

# PEMETAAN HABITAT BENTIK MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 DI KEPULAUAN KEI, MALUKU TENGGARA

## Mapping On Benthic Habitat Using Sentinel-2 Imagery in Kei Islands, Southeast Maluku

La Ode Alifatri<sup>1\*</sup>, Agus Kusnadi<sup>1</sup>, Ahmad Ainarwawan<sup>2</sup>, Indarto Happy Supriyadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Oseanografi, Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta 14430, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Riset Laut Dalam, Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta 14430, Indonesia

\*Corresponding author, e-mail: laodealifatrii@gmail.com

### ABSTRACT

Research on benthic habitat mapping in the Kei Island was very limited. Therefore the spatial data availability of benthic habitat in this area is also very limited. The purposes of this study were to map the shallow water benthic habitats Kei island using Sentinel-2 image based on pixel-based classification method and to calculate the accuracy level of benthic habitat classification results. This research was conducted in the Kei Island waters around Kei Besar waters and it's surroundings. The study used satellite Sentinel-2 data with 10x10 m<sup>2</sup> spatial resolution acquired on 4 July 2019 and the field data were acquired in October 2019. Image classification that do was used with using Mahalanobis Distance Classification algorithm with input themathic layer from field data. The benthic habitat types were extracted using Lyzenga correction, giving three categories: coral, seagrass, and sand. Based on pixel method, benthic habitat can be mapped with the overall accuracy of 78,35%.

**Keywords:** benthic habitats, Kei Islands, mapping, Sentinel-2

### ABSTRAK

Penelitian pemetaan habitat bentik di Kepulauan Kei masih sangat sedikit dilakukan, sehingga ketersediaan data spasial habitat bentik di daerah ini sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan habitat bentik di perairan laut dangkal Kepulauan Kei menggunakan citra Sentinel-2 dengan metode klasifikasi berbasis piksel dan menghitung tingkat akurasi hasil klasifikasi habitat bentik. Penelitian ini dilaksanakan di perairan Kepulauan Kei, khususnya perairan Kei Besar dan sekitarnya. Penelitian ini menggunakan data satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10x10 m<sup>2</sup> yang diakuisisi pada tanggal 4 Juli 2019 dan pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Oktober 2019. Klasifikasi citra yang dilakukan, menggunakan algoritma *Mahalanobis Distance Classification* dengan *input themathic layer* dari data lapangan. Jenis habitat bentik diekstraksi dengan koreksi Lyzenga dan diklasifikasi ke dalam tiga kategori, yaitu karang, lamun, dan pasir. Berdasarkan metode berbasis piksel, habitat bentik dapat dipetakan dengan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 78,35%.

**Kata kunci:** habitat bentik, kepulauan kei, pemetaan, sentinel-2

### PENDAHULUAN

Kepulauan Kei memiliki perairan dengan keanekaragaman hayati laut yang tinggi dan termasuk dalam area Coral Triangle (Burke *et al.* 2006; Williams *et al.* 2017). Kepulauan Kei

