

ANALISIS KANAL-KANAL LANDSAT 8 OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI) UNTUK PEMETAAN BATIMETRI DI SEKITAR PULAU PUTRI, KOTA BATAM

ANALYSIS OF THE LANDSAT 8 OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI) BANDS FOR BATHYMETRIC MAPPING IN THE SEA AROUND OF PUTRI ISLAND, BATAM CITY

Nineu Yayu Gerhaneu¹ dan Tri Muji Susantoro²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Badan Litbang ESDM, Jl Dr. Junjunan No.236 Bandung, Indonesia, E-mail : nineuyayu79@gmail.com

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, Badan Litbang ESDM Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12230. E-mail : tri.susantoro@esdm.go.id

Diterima : 17-01-2020, Disetujui : 14-04-2020

ABSTRAK

Batimetri mempunyai peran penting dalam perencanaan wilayah pesisir sehingga pemetaan batimetri dangkal sangat diperlukan. Penginderaan jauh merupakan salah satu metode yang efisien, mudah dan murah untuk pemetaan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kanal-kanal terbaik pada Landsat 8 OLI untuk memetakan batimetri dan kedalaman optimum yang dapat dipetakan sehingga dapat digunakan sebagai rujukan dalam memanfaatkan data penginderaan jauh untuk pemetaan tersebut. Lokasi kajian dilakukan di pulau Putri, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Analisis regresi linear menunjukkan kanal tunggal terbaik untuk pemetaan batimetri adalah kanal hijau (kanal 3), diikuti oleh kanal merah (kanal 4) dan kanal inframerah dekat (kanal 5). Namun pemetaan batimetri dengan kombinasi kanal menghasilkan koefisien determinasi yang lebih baik. Analisis *best subset* menunjukkan pemetaan batimetri pada kedalaman 0 – 20 m menggunakan kanal 2, 3, 5, dan 6 dengan koefisien determinasi (R^2) 85,4%; kedalaman 0 – 25 m menggunakan kanal 1, 3, 5, 6, dan 7 dengan R^2 75%; dan pemetaan kedalaman 0 – 50 m menggunakan kanal 1, 3, dan 4 dengan R^2 49,1%. Hasil pemetaan batimetri menggunakan Landsat 8 OLI secara umum lebih efektif dan mempunyai akurasi tinggi pada kedalaman 0 – 20 m dan semakin berkurang kemampuannya pada kondisi perairan yang semakin dalam.

Kata kunci: Batimetri, Landsat 8 OLI, kanal, algoritma.

ABSTRACT

Bathymetry has an important role in planning coastal areas so that mapping of shallow bathymetry is needed. Remote sensing is one of the efficient, easy and inexpensive methods for mapping. This study aims to analyze the best channels in Landsat 8 OLI for mapping bathymetry and optimum depth that can be mapped so that it can be used as a reference in utilizing remote sensing data for mapping. The location of the study was conducted on the Putri island, Batam City, Riau Islands Province. Linear regression analysis shows the best single channel for bathymetry mapping is the green channel (channel 3), followed by the red channel (channel 4) and the near infrared channel (channel 5). But bathymetry mapping with channel combinations produces a better coefficient of determination. Best subset analysis shows bathymetry mapping at depths of 0-20 m using channels 2, 3, 5, and 6 with a coefficient of determination (R^2) of 85.4%; depth of 0 - 25 m using channels 1, 3, 5, 6, and 7 with R^2 75%; and mapping depth 0 - 50 m using channels 1, 3, and 4 with R^2 49.1%. The results of bathymetry mapping using Landsat 8 OLI are generally more effective and have a high accuracy at a depth of 0-20 m and are increasingly reduced in conditions of deeper water conditions.

Keywords: Bathymetry, Landsat 8 OLI, Band, Algorithm

PENDAHULUAN

Data batimetri mempunyai peranan penting untuk menghasilkan *chart* navigasi, profil dasar laut, erosi pantai, kenaikan muka air laut dan lainnya (Jagalingam dkk., 2015). Batimetri (kedalaman perairan) pada awalnya dipetakan menggunakan *echosounding* melalui kapal. Pemetaan tersebut mampu menghasilkan data yang akurat di titik pengukuran atau di sepanjang jalur survei. Namun biaya yang dibutuhkan tinggi dan tidak efisien, serta sulit untuk dilakukan pada perairan dangkal (Gao, 2009; Yunus dkk., 2019). Pada perkembangannya, pemetaan batimetri dapat dilakukan menggunakan penginderaan jauh. Teknologi ini pertama kali diusulkan pada pertengahan tahun 1960an dan diujicobakan dengan wahana *airborne* tahun 1968. Perkembangan selanjutnya menggunakan *Multispectral Scanner* sistem pasif (MSS) dan sistem lidar (Lyzenga, 1985). Teori pemetaan batimetri tersebut telah dikembangkan Lyzenga tahun 1978 dan tahun 1981 dan dilanjutkan oleh Philpot tahun 1989 dan Maritorea dkk. tahun 1994 dengan metode pemetaan yang digunakan diantaranya transformasi linier dan transformasi *ratio* (Stumpf dkk., 2003).

Pemetaan batimetri dengan penginderaan jauh pada prinsipnya merupakan jumlah total energi radiasi yang dipantulkan oleh kolom air sebagai fungsi dari kedalaman air. Spektrum biru dan hijau diindikasikan mempunyai penetrasi yang kuat untuk memetakan batimetri (Gao, 2009). Landsat 8 merupakan salah satu data penginderaan jauh yang mempunyai spektrum tersebut dan dapat dimanfaatkan untuk pemetaan batimetri. Landsat 8 dikenal sebagai generasi penerus Landsat 7 yang dikembangkan oleh *the National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *United States Geological Survey* (USGS) (Irons dkk., 2012). Landsat 8 mempunyai 11 kanal yang dibedakan menjadi kanal *Operational Land Imager* (OLI) yaitu kanal 1 – 9 dan kanal *Thermal Infrared Sensors* (TIRS), yaitu kanal 10 -11 (Tabel 1).

