasi proporsi 60%:40%, adapun rincian data pemodelan sebanyak 859 titik sampel digunakan untuk melakukan validasi kedalaman relatif dan data uji akurasi sebanyak 573 titik sampel digunakan untuk melakukan uji akurasi kedalaman absolut. Tahap koreksi radiometrik untuk mengubah DN menjadi ToA diterapkan pada citra yang digunakan. Langkah selanjutnya adalah melakukan eliminasi titik sampel data pemodelan dan data uji akurasi yang akan divalidasi dengan data pengolahan citra. Proses eliminasi bertujuan untuk memastikan bahwa dalam sebuah piksel Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 yang berukuran 30 m hanya terdapat satu titik pengujian akurasi.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Fase pemrosesan dilakukan tahap penerapan algoritma Stumpf pada setiap citra sesuai rumus pada (Persamaan 1). Pengolahan algoritma Stumpf akan menampilkan hasil tentatif berupa kedalaman relatif. Hasil pengolahan algoritma Stumpf diolah dengan pendekatan statistika yakni analisis regresi linier sederhana untuk mengetahui besar nilai pengaruh (R^2) antara data *in-situ* dengan hasil pemodelan menurut algoritma Stumpf sebagaimana rumus pada (Persamaan 2). Tahap akhir yaitu pasca-pemrosesan, pada tahap ini hasil dari (Persamaan 3) dikalkulasi terhadap hasil penerapan algoritma Stumpf pada masing – masing citra sekaligus menjadi hasil akhir yang memiliki nilai kedalaman absolut. Tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan RMSE untuk melihat *error* pada nilai akurasi kedalaman absolut sebagaimana rumus pada (Persamaan 4), serta dilakukan klasifikasi kedalaman dan menguji persebaran akurasi kedalaman antar kelas menggunakan *confusion matrix*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan batimetri menggunakan algoritma Stumpf menghasilkan kedalaman relatif yang selanjutnya dilakukan proses pemodelan regresi linier sederhana. Pemodelan regresi linier sederhana dilakukan untuk menghasilkan kedalaman absolut. Tabel 3 menunjukkan pemodelan regresi linier sederhana dari ketiga data citra yang digunakan. Pemodelan regresi untuk menghasilkan SDB metode empirik dengan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi terdapat pada citra Landsat 7 ETM+ yaitu sebesar 0.52. Apabila nilai R^2 mendekati 1 hal ini menandakan bahwa variabel terikat dan variabel bebas memiliki pengaruh yang kuat, dalam hal ini dari ketiga citra yang diolah diketahui bahwa Landsat 7 ETM+ memiliki pengaruh terkuat antar variabelnya sedangkan Landsat 8 kondisi tanpa awan adalah yang terlemah dengan nilai 0,48. Landsat 7 ETM+ merupakan citra yang diakuisisi paling dekat waktu perekamannya dengan pemeruman data SBES, hal ini menjadikan citra ini memiliki koefisien determinasi tertinggi diantara ketiga citra yang diuji coba pada penelitian ini.