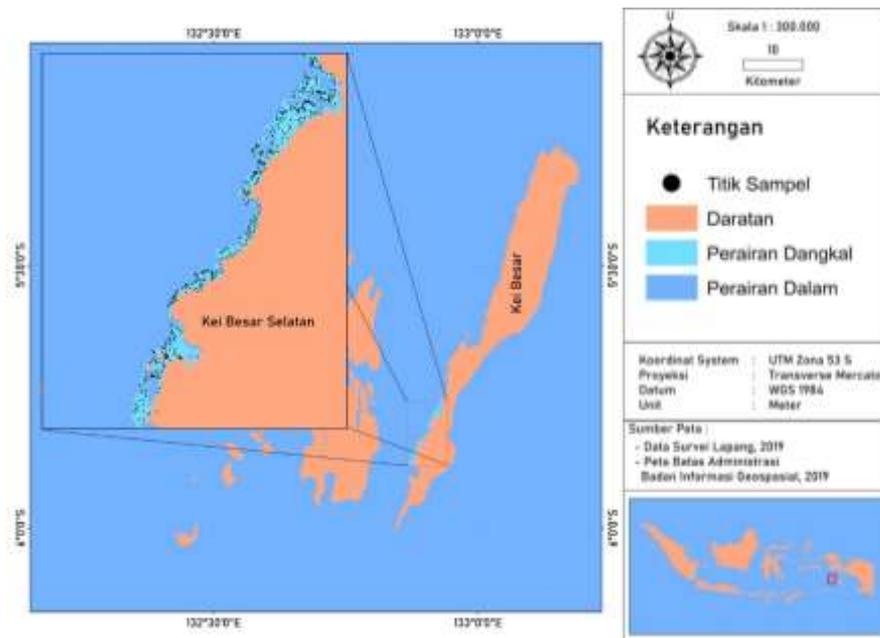
tersusun dari gugusan pulau-pulau yang berjumlah delapan pulau dengan dua pulau besar yaitu pulau Kei Kecil dan Kei Besar. Kompleksitas yang sangat tinggi di Kepulauan Kei menjadikan habitat bentik seperti karang dan lamun sebagai tempat hidup bagi berbagai jenis biota laut. Selain itu, keberadaan habitat bentik seperti habitat karang dan lamun di pesisir laut mampu memberikan manfaat bagi kawasan pesisir karena kemampuannya meredam dan mengurangi energi ombak dari gelombang air laut yang bisa berakibat terjadinya sedimentasi di perairan (Hemminga dan Duarte, 2000). Prawoto dan Hartono (2018), menjelaskan bahwa habitat karang dan lamun juga merupakan komponen penyusun yang sangat penting sebagai tempat pemijahan, tempat mencari makan, tempat tinggal biota laut, penjernih perairan, penyerap karbon, sumber material industri dan farmasi, serta pariwisata.

Namun demikian informasi sebaran dan luasan habitat bentik di Perairan Kei saat ini masih belum terpetakan dengan baik sehingga perlu dilakukan kajian untuk deteksi sebaran habitat bentik khususnya karang dan lamun. Informasi habitat bentik secara spasial dan temporal dapat diketahui melalui teknologi penginderaan jauh yang memanfaatkan berbagai sensor optik dari berbagai resolusi spasial, mulai dari resolusi rendah, sedang, dan tinggi (Dekker *et al.* 2005; Hedley *et al.* 2009; Yang *et al.* 2009). Pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh dalam menyediakan informasi secara spasial di kepulauan kei masih sedikit dilakukan, antara lain oleh Makailipessy dan Souisa (2015) melakukan pemetaan menggunakan citra Landsat dengan tingkat akurasi 67%. Sementara itu, Fauzi *et al.* (2020) melakukan pemetaan menggunakan algoritma klasifikasi *maximum likelihood classification* pada citra sentinel-2 dengan tingkat akurasi 66,3%. Sehingga ketersediaan data spasial habitat bentik di daerah ini cukup terbatas. Pemanfaatan data citra satelit dapat dijadikan sebagai alternatif utama dalam menyediakan data dan informasi spasial secara efektif dan efisien pada area yang luas dibandingkan pemetaan konvensional dengan pengamatan langsung di lapangan. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terkait pemetaan habitat bentik dengan penerapan metode berbasis piksel pada citra Sentinel-2 di lokasi penelitian. Selain itu dengan penerapan metode berbasis piksel diharapkan dapat mengklasifikasikan habitat bentik khususnya pada kompleksitas habitat yang tinggi dengan baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji tingkat akurasi citra Sentinel-2A pada algoritma *Mahalanobis Distance Classification* dalam memetakan habitat bentik serta mengetahui sebaran dan luasan habitat bentik di Kepulauan Kei.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat penelitian

Pengambilan data lapangan (*survei/ground thruth*) dilaksanakan pada bulan Oktober 2019 di Kepulauan Kei Besar Selatan, Maluku Tenggara. Area kajian yang dianalisis dipilih berdasarkan luas hamparan terumbu (*reef flat*) yang cukup representatif untuk dipetakan melalui citra Sentinel-2, yaitu seluas 7,87 km<sup>2</sup> (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- Peta Administrasi Kepulauan Kei 1 : 50.000
- Citra Satelit Sentinel-2 Akuisisi 4 Juli 2019
- Data *Ground thruth* (pasir, karang dan lamun)