Kemampuan data penginderaan jauh untuk memetakan batimetri hanya dapat dilakukan pada perairan dangkal. Diperkirakan panjang gelombang biru dapat memetakan dasar laut pada kedalaman 30 m, panjang gelombang hijau pada kedalaman 15 meter, inframerah dekat pada kedalaman 0,5 m dan panjang gelombang inframerah diserap oleh air (Green dkk., 1996). Namun demikian pada pemetaan batimetri juga ditentukan oleh algoritmanya (Stumpf dkk., 2003). Hal lain yang berpengaruh dalam pemetaan tersebut adalah kekeruhan, adanya gelombang pecah yang mengakibatkan akurasi cenderung menurun. Bias pada pemetaan air dangkal 0 – 12 m rata-rata 0,2 m (Pacheco dkk., 2015).

Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan analisis kanal-kanal Landsat 8 OLI untuk memetakan batimetri pada berbagai kedalaman. Analisis tersebut dilakukan secara statistik menggunakan koefisien determinasi yang dihasilkan dari regresi linier pada masing-masing kanal dan regresi linier berganda untuk menentukan kombinasi kanal terbaik untuk memetakan batimetri dan kedalaman optimal yang dapat dipetakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kanal-kanal terbaik pada Landsat 8 OLI untuk memetakan batimetri dan kedalaman optimum yang dapat dipetakan sehingga dapat digunakan sebagai rujukan dalam memanfaatkan data penginderaan jauh untuk pemetaan tersebut. Lokasi kajian dilakukan di pulau Putri, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau.

METODE

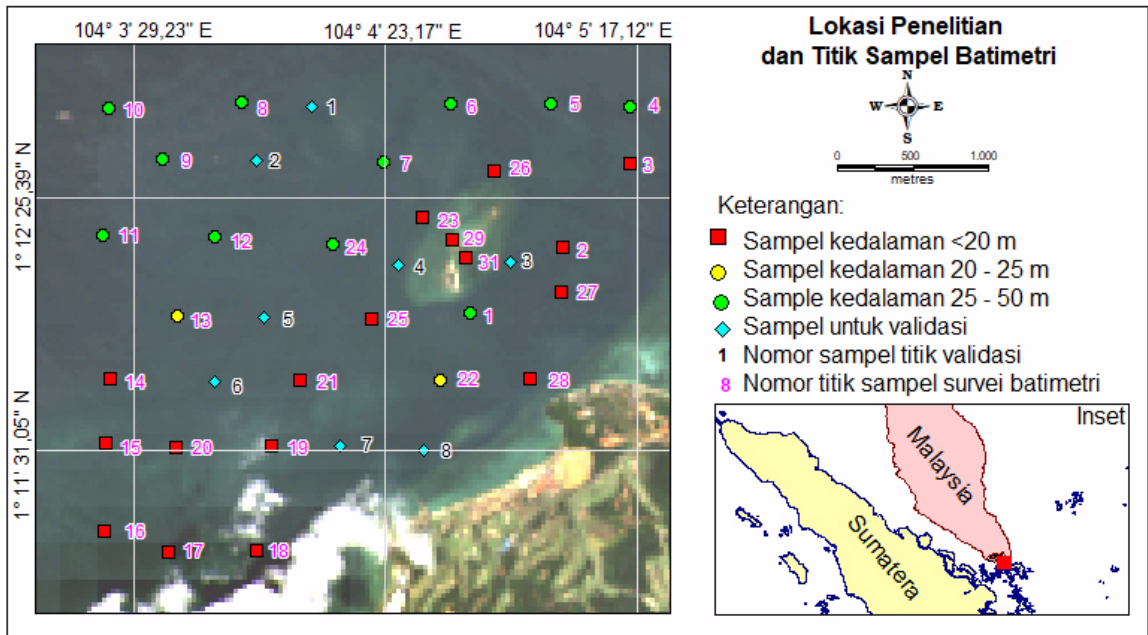
Lokasi dan waktu penelitian

Lokasi pengambilan titik sampel batimetri dilakukan di sekitar perairan Pulau Putri, Kota Batam ke arah pulau Batam dan selat Malaka

Tabel 1. Kanal-kanal pada Landsat 8 OLI/TIRS dan panjang gelombangnya.

No..	Kanal	Keterangan	Panjang gelombang (μm)	Resolusi Spasial (m)
1.	Kanal 1	<i>Coastal aerosol</i>	0,43 – 0,445	30
2.	Kanal 2	Biru	0,45 – 0,51	30
3.	Kanal 3	Hijau	0,53 – 0,59	30
4.	Kanal 4	Merah	0,64 – 0,67	30
5.	Kanal 5	Infra merah dekat (NIR)	0,85 – 0,88	30
6.	Kanal 6	<i>Short-wave infrared</i> (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
7.	Kanal 7	<i>Short-wave infrared</i> (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
8.	Kanal 8	Pankromatik	0,50 – 0,68	15
9.	Kanal 9	<i>Cirrus</i>	1,36 – 1,38	30
10.	Kanal 10	<i>Thermal infrared</i> (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100
11.	Kanal 11	<i>Thermal infrared</i> (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100

Sumber: (Li dkk., 2014).



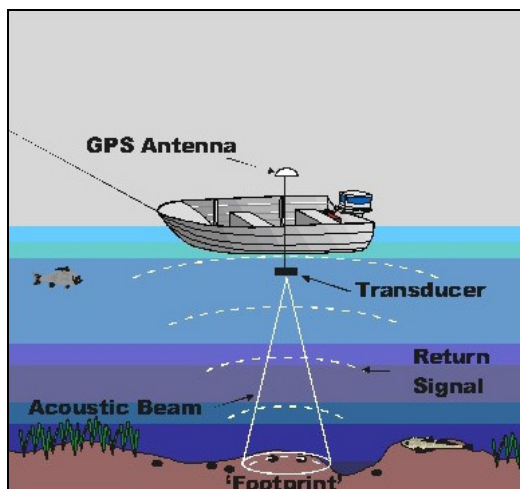
Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik pengukuran batimetri yang ditumpang susun dengan Landsat 8 OLI perekaman tanggal 13 Mei 2014.

(Gambar 1). Pulau tersebut merupakan salah satu pulau terluar di Indonesia yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau dan telah mengalami abrasi sehingga berkurang luasnya (Geurhaneu dan Susantoro, 2016). Survei batimetri dilakukan pada 38 titik dengan 30 titik digunakan untuk analisis kanal-kanal Landsat 8 OLI dan 8 titik untuk validasi. Pengukuran batimetri dilakukan dari tanggal 14 – 28 Mei 2014. Data Landsat 8 OLI yang digunakan berasal dari <http://earthexplorer.usgs.gov> yang direkam pada tanggal 13 Mei 2014. Pada penelitian ini terdapat asumsi dimana pasang surut dan perbedaan perekaman

Landsat 8 OLI dianggap tidak berpengaruh signifikan terhadap kedalaman laut (batimetri).