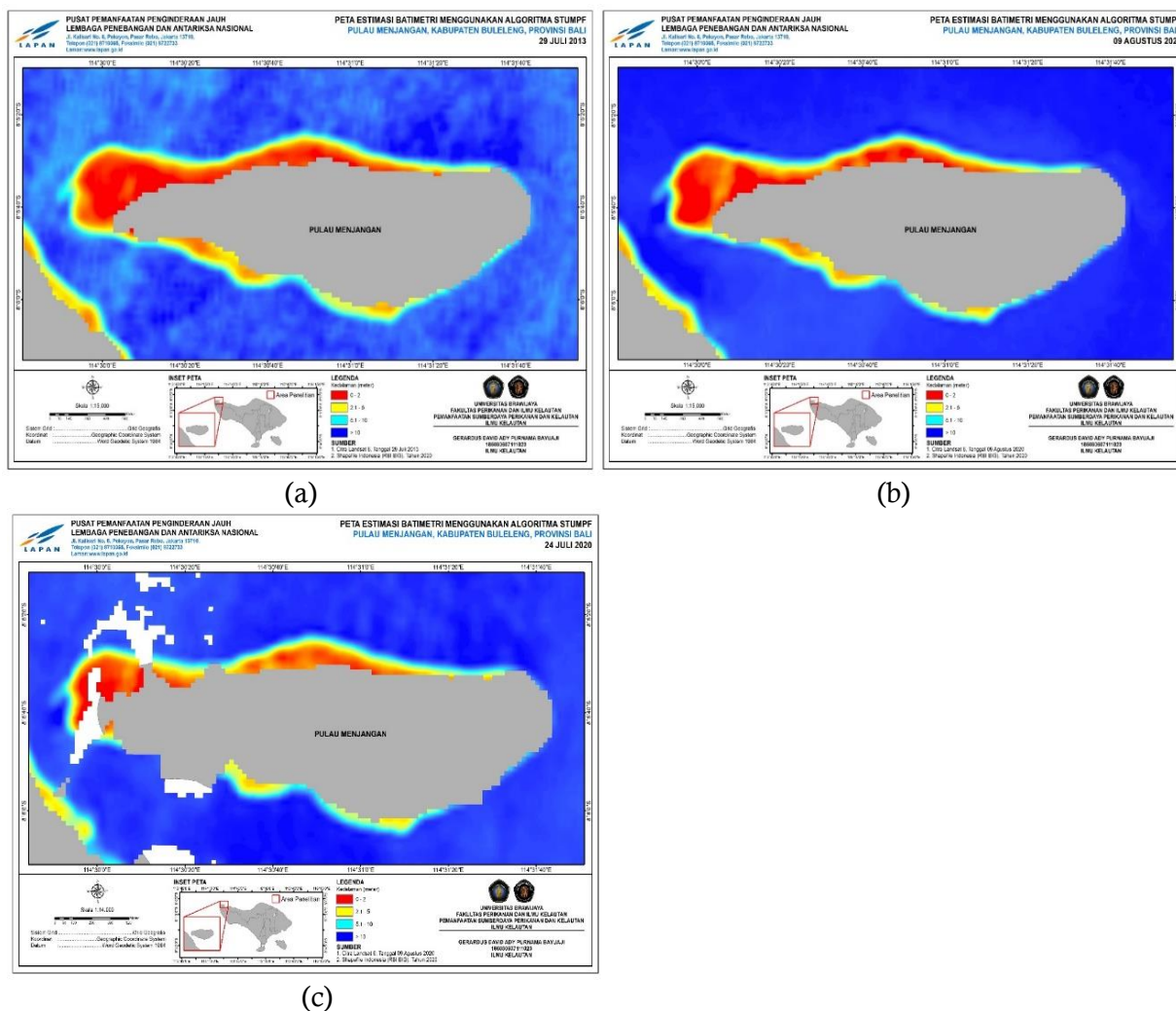
Tabel 3. Nilai indeks dan persamaan regresi masing-masing citra

Citra	Nilai indeks		Regresi	R^2
	High	Low		
L7 ETM+ (29 Juli 2013)	1.17	1.01	$Y = 189.32x + 200.81$	0.52
L8 Kondisi Berawan (24 Juli 2020)	1.02	0.99	$Y = 1051.8x + 1062.8$	0.49
L8 Kondisi Tanpa Awan (9 Agustus 2020)	1.02	1.00	$Y = 1316x + 1330.3$	0.48

Tabel 4. Nilai kedalaman absolut

Citra	Kedalaman absolut (m)
L7 ETM+	16.0
L8 Tanpa Awan	16.1
L8 Berawan	15.4

Nilai kedalaman absolut tertinggi dicapai oleh citra Landsat 8 perekaman 9 Agustus 2020 yaitu sebesar 16,1 meter (Tabel 4). Sementara itu, nilai kedalaman absolut terendah terdapat pada citra Landsat 8 perekaman 24 Juli 2020 yaitu sebesar 15,4 meter. Adapun citra Landsat 7 ETM+ perekaman 29 Juli 2013 memiliki nilai kedalaman absolut serupa dengan Landsat 8 perekaman 9 Agustus 2020 yaitu 16 meter. Keberadaan tutupan awan mampu mempengaruhi nilai kedalaman absolut yang dapat dimodelkan oleh citra. Citra Landsat 8 perekaman 9 Agustus 2020 merupakan citra yang paling sedikit tutupan awannya bahkan tanpa awan dibandingkan dengan citra Landsat 8 perekaman 24 Juli 2020. Indikator keberadaan awan terlihat pada warna putih sebagaimana yang tampil pada Gambar 4. Penelitian SDB dengan data Landsat 8 telah dilakukan oleh (Setiawan et al., 2017) menggunakan metode algoritma yang menghasilkan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0.66, serta oleh (Pushparaj & Hegde, 2017) menggunakan metode rasio kanal menghasilkan penetrasi kedalaman maksimal hingga 5 m. Beberapa hasil penelitian yang sebelumnya telah dilakukan tersebut diketahui bahwa kemampuan penetrasi kedalaman maksimal hasil penelitian ini masih lebih baik walaupun berdasarkan koefisien determinasi masih lebih rendah. Hasil tersebut tidak terlepas dari pengaruh kualitas data citra yang digunakan.



