

PEMETAAN HABITAT BENTIK BERBASIS PIXEL MENGGUNAKAN CITRA SPOT-7 DI PERAIRAN DESA PENGUDANG KABUPATEN BINTAN

Pixel-Based Benthic Habitat Mapping Using SPOT-7 Imagery in Pengudang Waters Bintan Regency

Indah Kartika^{1*}, Ulfatul Syahara¹, Esty Kurniawati¹, Dony Apdillah¹, Try
Febrianto¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas
Maritim Raja Ali Haji, Tanjung Pinang, Kepulauan Riau, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: indahkartika@umrah.ac.id

Diterima : 04 Mei 2025 / Disetujui : 14 Juni 2025

ABSTRACT

Benthic habitats, which are part of coastal areas, include coral reef and seagrass ecosystems, both of which are highly productive and vital for marine life. These ecosystems provide significant benefits in the form of environmental goods and services. Pengudang Village in Bintan Regency, Riau Islands Province, has diverse and healthy marine ecosystems, including seagrass and coral reef ecosystems. This area has been designated as a seagrass conservation zone and a tourist destination, but it faces ecosystem changes, including damage and loss, largely due to human activities. Therefore, mapping and monitoring benthic habitats are crucial to track these changes. SPOT-7 satellite imagery is used to observe these changes. Data collection was carried out from June 10, 2023, to January 15, 2024, with 250 observation points in Pengudang Village, Teluk Sebong District. This study uses the Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithm for image processing. The components of benthic habitats in the waters of Pengudang Village consist of six habitat types, namely Algae Mixed with Dead Coral (AKM), Dead Coral Mixed with Sand (KMP), Seagrass (L), Seagrass Mixed with Sand (LP), Sand (P), and Sand Mixed with Live Coral (PKH). The results of this study show significant changes in benthic habitat coverage over a 6-year period in the waters of Pengudang Village from 2016 to 2022. The overall accuracy (OA) of the classification is 65.33% for the 2016 imagery and 76% for the 2022 imagery. This mapping helps assess ecosystem conditions and provides insights into changes in the marine environment of the region.

Keywords: *Bintan, benthic habitat, MLC, Pengudang, SPOT-7 image*

ABSTRAK

Habitat bentik, yang merupakan bagian dari daerah pesisir, meliputi ekosistem terumbu karang dan lamun, keduanya sangat produktif dan vital bagi kehidupan laut. Ekosistem ini memberikan manfaat besar dalam bentuk barang dan jasa lingkungan. Desa Pengudang di Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau, memiliki ekosistem laut yang beragam dan sehat, termasuk ekosistem lamun dan terumbu karang. Wilayah ini telah ditetapkan sebagai kawasan konservasi lamun dan daerah wisata, namun menghadapi perubahan ekosistem, termasuk kerusakan dan kehilangan, yang sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia. Oleh karena itu, pemetaan dan pemantauan habitat bentik sangat penting untuk melacak perubahan yang terjadi. Citra satelit SPOT-7 digunakan untuk mengamati perubahan ini. Pengumpulan data dilakukan dari 10 Juni

2023 hingga 15 Januari 2024, dengan 250 titik observasi di Desa Pengudang, Kecamatan Teluk Sebong. Penelitian ini menggunakan algoritma *Maximum Likelihood Classification* (MLC) untuk pemrosesan citra. Komponen penyusun habitat bentik di perairan Desa Pengudang terdiri dari enam jenis habitat yaitu Alga bercampur dengan Karang Mati (AKM), Karang Mati bercampur dengan Pasir (KMP), Lamun (L), Lamun bercampur dengan Pasir (LP), Pasir (P), dan Pasir bercampur dengan Karang Hidup (PKH). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan yang signifikan dalam tutupan habitat bentik dalam kurun waktu 6 tahun di perairan Desa Pengudang dari tahun 2016 hingga 2022. Overall Accuracy (OA) dari hasil klasifikasi adalah 65,33% untuk citra tahun 2016 dan 76% untuk citra tahun 2022. Pemetaan ini membantu untuk menilai kondisi ekosistem dan memberikan wawasan tentang perubahan lingkungan laut di wilayah tersebut.