Metode pengukuran batimetri

Metode yang digunakan untuk pengukuran batimetri adalah pemeruman menggunakan *singlebeam echosounder* yang terhubung dengan *Garmin GPSmap 2018* (Gambar 2) yang dilaksanakan pada tanggal 13-28 Mei 2014. Perekaman data kedalaman dilakukan secara grafis melalui alat perekam yang sudah terintegrasi. Transduser yang berfungsi ganda sebagai *source* maupun *receiver* dipasang di lambung kiri kapal,



a



b

Gambar 2. Sketsa cara pengukuran batimetri (a) dan alat perekamannya (b).

pada kedalaman 2 (dua) meter dari permukaan laut. Perekaman secara digital juga dilakukan pada *software* navigasi bersamaan dengan data posisinya untuk meningkatkan akurasi. Hasil data kedalaman selanjutnya dilakukan koreksi terhadap data pasang surut yang diukur bersamaan pada saat pengukuran batimetri. Koreksi tersebut dilakukan menggunakan titik acuan yang ditetapkan dalam hal ini dengan menggunakan *mean sea level* (MSL).

Pengolahan Landsat 8 OLI dan analisis kanal-kanalnya

Pengolahan data Landsat 8 OLI dilakukan sesuai prosedur pengolahan data penginderaan jauh untuk aplikasi sumber daya alam seperti yang dicontohkan oleh (Susantoro dkk., 2018) yang meliputi kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosferik menggunakan metode *the Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH). Langkah-langkah yang dilakukan meliputi konversi nilai digital tiap kanal ke nilai pantulan di atmosfer dan selanjutnya mengubah nilai pantulan tersebut sesuai dengan pantulan di permukaan bumi. Koreksi geometrik tidak dilakukan karena Landsat tersebut sudah terkoreksi secara sistematis sehingga posisinya selaras dengan kondisi di permukaan bumi sesuai dengan resolusi spasialnya (Li dkk., 2014).

Langkah selanjutnya untuk analisis kanal-kanal pada Landsat 8 OLI dilakukan dengan tahapan: (1) mengidentifikasi nilai digital setiap kanal Landsat 8 OLI pada masing-masing titik survei batimetri. Nilai digital data Landsat 8 OLI berkisar antara 0 – 1 (nilai 0 menunjukkan panjang gelombang diteruskan secara sempurna sehingga tidak ada pantulan, sedangkan 1 menunjukkan panjang gelombang dipantulkan secara sempurna); (2) melakukan analisis regresi linear untuk menentukan nilai koefisien determinasi (R^2) pada masing-masing kanal; (3) melakukan analisis regresi linear berganda menggunakan metode *best subset regression* untuk menentukan kombinasi kanal terbaik pada masing-masing variabel; (4) pembuatan algoritma pemetaan batimetri berdasarkan R^2 , R^2 (*adjusted*) dan Standar deviasi (S); (5) mengaplikasikan algoritma tersebut untuk memetakan batimetri menggunakan Landsat 8 OLI; (6) validasi hasil pemetaan batimetri pada beberapa titik sampel; dan (7) melakukan analisis hasil pemetaan batimetri.

Pada penelitian ini analisis kanal-kanal Landsat 8 OLI untuk pemetaan batimetri dilakukan pada 3 variasi kedalaman, yaitu (1) kedalaman 0 - 20 m, (2) kedalaman 0 - 25 m, dan

(3) kedalaman 0 – 50 m. Pemilihan variasi kedalaman dilakukan berdasarkan prinsip kemampuan panjang gelombang yang berbeda dalam menembus air. Panjang gelombang merah pantulannya semakin berkurang dengan cepat di dalam air, panjang gelombang biru dapat menembus lebih jauh dengan syarat air jernih sampai dasar laut. Kemampuan penetrasi tersebut tergantung dari kekeruhan air, partikel sedimen tersuspensi, fitoplankton dan senyawa organik terlarut (Green dkk., 1996). Hal ini dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian untuk menghasilkan persamaan linear terbaik untuk memetakan batimetri dan juga kedalaman optimum yang dapat dipetakan dengan Landsat 8 OLI. Selanjutnya adalah menghitung *Root Mean Squared Error* (RMSE) untuk mengkaji hasil algoritma yang digunakan dengan titik validasi yang ada. RMSE dirumuskan sebagai berikut:

$$RMSE = \left(\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right)^{1/2}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Batimetri

Kondisi cuaca selama pengukuran batimetri secara umum cerah dan panas, kecuali pengukuran pada titik sampel no 1 di selatan pulau Putri yang dilakukan pada saat gerimis. Suhu udara pada saat pengukuran berkisar antara 28 – 32,9°C. Pengukuran pH air laut pada saat pengukuran batimetri berkisar antara 7,94 – 8,68. Lokasi penelitian mempunyai tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dan mempunyai kecepatan arus sekitar 0,76 – 1,2 m/detik yang cenderung dipengaruhi oleh pasang surut (Geurhaneu dan Susantoro, 2016).

Hasil pengukuran batimetri pada 38 titik survei berkisar pada kedalaman antara 0,5 – 50 meter (Tabel 2). Hasil pengukuran tersebut dibedakan menjadi 3 kedalaman untuk menganalisis kedalaman optimal yang dapat dipetakan menggunakan Landsat 8 OLI, yaitu (1) kedalaman 0 – 20 meter dengan 17 titik batimetri, (2) kedalaman 0 – 25 meter dengan 19 titik batimetri termasuk didalamnya titik 0 -20 meter, dan (3) kedalaman 0 – 50 meter dengan 30 titik batimetri, termasuk didalamnya titik 0 – 20 meter dan titik 0 – 25 meter, serta 8 titik sampel untuk validasi hasil pemetaan dari Landsat 8 OLI. Pemilihan variasi kedalaman ini dilakukan berdasarkan kemampuan deteksi umum metode

Tabel 2. Hasil pengukuran batimetri pada 30 titik survei dan 8 titik untuk validasi.