Gambar 4. Peta kedalaman absolut. (a) Landsat 7 ETM+ perekaman 29 Juli 2013; (b) Landsat 8 perekaman 9 Agustus 2020; (c) Landsat 8 perekaman 24 Juli 2020.

Tabel 5. Total nilai RMSE kedalaman absolut

Kedalaman (m)	RMSE		
	L7 ETM+	L8 Tanpa awan	L8 Berawan
0 – 2	1,54	2,062	1,658
2,1 – 5	1,899	1,892	1,983
5,1 – 10	2,504	2,528	2,366
>10	3,284	2,983	2,16
RMSE total	9,227	9,465	8,167

Tabel 6. Hasil uji akurasi

Kedalaman (m)	L7 ETM+			L8 Tanpa Awan			L8 Berawan		
	PA	UA	OA	PA	UA	OA	PA	UA	OA
0 - 2	80	10		67	40		80	40	
2,1 - 5	57	73	64%	48	59	68%	57	73	69%
5,1 - 10	68	55		71	58		68	63	
> 10	69	83		74	90		76	81	

Tabel 5 menunjukkan bahwa L8 dengan kondisi berawan memiliki nilai RMSE total paling kecil diantara citra yang lain yaitu 8,167 m sementara citra lainnya adalah 9,227 m untuk L7 ETM+ dan 9,465 m untuk L8 tanpa awan. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik model persamaan estimasi kedalaman tersebut (Nurkhayati, 2013). Berdasarkan hal ini, dapat diketahui bahwa model persamaan estimasi kedalaman menggunakan L8 dengan kondisi berawan adalah yang terbaik dibanding citra lainnya.

Berdasarkan uji akurasi menggunakan perhitungan *confusion matrix* pada ketiga data citra sebagaimana yang tampil pada Tabel 6 diketahui bahwa nilai OA (*Overall Accuracy*) tertinggi dicapai oleh citra Landsat 8 kondisi citra berawan yaitu sebesar 69%. Sedangkan, citra Landsat 8 kondisi tanpa awan hanya mencapai 68% dan 64% untuk citra Landsat 7 ETM+. Perkiraan hasil *confusion matrix* akan menjadi *underestimated* apabila UA lebih besar daripada PA, adapun sebaliknya, jika PA lebih besar daripada UA maka hasilnya akan menjadi *overestimated* (Rijal & Bayuaji, 2021). Berdasarkan hal ini maka dapat dinyatakan bahwa pada kedalaman 2,1 – 5 meter dan kedalaman > 10 meter berada pada kondisi *underestimated* sedangkan kedalaman 0 – 2 meter dan kedalaman 5,1 – 10 meter berada pada kondisi *overestimated*.

Pada penelitian ini diketahui bahwa nilai R^2 , kedalaman absolut, RMSE dan OA terbaik dicapai oleh citra yang berbeda - beda, yakni R^2 tertinggi adalah Landsat 7 ETM+ perekaman 29 Juli 2013 dan kedalaman absolut tertinggi dicapai oleh L8 perekaman 9 Agustus 2020 kondisi tanpa awan. Adapun RMSE dan OA terbaik terdapat pada Landsat 8 kondisi berawan perekaman tanggal 24 Juli 2020. Landsat 7 ETM+ memiliki nilai R^2 tertinggi dikarenakan temporal perekaman citra mendekati waktu pemeruman *in-situ*, sementara itu, Landsat 8 kondisi berawan mampu meraih RMSE dan OA tertinggi karena dominasi awan pada area penelitian tidak sepenuhnya menutup area kajian sehingga deteksi perairan masih mungkin dilakukan. Meskipun demikian, citra yang mampu menghasilkan R^2 tertinggi bukan berarti memiliki RMSE dan nilai uji akurasi paling baik demikian pula sebaliknya. R^2 , RMSE dan pengujian akurasi tidak selalu berkaitan secara linier bahkan bisa saja berkebalikan (Purnamasari et al., 2021). Apabila sebuah citra mampu menghasilkan R^2 yang tinggi maka tidak selalu citra tersebut akan menghasilkan RMSE dan pengujian akurasi yang baik pula.