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- Hardware dan Software (Laptop, ENVI 5.1 dan QGIS 3.8.3)
- GPS Map GARMIN 78S
- Alat Selam (Fins, Dive Booties, Kamera Underwater, Mask dan Snorkel)

### Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data pada penelitian ini terdiri atas dua tahap, yaitu pengumpulan data citra dan data lapangan. Data citra yang dikumpulkan merupakan Sentinel-2, yang diperoleh melalui situs ESA Copernicus melalui (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Citra satelit Sentinel-2 diakuisisi pada 4 Juli 2019 pada lembar perekaman 53 MKP. Citra Sentinel-2 yang diunduh dalam penelitian ini merupakan data Level 1C, yang telah terkoreksi secara geometrik. Sensor atau saluran citra yang digunakan adalah saluran sinar tampak (visible) dan inframerah dengan resolusi spasial 10 m, yaitu saluran 2 (biru), saluran 3 (hijau), saluran 4 (merah), dan saluran 8 (Inframerah). Sedangkan data lapangan, dikumpulkan dengan mengamati langsung secara visual dan dikombinasikan dengan menggunakan teknik foto transek kuadrat (Roelfsema & Phinn 2008; Siregar 2010; Phinn et al. 2011). Sampel yang diambil berupa gambaran objek yang direkam dalam bentuk foto menggunakan kamera bawah air. Sampel habitat bentik yang terekam di setiap foto, selanjutnya diinterpretasikan dan dikelompokkan mengikuti sistem klasifikasi dari penelitian-penelitian sebelumnya (Mumby 1999; NOAA 2005; Wicaksono et al. 2013; Hafizt 2015). Komponen habitat bentik yang didapatkan digunakan sebagai dasar dalam pembentukan skema klasifikasi habitat bentik di lokasi penelitian. Data habitat bentik yang diambil sebanyak 475 titik pengamatan, kemudian dibagi menjadi dua bagian, yaitu 136 titik sebagai acuan untuk proses klasifikasi citra dan 339 titik sisanya sebagai acuan untuk proses uji akurasi dari hasil klasifikasi citra.

Adapun analisis data pada penelitian ini meliputi analisis citra satelit dan pengukuran akurasi. analisis citra satelit dilakukan dengan menggunakan peranti lunak ENVI 5.1 dan

QGIS 3.8.3. Analisis diawali dengan melakukan koreksi citra menggunakan metode *dark object subtraction* (DOS). Kemudian diambil empat saluran band, yaitu saluran band 2 (biru), saluran band 3 (merah), saluran band 4 (hijau), dan saluran band 8 (inframerah dekat). Selanjutnya, melakukan kombinasi beberapa saluran band agar objek yang terekam pada citra semakin mudah dikenali dan dibedakan. Komposit yang digunakan yakni komposisi pewarnaan RGB (*Red-Green-Blue*), hal ini sesuai yang dikatakan oleh Prayudha (2014), bahwa pada analisis habitat bentik perairan laut dangkal, komposit yang digunakan adalah komposit warna *true color*, yaitu saluran merah-hijau-biru. Selanjutnya, dilakukan proses *masking* dan *cropping* sehingga hanya menyisakan area terumbu saja, yang bertujuan untuk menghilangkan efek wilayah daratan, perairan dalam, dan objek-objek lain yang tidak diperlukan dalam proses pengolahan citra. Setelah itu dilakukan proses koreksi kolom air dengan tujuan memperbaiki kualitas citra dengan cara mengurangi bahkan menghilangkan gangguan yang berada di kolom air seperti kedalaman perairan yang dapat memengaruhi nilai pantulan habitat/objek di dasar perairan. Green *et al.* (2000) menyebutkan bahwa semakin dalam perairan, maka semakin kecil nilai reflektans objek di setiap saluran tampak. Berikut persamaan koreksi kolom air yang digunakan :

$$Y = a + bX \quad (1)$$

Keterangan:

- $Y$  = Nilai ln reflektans saluran  $i$
- $a$  = Kemiringan
- $b$  = Nilai DII
- $X$  = Nilai ln reflektans saluran  $j$