No	cuaca	Koordinat UTM WGS 84, Zona 48		Kedalaman (m)	Suhu (°C)	Kriteria Kedalaman
		X (m)	Y (m)			
1	Gerimis	104078120	1200180	28	29,6	0 – 50m
2	Cerah	104083674	1204076	17	30,4	0 – 20m
3	Cerah	104087661	1209127	12	30,4	0 – 20m
4	Panas	104087642	1212538	32	30,5	0 – 50m
5	Panas	104082890	1212710	44	30,6	0 – 50m
6	Panas	104077012	1212728	34	30,6	0 – 50m
7	Panas	104073014	1209233	47	30,7	0 – 50m
8	Panas	104064550	1212790	38	31,9	0 – 50m
9	Panas	104059815	1209379	45	31,4	0 – 50m
10	Panas	104056608	1212413	48	31,3	0 – 50m
11	Panas	104056271	1204821	42	31,5	0 – 50m
12	Panas	104062966	1204700	38	31,6	0 – 50m
13	Panas	104060705	1200015	25	31,1	0 – 25m
14	Panas	104056712	1196234	15	30,7	0 – 20m
15	Panas	104056456	1192400	12	30,6	0 – 20m
16	Panas	104056316	1187061	9	30,4	0 – 20m
17	Panas	104060214	1185877	10	30,6	0 – 20m
18	Panas	104065435	1185944	13	30,5	0 – 20m
19	Panas	104066273	1192167	16	30,6	0 – 20m
20	Panas	104060612	1192097	14	30,7	0 – 20m
21	Panas	104068019	1196159	16	30,4	0 – 20m
22	Panas	104076371	1196145	24	30,5	0 – 25m
23	Cerah	104075295	1205918	11	31,2	0 – 20m
24	Panas	104069963	1204313	30	32,9	0 – 50m
25	Panas	104072252	1199778	11	31,4	0 – 20m
26	Panas	104079530	1208687	12	32,9	0 – 20m
27	Panas	104083556	1201441	13	32,3	0 – 20m
28	Panas	104081732	1196267	16	32,2	0 – 20m
29	Panas	104077070	1204530	0.5	28	0 – 50m
30	Panas	104077870	1203510	0.5	28	0 – 50m
Titik sampel untuk validasi						
1	Panas	104068710	1212540	50	31	
2	Panas	104065450	1209330	33	32,3	
3	Panas	104080538	1203238	11	32,7	
4	Panas	104073885	1203057	10	32,9	
5	Panas	104065846	1199894	19	31,5	
6	Panas	104062890	1196024	13	30,5	
7	Panas	104070381	1192181	12	30,9	
8	Panas	104075424	1191969	10	32,9	

pencitraan yang biasanya dibatasi hingga 20 m. Meskipun metode *Light Detection and Ranging* (LiDAR) mampu menghasilkan informasi batimetri yang akurat sampai kedalaman 70 m (Gao, 2009). Faktor lain yang menjadi pertimbangan adalah jumlah data dan kedalaman hasil survei batimetri yang telah diperoleh. Titik batimetri yang digunakan pada kajian ini 8 titik yang tersebar dari tepi pantai ke arah laut lepas (Gambar 1). Hasil pengukuran menunjukkan lokasi terdalam berada di utara pulau Putri ke arah laut lepas. Pada wilayah laut antara pulau Putri dan pulau Batam perairan terdalam di selatan pulau Putri, yaitu 28m.

Analisis Regresi pada Kanal-Kanal Landsat 8 OLI

Analisis regresi pada kanal tunggal menunjukkan bahwa kanal hijau merupakan kanal terbaik untuk pemetaan batimetri dengan $R^2 = 60,4\%$ pada kedalaman 0 – 20m, $R^2 = 40,3\%$ pada kedalaman 0 – 25m dan $R^2 = 15,2\%$ pada kedalaman 0 – 50m. Hasil ini sesuai dengan pendapat Lee dkk. (2011) dan Hakim dkk. (2018) yang menjelaskan bahwa kanal hijau (kanal 3) paling efektif untuk memetakan batimetri. Kemudian berturut-turut adalah kanal merah (kanal 4) dan kanal inframerah dekat (kanal 5). Adapun kanal biru kurang efektif dan mempunyai R^2 yang lebih rendah dibandingkan kanal hijau, kanal merah dan kanal inframerah dekat (Hakim dkk., 2018; Lee dkk., 2011). Namun berdasarkan analisis *best subset* menunjukkan bahwa pemetaan batimetri menggunakan kanal tunggal kurang efektif dibandingkan dengan kombinasi antar kanal. Maka pada penelitian ini optimalisasi melalui kombinasi kanal dilakukan untuk menghasilkan koefisien determinasi yang lebih baik sehingga diharapkan dapat memetakan batimetri dengan akurasi yang lebih baik.

Hasil analisis korelasi antara batimetri dengan kombinasi kanal pada Landsat 8 OLI yang dibedakan berdasarkan kedalaman 0 – 20m, 0 – 25m, dan 0 – 50m dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Pada kanal tunggal berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa kanal terbaik untuk pemetaan batimetri adalah kanal hijau. Koefisien determinasi (R^2) kanal hijau pada kedalaman 0 – 50m adalah 15,2%; kedalaman 0 – 25m adalah 40,3; dan kedalaman 0 – 20m adalah 60,4. Optimalisasi dengan kombinasi antar kanal perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi pemetaan batimetri. Hasil optimalisasi berdasarkan kombinasi berbagai

kanal untuk pemetaan batimetri pada kedalaman 0 – 20m diperoleh kanal terbaik, yaitu 2, 3, 5, dan 6 dengan koefisien determinasi (R^2) 85,4%. Pada kedalaman 0 – 25m dengan kanal yang terbaik untuk pemetaan batimetri adalah kanal 1, 3, 5, 6, dan 7 dengan R^2 75%. Pada kedalaman 0 – 50 m dengan kanal yang terbaik untuk pemetaan batimetri adalah kanal 1, 3, dan 4 dengan R^2 49,1%. Algoritma yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$Y1 (m) = 7,70 + 614 B2 - 541,0 B3 - 406 B5 + 520 B6 \dots\dots\dots (2)$$

$$Y2 (m) = (-4,16) + 793 B1 - 512,9 B3 - 569 B5 - 3836 B6 + 5450 B7(3)$$

$$Y3 (m) = 48,1 + 682 B1 - 3003 B3 + 3260 B4 \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

- Y1 = kedalaman 0 – 20m, Y2 = kedalaman 0 – 25m, Y3 = kedalaman 0 – 50m, B1 = kanal 1, B2 = kanal 2, B3 = kanal 3, B4 = kanal 4, B5 = kanal 5, B6 = kanal 6, dan B7 = kanal 7.