4. KESIMPULAN

Hasil kedalaman absolut dari citra Landsat 7 ETM+ tanggal 29 Juli 2013, citra Landsat 8 tanggal 9 Agustus 2020 dan citra Landsat 8 Tanggal 24 Juli 2020 menghasilkan nilai kedalaman 16.0 meter, 16.1 meter dan 15.4 meter. Evaluasi hasil penelitian dilakukan dengan menggunakan parameter RMSE, R^2 dan OA. Landsat 8 pada 9 Agustus 2020, menghasilkan kedalaman deteksi hingga 16,1 m, sedangkan nilai R^2 tertinggi adalah Landsat 7 ETM+ sebesar 0,52 adapun nilai OA tertinggi dicapai Landsat 8 pada 24 Juli 2020 dengan 69%. Hasil penelitian membuktikan bahwa

nilai koefisien determinasi tertinggi tidak selalu menghasilkan model yang terbaik namun demikian hal ini masih menjanjikan untuk digunakan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya (FPIK UB) dan Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (Pusfatja), LAPAN atas terlaksananya penelitian melalui program Praktik Kerja Lapangan dan penyusunan publikasi ini.

6. REFERENSI

- Aji, S., Sukmono, A., & Amarrohman, F. (2021). Analisis Pemanfaatan Satellite Derived Bathymetry Citra Sentinel-2a Dengan Menggunakan Algoritma Lyzenga Dan Stumpf (Studi Kasus : Perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 170–179.
- Hartuti, M., & Winarso, G. (2017). Extraction of satellite derived bathymetry information from Landsat 8 in Jakarta Bay. *Proceeding Joint Convention HAGI - IAGI - IAFMI - IATMI*.
- 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 Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), 1–18.
- 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>
- Nurkhayati, R. (2013). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird di Perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2), 140–148.
- Prayogo, L. M., & Basith, A. (2020). Uji Performa Citra Worldview 3 dan Sentinel 2A untuk Pemetaan Kedalaman Laut Dangkal (Studi Kasus di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah). *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(2), 161. <https://doi.org/10.22146/jgise.59572>
- Purnamasari, E., Kamal, M., & Wicaksono, P. (2021). Comparison of vegetation indices for estimating above-ground mangrove carbon stocks using PlanetScope image. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101730. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101730>
- Pushparaj, J., & Hegde, A. V. (2017). Estimation of bathymetry along the coast of Mangaluru using Landsat-8 imagery. *The International Journal of Ocean and Climate Systems*, 8(2), 71–83. <https://doi.org/10.1177/1759313116679672>
- Rijal, S. S., & Bayuaji, G. D. P. (2021). Penentuan Kesesuaian Lokasi Marikultur Ikan Kerapu Di Sumatera Utara, Indonesia Menggunakan Google Earth Engine. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.21>
- Sesama, A. S., Setiawan, K. T., & Julzarika, A. (2020). *Bathymetric Extraction Using Planetscope Imagery (Case Study : Kemujan Island , Central Java)*. 17(2), 209–216.
- Setiawan, K. T., Adawiah, S. W., Marini, Y., & Winarso, G. (2017). Bathymetry Data Extraction Analysis Using Landsat 8 Data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 13(2), 79. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2016.v13.a2448>
- Setiawan, K. T., Osawa, T., & Nuarsa, I. W. (2014). Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer untuk Ekstraksi Informasi Batimetri Menggunakan Data. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 222–230.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1 II), 547–556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- Tarigan, V. A., Sasmito, B., & Hani'ah, H. (2019). *Kajian Akurasi Penentuan Garis Pantai Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus Kabupaten Lampung Timur) Victor*. 8(1), 278–287.
- USGS. (2013). *Landsat Missions Timeline* (p. 40).
- Zulkarnain, M., Purwanti, P., & Indrayani, E. (2013). Analysis of Aquaculture Production Value Effect To Gross Domestic Product of Fisheries Sector in. *Jurnal ECSOFiM*, 1(1), 52–68.