Nilai kemiringan pada regresi linear sederhana sama dengan nilai nisbah pelemahan kolom air ( $K_i/K_j$ ) yang sebelumnya dibangun oleh Lyzenga (Lyzenga 1981; Green *et al.* 2000). Maka, persamaan koreksi kolom air dapat diturunkan menjadi persamaan berikut:

$$\frac{k_i}{k_j} = \alpha + \sqrt{(\alpha^2 + 1)} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{ii} - \sigma_{ij}}{2\sigma_{ij}} \quad (3)$$

$$DII = \ln(L_i) - \left[ \left( \frac{k_i}{k_j} \right) \cdot \ln(L_j) \right] \quad (4)$$

Keterangan:

- DII = Indeks invarian kedalaman
- $\sigma_{ii, jj}$  = Varian kanal  $i$ , atau kanal  $j$
- $\sigma_{ij}$  = Kovarian kanal  $ij$
- $L_i$  = Nilai digital pada kanal  $i$
- $L_j$  = Nilai digital pada kanal  $j$
- $k_i/k_j$  = Nisbah koefisien atenuasi pada kanal  $i$  dan  $j$

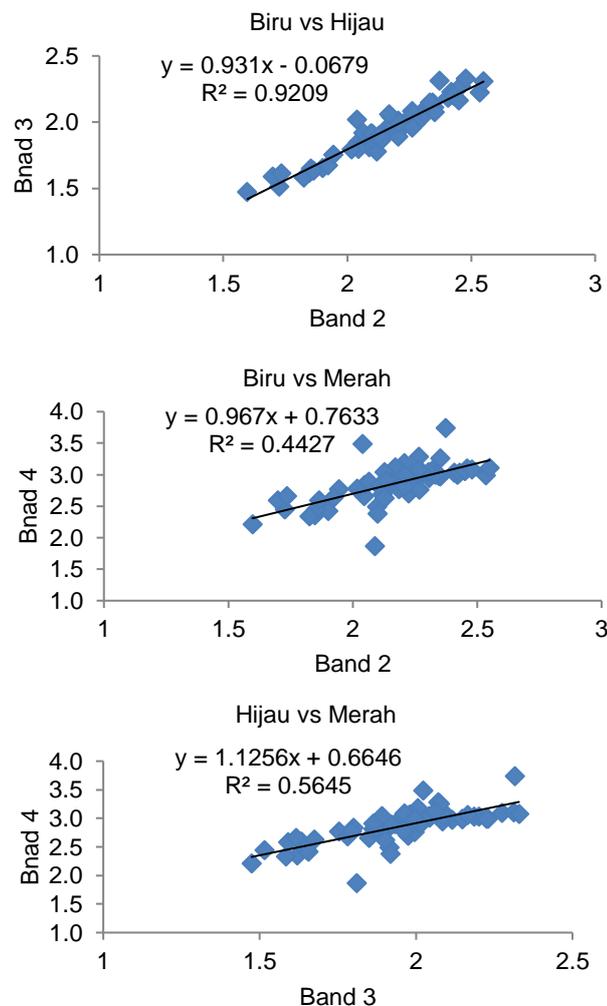
Hasil dari analisis koreksi kolom air, selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan kelas-kelas yang telah ditentukan sebelumnya. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *Mahalanobis Distance Classification* dengan *input thematic layer* atau *training area* dari data lapangan untuk mengklasifikasikan kelas habitat bentik.

Perhitungan nilai akurasi dilakukan terhadap citra hasil klasifikasi dari model algoritma *Mahalanobis Distance Classification* yang mengacu pada SNI 7716:2011 (BIG,