Analisis pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 menunjukkan nilai R^2 tertinggi tidak digunakan untuk model/algoritma pemetaan batimetri. nilai R^2 tertinggi tersebut merupakan bias akibat penambahan variabel bebas yang mengganggu model/algoritma dari kombinasi kanal tersebut (Kuiper dan College, 2008). Dijelaskan bahwa analisis pemilihan algoritma terbaik harus dilakukan juga dengan menganalisis nilai R^2 (adj) sebagai faktor untuk mengkoreksi bias dan standar deviasi (S) yang berhubungan dengan kesalahan model. Kombinasi kanal terbaik untuk menghasilkan model/algoritma dipilih harus berdasarkan berdasarkan nilai R^2 yang tinggi, R^2 (adj) tertinggi dan standar deviasi (S) terendah (Aranda dkk., 2012).

Pemetaan batimetri

Pemetaan batimetri telah dilakukan berdasarkan algoritma 2, 3, dan 4 yang diaplikasikan pada Landsat 8 OLI. Pada algoritma 2 menunjukkan ketelitian yang baik pada lokasi-lokasi dengan kedalaman 0 – 20m, tetapi tidak mengakomodir pada kedalaman dengan nilai di luar kisaran tersebut. Hal ini sesuai dengan penjelasan Legleiter dan Harrison (2019) dimana algoritma yang dibuat tidak memungkinkan untuk ekstrapolasi di luaran kisaran titik batimetri yang digunakan sebagai model. Analisis selanjutnya menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kedalaman maka ketelitian semakin rendah, yaitu

Tabel 3. Koefisien determinasi hasil analisis regresi pada kedalaman 0 – 50 meter.

No	Jumlah Variabel	R ² (%)	R ² (adj) (%)	Standar deviasi (S)	Kanal/Band							
					1	2	3	4	5	6	7	
1	1	0,1	0,0	14,340	X							
2	1	0,41	0	14,319		X						
3	1	15,2	12,1	13,217			X					
4	1	8,1	4,8	13,758				X				
5	1	6,1	2,8	13,904					X			
6	1	0,48	0,0	13,314						X		
7	1	0,1	0,0	14,338								X
8	2	39,8	35,3	11,337			X	X				
9	2	37,1	32,4	11,592			X		X			
10	3	49,1	43,2	10,624	X		X	X				
11	3	45,4	39,1	10,999			X	X	X			
12	4	49,6	41,5	10,781	X		X	X	X			
13	4	49,1	41,0	10,830	X		X	X				X
14	5	49,8	39,4	10,976	X		X	X	X	X		
15	5	49,8	39,3	10,981	X		X	X	X			X
16	6	49,9	36,8	11,205	X	X	X	X	X	X		
17	6	49,9	36,8	11,209	X	X	X	X	X			X
18	7	49,9	34,0	11,456	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabel 4. Koefisien determinasi hasil analisis regresi pada kedalaman 0 – 25 meter

No	Jumlah Variabel	R ² (%)	R ² (adj) (%)	Standar deviasi (S)	Kanal/Band							
					1	2	3	4	5	6	7	
1	1	2,68	0	6,15387	X							
2	1	9,45	4,12	5,93586		X						
3	1	40,3	36,8	4,8198			X					
4	1	37,3	33,6	4,9403				X				
5	1	1,58	0	6,18845					X			
6	1	1,54	0	6,18975						X		
7	1	0,18	0	6,23233								X
8	2	63,5	58,9	3,8867	X		X					
9	2	62,1	57,4	3,9576		X	X					
10	3	64,1	56,9	3,9791	X	X	X					
11	3	64	56,9	3,9818	X		X					X
12	4	72,9	65,1	3,5796	X		X			X	X	
13	4	70,5	62	3,7358		X	X			X	X	
14	5	75	65,4	3,5655	X		X		X	X	X	
15	5	73,6	63,4	3,6681	X	X	X			X	X	
16	6	75,1	62,6	3,7061	X	X	X		X	X	X	
17	6	75	62,5	3,7101	X		X	X	X	X	X	
18	7	75,1	59,2	3,8704	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabel 5. Koefisien determinasi hasil analisis regresi pada kedalaman 0 –20 meter

No	Jumlah Variabel	R ² (%)	R ² (adj) (%)	Standar deviasi (S)	Kanal/Band							
					1	2	3	4	5	6	7	
1	1	9,51	3,48	4,6948	X							
2	1	19,69	14,34	4,4230		X						
3	1	60,4	57,8	3,1059			X					
4	1	56,8	53,9	3,2449				X				
5	1	2,24	0,00	4,8799					X			
6	1	0,19	0,00	4,9307						X		
7	1	0,45	0,00	4,9243								X
8	2	81,6	79	2,1895		X	X					
9	2	81,1	78,4	2,2234	X		X					
10	3	83,7	79,9	2,1406		X	X			X		
11	3	83,3	79,5	2,1652		X	X					X
12	4	85,4	80,6	2,1065		X	X		X	X		
13	4	84,8	79,7	2,1548		X	X		X			X
14	5	86	79,6	2,1562		X	X		X	X		X
15	5	86	79,6	2,1569		X	X	X	X	X		
16	6	86,9	79	2,1903		X	X	X	X	X		X
17	6	86,3	78,1	2,2349	X	X	X		X	X		X
18	7	87,1	77,1	2,2861	X	X	X	X	X	X		X