2014), yakni terdiri atas akurasi penghasil (*producer accuracy*), akurasi pengguna (*user accuracy*), akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), dan koefisien Kappa (*Khat*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi kolom air digunakan untuk memperbaiki kualitas citra. Nilai pelemahan sinar matahari yang menembus ke perairan dapat dicari dengan menentukan nilai varian dan kovarian dari data citra. Prayudha (2014) menjelaskan informasi dasar laut dapat ditentukan dari nilai koefisien atenuasi (pelemahan) kolom air antara saluran *i* dan *j* ( $k_i/k_j$ ). Nilai tersebut dapat diperoleh dari pemilihan ROI objek pasir (*training area*) dengan kedalaman yang berbeda. Tahap koreksi atenuasi pada koreksi citra diawali dengan pemilihan sampel pasir yang berada di kedalaman yang berbeda-beda dalam bentuk *region of interest* (ROI). Hubungan antara perbedaan kedalaman objek pasir dan kombinasi saluran yang telah dinormalisasi ( $\ln$ ) ditunjukkan dalam grafik regresi (Gambar 2). Setiap garis bi-plot mewakili satu habitat yang sama, yaitu habitat pasir, yang semakin ke arah kanan grafik yang berubah hanyalah kedalamannya.



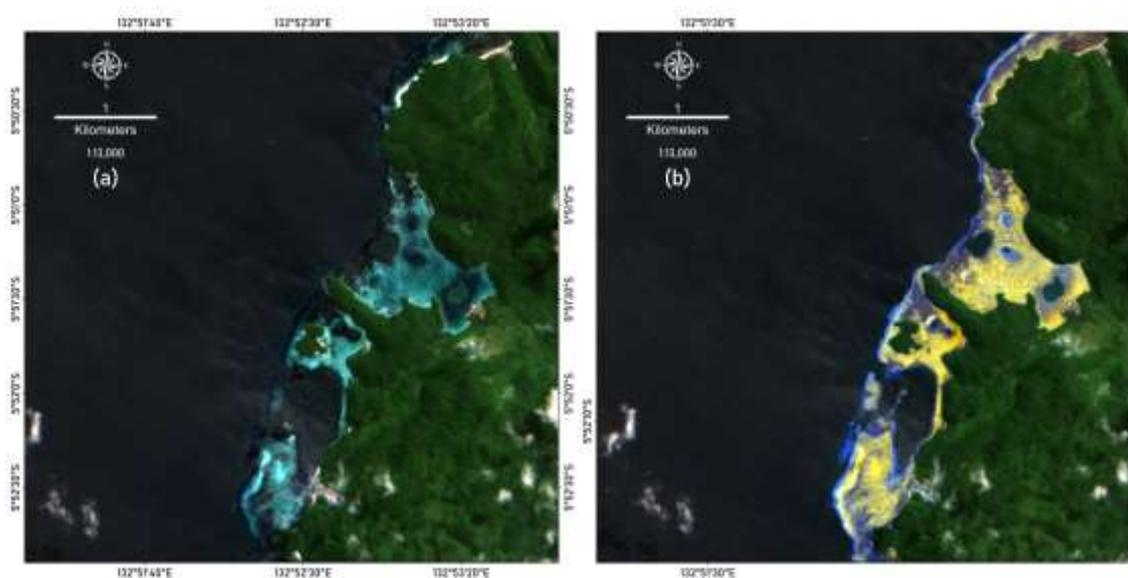
Gambar 2 Bi-plot transformasi ( $\ln$ ) saluran biru/hijau; saluran biru/merah; dan saluran hijau/merah.

Perairan yang jernih memiliki nilai pelemahan energi yang rendah. Algoritma pada Tabel 1 di transformasikan ke data citra untuk koreksi kolom air. Hasil koreksi kolom air tersebut akan digunakan untuk mengklasifikasikan habitat bentik.

Tabel 1 Nilai parameter persamaan koreksi kolom air pada setiap kombinasi saluran tampak dan bentuk persamaannya

Saluran kombinasi	Varians	Kovarians	$a$	$K_i/K_j$	Persamaan koreksi kolom air
Saluran biru-hijau	0,0405	0,0377	0,0315	1,0320	$\ln(B1)-(1.0320*\ln(B2))$
Saluran biru-merah	0,0382	0,0392	-0,5753	0,5784	$\ln(B1)-(0.5784*\ln(B3))$
Saluran hijau-merah	0,0856	0,0429	-0,5528	0,5898	$\ln(B2)-(0.5898*\ln(B3))$

Data citra yang telah dikoreksi kolom air dan yang belum terkoreksi memiliki perbedaan yang jelas. Perbedaan ini dapat dilihat secara visual dengan melihat perubahan warna pada objek yang sedang diindera (Gambar 3).

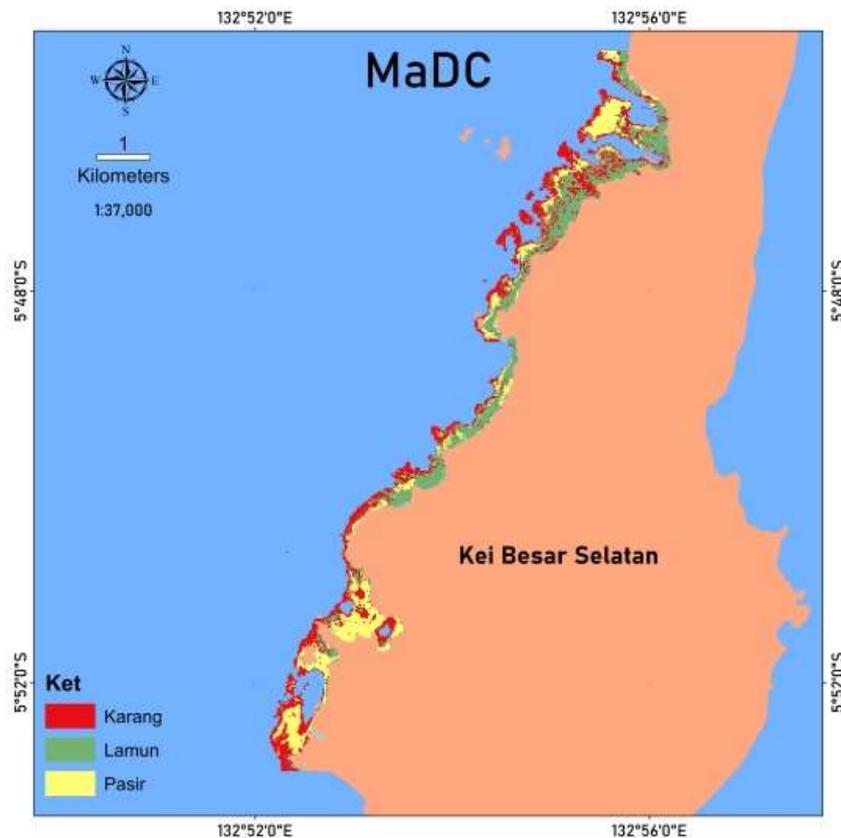


Gambar 3 Citra sebelum (a) dan sesudah (b) pengolahan Lyzenga.

Sensor citra yang mengenai kolom air akan memantulkan efek pantulan yang lebih gelap saat mengenai objek yang sama pada kedalaman yang berbeda. Prawoto & Hartono (2018) melaporkan bahwa pasir yang berada pada perairan yang lebih dalam akan cenderung memiliki warna lebih kebiruan dibandingkan dengan pasir yang terletak di perairan yang lebih dangkal. Adanya pengurangan intensitas cahaya akibat adanya peningkatan kedalaman (atenuasi) diduga menjadi penyebab terjadinya hal tersebut (Budhiman *et al.*, 2013). Panjang gelombang sensor citra pada band biru memiliki nilai atenuasi yang lebih kecil dibandingkan band merah. Hal ini menyebabkan band biru bisa menembus perairan yang lebih dalam dibandingkan band merah (Green *et al.*, 2000) Kode a dan b pada gambar 3 adalah objek pasir dengan kedalaman yang berbeda. Citra yang belum terkoreksi (a) menunjukkan pasir yang berada lebih dalam dengan warna yang cenderung kebiruan sedangkan pada citra yang terkoreksi (b) menunjukkan pasir dengan warna yang terang.