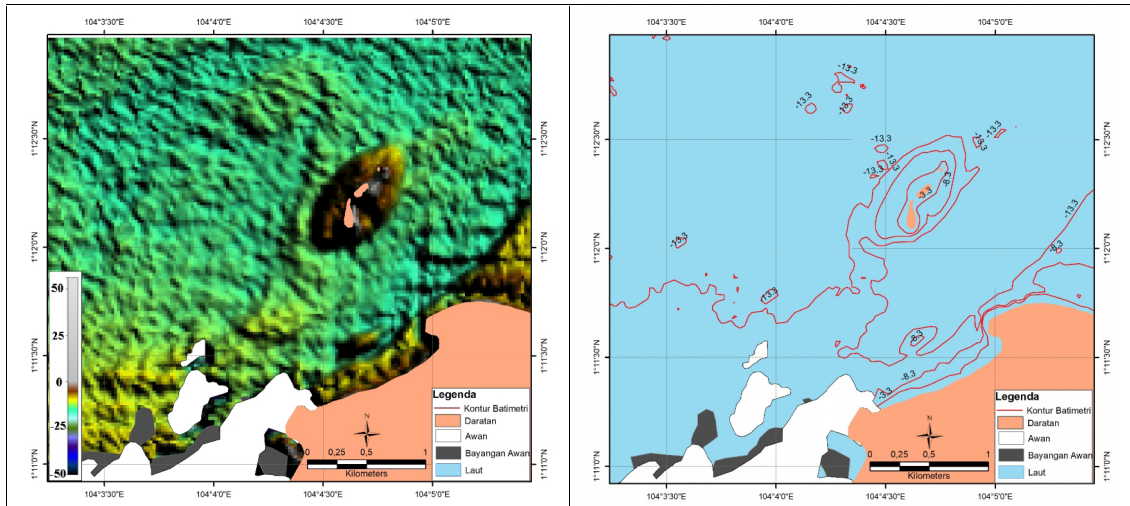
berdasarkan algoritma 3 dan 4. Kondisi ini dipengaruhi oleh sifat air yang apabila semakin dalam maka akan menyerap semua panjang gelombang dan semakin sedikit yang dipantulkan (Bakker dkk., 2004).

Pada algoritma 2 *error* terjadi pada lokasi dengan kedalaman lebih dari 20 meter dan algoritma 3 *error* terjadi pada lokasi lebih dari 25 meter. Adapun pada algoritma 4 *error* terjadi pada perairan yang dangkal dan di wilayah pantai. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dilakukan tumpang-susun (*overlay*) untuk menghasilkan peta batimetri. Hal ini dilakukan dengan membagi kedalaman perairan sesuai dengan kisaran algoritma yang ada sesuai dengan titik batimetri hasil pengukuran. Overlay dan mosaik dilakukan untuk mendapatkan peta batimetri yang lebih merepresentasikan kedalaman sebenarnya berdasarkan hasil pengukuran. Peta kedalaman berdasarkan hasil algoritma dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

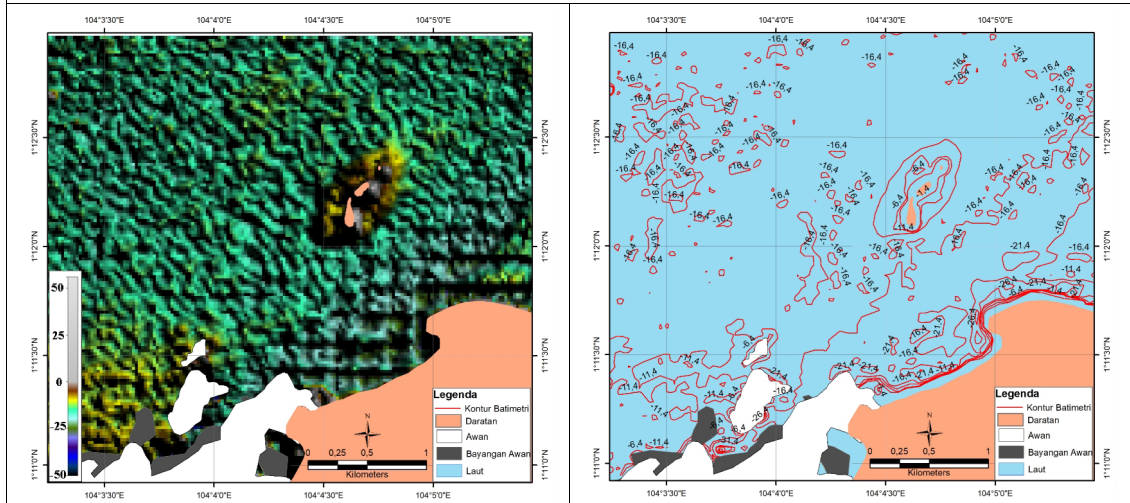
Analisis bias hasil pemetaan batimetri dilakukan dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). Analisis RMSE dilakukan pada algoritma 2, 3, dan 4 dengan referensi 8 titik

kedalaman yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan untuk menganalisis *error* pada algoritma tersebut (Tabel 2). Keakuratan algoritma ditentukan oleh adanya RMSE yang kecil, sehingga semakin kecil RMSE berarti algoritma tersebut semakin baik (Widayati, 2009). Hasil analisis menunjukkan bahwa algoritma 2 mempunyai RMSE terendah, yaitu 2,86 dan algoritma 4 mempunyai RMSE tertinggi, yaitu 14,50 untuk pemetaan seluruh lokasi kajian yang mempunyai kedalaman 0 – 50m. Algoritma e mempunyai RMSE yang masih tinggi, yaitu 14,33. Hal yang perlu menjadi perhatian adalah algoritma yang dihasilkan berdasarkan data lapangan tidak dapat mengakomodir nilai-nilai kedalaman diluar sampel yang dijadikan referensi tersebut (Legleiter dan Harrison, 2019). Hasil overlay peta yang dilakukan untuk mengurangi bias dengan mosaik hasil ketiga algoritma (2, 3, & 4) mempunyai RMSE 7,70. Kondisi batimetri yang dihasilkan secara umum lebih baik pada seluruh lokasi kajian. Perhitungan RMSE secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 6.

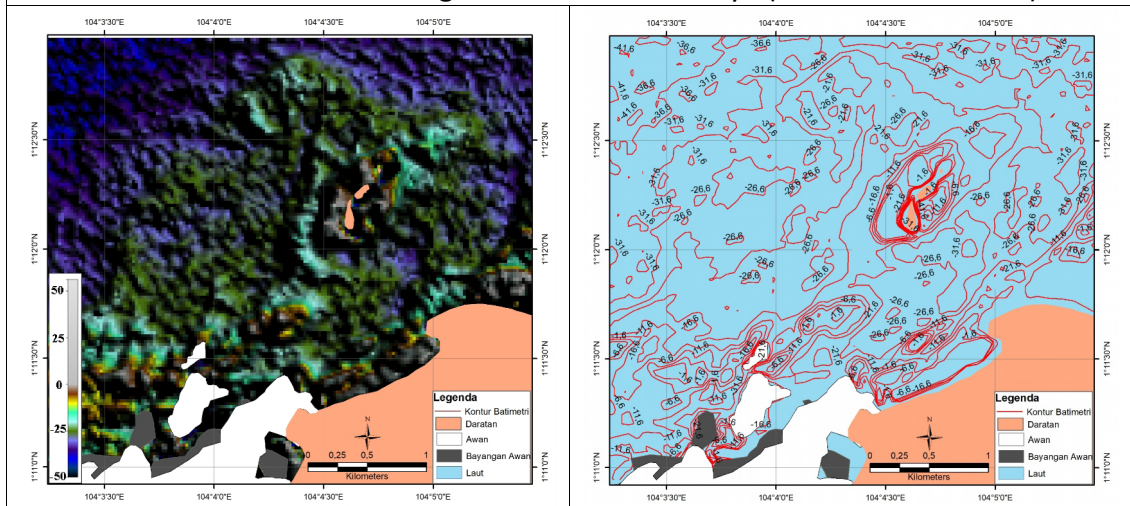
RMSE berdasarkan hasil validasi pada masing-masing algoritma yang sesuai kisaran kedalamannya menunjukkan algoritma 2 lebih baik



a. Peta batimetri hasil algoritma 2 dan konturnya (kedalaman 0 – 20m)

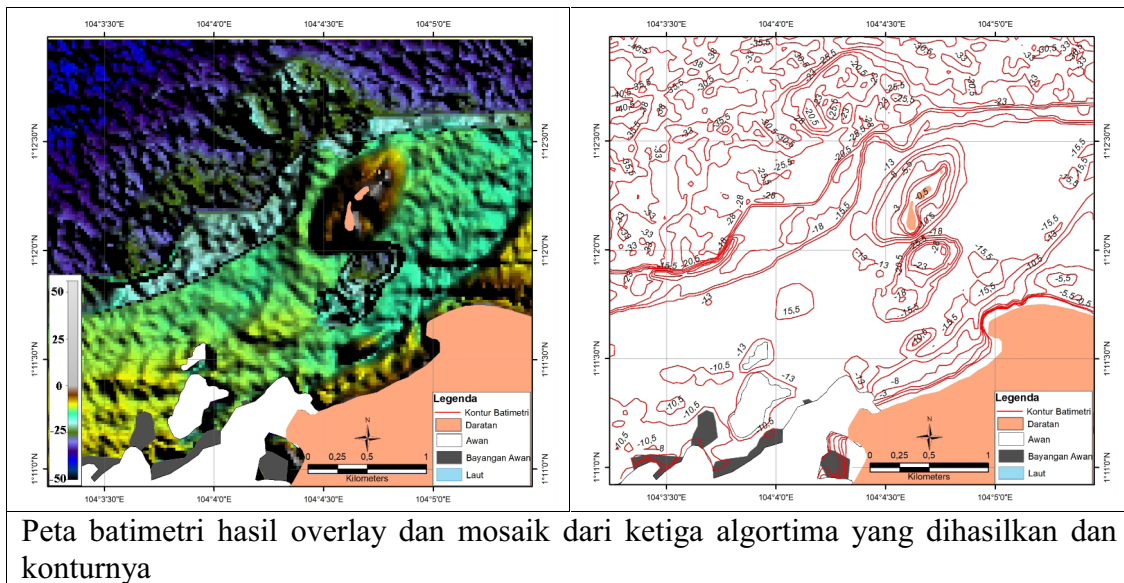


b. Peta batimetri hasil algoritma 3 dan konturnya (kedalaman 0 – 25m)



c. Peta batimetri hasil algoritma 4 dan konturnya (kedalaman 0 – 50m)

Gambar 3. Peta batimetri hasil algoritma 2, 3, 4 pada lokasi kajian.



Gambar 4. Peta batimetri hasil overlay dan mozaik dari ketiga algoritma (2, 3, 4) tersebut.

Tabel 6. Perhitungan RMSE pada hasil algoritma dengan data validasi.

No	Kedalaman Pengukuran (m)	Kedalaman Prediksi Hasil Algoritma							
		0 - 20m		0 - 25m		0 - 50m		overlay	
		Prediksi (a)	Error	Prediksi (b)	Error	Prediksi (c)	Error	(a+ b + c)	Error
1	50	14.53	35.47	15.19	34.81	29.44	20.56	29.54	20.46
2	33	14.71	18.30	15.25	17.75	31.12	1.88	32.59	0.41
3	11	13.14	-2.14	14.95	-3.95	19.33	-8.33	13.12	-2.12
4	10	12.85	-2.85	15.24	-5.24	19.65	-9.65	12.80	-2.80
5	19	14.26	4.74	15.46	3.54	27.68	-8.68	14.28	4.72
6	13	13.10	-0.10	15.51	-2.51	23.77	-10.77	13.36	-0.36
7	12	12.56	-0.56	15.80	-3.80	21.91	-9.91	13.23	-1.23
8	10	13.70	-3.70	18.84	-8.84	21.60	-11.60	14.40	-4.40
RMSE dari data validasi semua titik			14.33		14.50		11.25		7.70
RMSE dari data validasi sesuai kisaran data untuk algoritma			2.86		5.07		11.25		7.70

dibandingkan dengan algoritma 3 & 4. Kondisi ini dapat menjelaskan bahwa penggunaan data penginderaan jauh untuk pemetaan batimetri lebih optimum pada perairan dangkal. Adapun semakin dalam kondisi batimetri suatu perairan maka kemampuan data penginderaan jauh semakin berkurang. Faktor resolusi penginderaan jauh juga mempengaruhi ketelitian dari pemetaan tersebut. Pada penelitian ini digunakan Landsat 8 OLI dengan resolusi 30 m. Dijelaskan oleh Jian dkk., (2017) pemetaan batimetri mempunyai akurasi yang baik pada resolusi spasial 16 meter dan berkurang pada resolusi yang lebih tinggi (2 – 8 m) atau lebih rendah (32 m). Peluang terjadinya perbedaan data batimetri pengukuran lapangan dan data hasil algoritma dapat dipengaruhi oleh pasang surut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil eksperimen menunjukkan pemetaan batimetri menggunakan data Landsat 8 OLI lebih efektif dilakukan pada perairan dangkal yang kurang dari 20 meter. Meningkatnya kedalaman menyebabkan terjadinya kesalahan hasil algoritma semakin tinggi. Analisis koefisien determinasi berdasarkan regresi linear menunjukkan bahwa pemetaan batimetri menggunakan kanal tunggal yang terbaik adalah menggunakan kanal hijau dengan koefisien determinasi 60,4%. Namun demikian kombinasi beberapa kanal dapat meningkatkan akurasi dari pemetaan batimetri tersebut. Pada kombinasi kanal biru, hijau dan inframerah dekat 1 dan inframerah dekat 2