Berdasarkan hasil survei lapangan, secara umum interpretasi visual pada Gambar 3b adalah sebagai berikut. (1) Warna kuning mewakili habitat pasir yakni saat surut terendah kadangkala terekspos ke udara; (2) warna gelap mewakili habitat lamun; dan (3) warna biru mewakili habitat karang yang selalu terendam setiap saat. Jumlah habitat berbeda yang ada pada Gambar 3b selanjutnya diklasifikasi menggunakan metode klasifikasi berbasis piksel

dengan model algoritma *Mahalanobis Distance Classification* untuk mengklasifikasi habitat bentik. Hasil klasifikasi model algoritma yang diujikan dapat dilihat pada Gambar 4. Selanjutnya hasil klasifikasi dihitung akurasinya.



Gambar 4 Hasil klasifikasi habitat bentik model *Mahalanobis Distance Classification* (MaDC).

Secara visual hasil klasifikasi kelas habitat bentik dibatasi hanya terdiri atas tiga kelas, yaitu lamun, karang, dan pasir. Dapat dilihat bahwa habitat karang umumnya ditemukan di daerah sekitar tubir (*reef slope*) dan sebagian di daerah rataan terumbu, sedangkan habitat pasir dan lamun umumnya ditemukan di hamparan terumbu. Tipe terumbu karang yang ada di lokasi penelitian didominasi oleh terumbu karang tepi dengan rataan karang pendek dengan substrat pasir dan tumbuh patches serta memiliki aliran air yang cukup baik. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa luas tutupan habitat bentik menggunakan citra sentinel-2 yang diakuisisi bulan Juli 2019 didominasi oleh habitat karang seluas 296,86 ha, diikuti habitat lamun seluas 279,99 ha, dan habitat pasir seluas 204,56 ha.

Tabel 2 Luas tutupan jenis habitat setiap model klasifikasi

Model klasifikasi	Habitat	Luas (ha)
<i>Mahalanobis</i>	Karang	296,86
<i>Distance</i>	Lamun	279,99
<i>Classification</i> (MaDC)	Pasir	204,56

Pada pengukuran akurasi citra terklasifikasi (Gambar 4), digunakan 339 titik sampel dengan sebaran sampel merata (Gambar 1) dan menggunakan suatu matriks klasifikasi. Hasil

pengukuran akurasi yang terdiri atas akurasi penghasil, akurasi pengguna, akurasi keseluruhan (OA), dan koefisien Kappa (Khat) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Akurasi penghasil, akurasi pengguna, akurasi keseluruhan, dan koefisien Kappa (Khat)

Model algoritma	Akurasi penghasil (%)			Akurasi pengguna (%)			Akurasi keseluruhan (%)	K_hat
	Karang	Lamun	Pasir	Karang	Lamun	Pasir		
MaDC	73,41	77,05	87,07	79,87	69,12	87,07	78,35	0,67

Akurasi penghasil dan pengguna dari tiga tipe habitat terlihat berbeda. Secara umum memiliki nilai akurasi penghasil dan pengguna yang baik, yaitu lebih dari 65% dengan nilai tertinggi pada kategori pasir yakni 87,07%. Nilai akurasi pengguna pada kategori karang bernilai 79,87%, yang artinya mengindikasikan bahwa rata-rata 79,87% dari data piksel kategori karang hasil klasifikasi citra akan terkonfirmasi secara tepat di lapangan sebagai karang (Congalton 1991).

## KESIMPULAN

Habitat bentik perairan dangkal dapat dipetakan dengan baik menggunakan metode klasifikasi berbasis piksel dengan algoritma *Mahalanobis Distance Classification* (MaDC) pada citra Sentinel-2 di lokasi kajian. Hasil uji akurasi diperoleh akurasi keseluruhan (OA) untuk 3 kelas habitat bentik yaitu 78,35%. Dari hasil klasifikasi habitat bentik pada klasifikasi 3 kelas menunjukkan bahwa kelas karang mendominasi area perairan dangkal di lokasi penelitian dengan diperoleh luasan sebesar 296,86 Ha. Sedangkan kelas habitat bentik yang memiliki luas area terkecil yaitu didapatkan pada kelas pasir sebesar 204,56 Ha.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sumber data pada penelitian ini berasal dari program COREMAP-P2O LIPI. Penulis mengucapkan terima kasih atas izin penggunaan data tersebut. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan yang telah membantu selama proses pengambilan data di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Burke, L., Selig, E., & Spalding, M. (2006). Reefs at risk in Southeast Asia. World Resources Institute.
- Budhiman, S., Winarso, G., & Wikanti, A. (2013). Pengaruh Pengambilan Training Sample Substrat Dasar Berbeda Pada Koreksi Kolom Air Menggunakan Data Penginderaan Jauh (Effect of Training Sample of Different Bottom Substrates on Water Column Correction Using Remote Sensing Data). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 10(2), 83–91.
- Congalton RG. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 37: 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B).
- Dekker AG, Brando VE, Anstee JM. 2005. Retrospective seagrass change detection in a shallow coastal tidal Australian lake. *Remote Sensing of Environment*. 97: 415–433. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.02.017>.