koefisien determinasi meningkat menjadi 85,4% pada kedalaman 0 – 20 m. Menurunnya akurasi pemetaan batimetri pada kedalaman lebih dari 20 meter dipengaruhi oleh sifat spektral pantulan air, dimana semakin dalam perairan maka cenderung menyerap semua panjang gelombang sehingga menyulitkan untuk pemetaan tersebut. Pembuatan algoritma menggunakan regresi linear untuk pemetaan batimetri sangat dipengaruhi oleh jumlah data yang ada dan kisaran datanya. Batimetri yang melebihi kisaran data yang digunakan untuk pembuatan algoritma dengan regresi linear tidak dapat dipetakan dengan algoritma tersebut. Faktor lain yang dapat mempengaruhi akurasi adalah kekeruhan air, partikel-partikel sedimen tersuspensi, fitoplankton, senyawa organik terlarut, dan adanya gelombang pecah

Saran

Pada pemetaan selanjutnya analisis pembuatan algoritme dengan menggunakan metode selain regresi linear perlu dilakukan untuk dapat menentukan metode pemetaan batimetri yang terbaik pada pemetaan batimetri dangkal. Harapannya akurasi dapat meningkat sehingga peranan data penginderaan jauh semakin berkembang baik untuk aplikasi di bidang kelautan khususnya pemetaan batimetri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Badan Litbang ESDM yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk melaksanakan penelitian di pulau terluar.

DAFTAR ACUAN

Aranda, A., Ferreira, G., Scarpellini, S., dan Sastresa, E. L. 2012. Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector, *Energy & Buildings*, 49, 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.040>

Bakker, W. H., Grabmaier, K. A., Huurneman, G. C., van der Meer, F. D., Prakash, A., Tempfli, K., Gieske, A. S. M., Hecker, C. A., Janssen, L. L. F., Parodi, G. N., Reeves, C. V., Weir, M. J. C., Gorte, ben G. H., Horn, J. A., Pohl, C., van Ruitenbeek, F. J., dan Wolday, T. 2004. *Principles of Remote Sensing*, (N. Kerle, L. L. F. Janssen, dan G. C. Huurneman, Ed.), Enschede, The Netherlands, The

International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 3 ed., 250.

- Gao, J. 2009. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations, *Progress in Physical Geography*, 33(1), 103–116. <https://doi.org/10.1177/0309133309105657>
- Geurhaneu, N. Y., dan Susantoro, T. M. 2016. Coastline Changes of Putri Island-Batam City Using Satellite Image Data Year 2000-2016, *Journal of Marine Geology*, 14(2), 79–90. <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.14.2.2016.276>
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., dan Clark, C. D. 1996. A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources, *Coastal Management*, 24(1), 1–40. <https://doi.org/10.1080/08920759609362279>
- Hakim, L., Lazuardi, W., Astuty, I. S., Hadi, A. Al, Hermayani, R., Noviandias, D., dan Dewi, A. C. 2018. Assessing WorldView-2 Satellite Imagery Accuracy for Bathymetry Mapping in Pahawang Island, Lampung, Indonesia, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences*, Yogyakarta, Indonesia, IOP Publishing, 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/165/1/012027>
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., dan Barsi, J. A. 2012. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission, *Remote Sensing of Environment*, 122, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Jagalingam, P., Akshaya, B. J., dan Hegde, A. V. 2015. Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery, *Procedia Engineering*, Elsevier B.V., 116, 560–566. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.326>
- Jian, L., Jie, Z., dan Yi, M. A. 2017. A spatial resolution effect analysis of remote sensing bathymetry, *Acta Ocean. Sin.*, 36(7), 102–109. <https://doi.org/10.1007/s13131-017-1088-x>
- Kuiper, S., dan College, G. 2008. Introduction to Multiple Regression: How Much Is Your Car Worth, *Journal of Statistic Education*, 16(3), 1–18. <https://doi.org/10.1080/10691898.2008.11889579>
- Lee, K. R., Kim, A. M., Olsen, R. C., dan Kruse, F. A. 2011. Determination of bottom-type and

- bathymetry using WorldView-2, *SPIE Proceedings Volume 8030, Ocean Sensing and Monitoring*, Orlando, Florida, United States, SPIE Digital Library, 8030, 1–14. <https://doi.org/10.1117/12.883578>
- Legleiter, C. J., dan Harrison, L. R. 2019. Remote sensing of river bathymetry: evaluating a range of sensors, platforms, and algorithms on the upper Sacramento river, California, USA, *Water Resources Research*, **55**(March), 1–28. <https://doi.org/10.1029/2018WR023586>
- Li, P., Jiang, L., dan Feng, Z. 2014. Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors, *Remote Sensing*, **6**(1), 310–329. <https://doi.org/10.3390/rs6010310>
- Lyzenga, D. R. 1985. Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data, *International Journal of Remote Sensing*, **6**(1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/01431168508948428>
- Pacheco, A., Horta, J., Loureiro, C., dan Ferreira, Ó. 2015. Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters, *Remote Sensing of Environment*, **159**, 102–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.004>
- Stumpf, R. P., Holderied, K., dan Sinclair, M. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types, *Limnology and Oceanography*, **48**(1, part 2), 547–556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- Susantoro, T. M., Wikantika, K., Saepuloh, A., dan Harsolumakso, H. A. 2018. Selection of Vegetation Indices for Mapping the Sugarcane Condition Around the Oil and Gas field of North West Java Basin, Indonesia, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences*, **149**(012001), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012001>
- Widayati, C. S. W. 2009. Komparasi Beberapa Metode Estimasi Kesalahan Pengukuran, *Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan*, **13**(2), 182–197.
- Yunus, A. P., Dou, J., Song, X., dan Avtar, R. 2019. Improved Bathymetric Mapping of Coastal and Lake Environments Using Sentinel-2 and Landsat-8 Images, *Sensors*, **19**(2788), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s19122788>