- Fauzi, M. N., Fauzi, M. N., Iqbal, M., Amkieltiela, Faisal, K. F., Sulistyawan, B. S., Estradivari., & Handayani, C. N. (2020). Pemanfaatan Citra Sentinel 2a Untuk Pemetaan Distribusi Lamun di Kepulauan Kei Kecil Maluku Tenggara. *Seminar Nasional Geografi III*, 822–829.
- Green E, Edwards AJ, Clark C. 2000. Remote sensing handbook for tropical. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 12(1). 9–23.
- Green EP, Mumby PJ, Edwards AJ, Clark CD. 2000. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris. 316 hlm.
- Geospasial, B. I. (2014). Badan Informasi Geospasial : Peraturan Kepala Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengelolaan Geospasial Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal (Issue c). <https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2014.11.051>.
- Hemminga, M. A., & Duarte, C. M. (2000). *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.
- Hedley J, Roelfsema C, Phinn SR. 2009. Efficient radiative transfer model in-version for remote sensing applications. *Remote Sensing of Environment*. 113: 2527–2532. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.008>.
- Hafizt M. 2015. Inventarisasi habitat bentik menggunakan teknologi pengindraan jauh untuk mendukung program pengelolaan pesisir terpadu di Pulau Kemujan Kepulauan Karimunjawa. Fakultas Geografi, Yogyakarta. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012037>.
- Lyzenga DR. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*. 2: 71–82. <https://doi.org/10.1080/01431168108948342>.
- Mumby PJ et al. 1999 The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *Journal of Environmental Management*. 55: 157–166. <https://doi.org/10.1006/jema.1998.0255>.
- NOAA. 2005. Shallow-Water Benthic Habitats of American Samoa, Guam, and the Commonwealth of the Northern Mariana Islands. NOAA.
- Phinn S, Roelfsema C, Mumby P. 2011. Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*. 33(12): 3768–3797. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.633122>.
- Prawoto, C. D., & Hartono. (2018). Pemetaan Habitat Bentik dengan Citra Multispektral Sentinel-2a di Perairan Pulau Menjangan Kecil dan Menjangan Besar, Kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(3), 2–8.
- Prawoto, C. D., & Hartono. (2018). Pemetaan Habitat Bentik dengan Citra Multispektral Sentinel-2a di Perairan Pulau Menjangan Kecil dan Menjangan Besar, Kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(3), 2–8.

- Prayudha B. 2014. Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal. Page Suyarso, editor. COREMAP CTI LIPI, Jakarta (ID).
- Roelfsema C, Phinn S. 2008. Evaluating eight field and remote sensing approaches for mapping the benthos of three different coral reef environments in Fiji. *Remote Sensing of Inland, Coastal, and Oceanic Waters*. 7150(F): 1–14. <https://doi.org/10.1117/12.804806>.
- Siregar, V.P. 2010. pemetaan substrat dasar perairan dangkal karang congkak dan lebar Kepulauan Seribu menggunakan citra satelit quick bird. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(1):19-30. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v2i1.7860>.
- Wicaksono P, Hafizt M, Ardiyanto R. 2013. Initial results of remote sensing-based benthic habitat classification scheme development of Karimunjawa Islands. Hlm. 233. *Simposium Nasional Sains Geoinformasi III*. Yogyakarta (ID).
- Williams, S. L., Ambo-Rappe, R., Sur, C., Abbott, J. M., & Limbong, S. R. (2017). Species richness accelerates marine ecosystem restoration in the Coral Triangle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(45), 11986-11991.