Kata kunci : Bintang, citra SPOT-7, Desa Pengudang, habitat bentik, MLC

PENDAHULUAN

Habitat bentik merupakan bagian dari wilayah pesisir dengan dua ekosistem, yaitu terumbu karang dan lamun, yang memiliki tingkat produktivitas yang tinggi. Ekosistem ini sangat penting untuk mendukung kehidupan di perairan dan memberikan manfaat lingkungan yang tinggi untuk barang dan jasa (Yasir *et al.* 2019). Habitat bentik memiliki banyak manfaat, baik secara ekologis maupun ekonomis bagi kehidupan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil.

Desa Pengudang di Kecamatan Teluk Sebong, Kabupaten Bintang, Kepulauan Riau, memiliki ekosistem laut yang baik meliputi lamun, terumbu karang, dan mangrove. Kawasan ini ditetapkan sebagai wilayah konservasi lamun dan wisata bahari (Jadesta 2023). Meski demikian, ekosistem mengalami perubahan, baik dari segi luas maupun kerusakan, yang sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembangunan pesisir, penangkapan ikan berlebih, dan polusi (Nugraha *et al.* 2019). Perubahan tersebut berdampak terhadap habitat bentik seperti padang lamun dan terumbu karang serta substrat lainnya yang berperan dalam menjaga ekosistem laut serta fungsi perlindungan pantai (Unsworth *et al.* 2019; Darling *et al.* 2019; James *et al.* 2019). Pemantauan habitat bentik secara konvensional menghadapi kendala aksesibilitas, biaya dan cakupan yang luas (Rozen *et al.* 2018; Abbas *et al.* 2023). Teknologi penginderaan jauh menawarkan solusi dengan data spasial dan temporal yang luas sehingga pemetaan habitat bentik dapat dilakukan lebih cepat, akurat, dan efisien. (Hedley *et al.* 2016; Lyons *et al.* 2021). Penerapan teknologi ini sangat penting dalam mendukung upaya pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan (Guldborg *et al.* 2019; Vitousek *et al.* 2023).

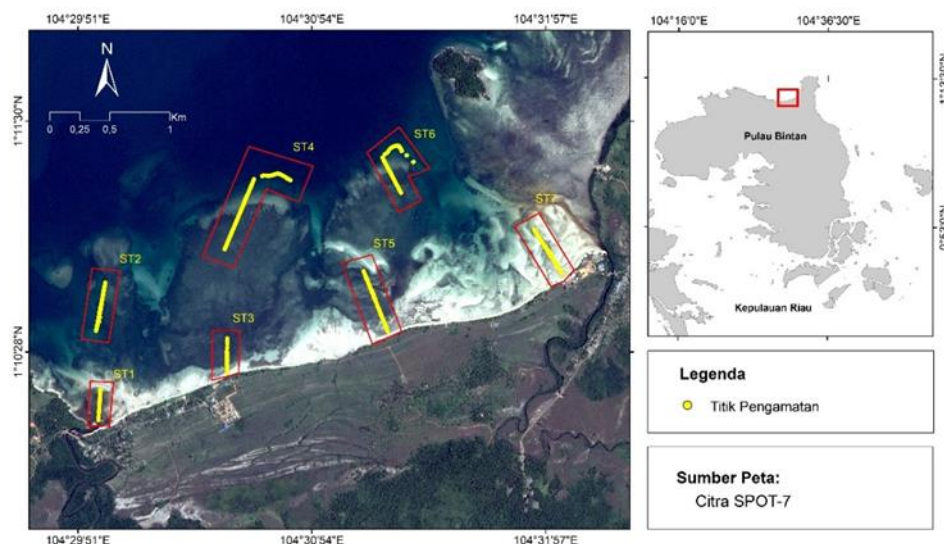
Berbagai studi menunjukkan efektivitas citra satelit dalam pemetaan ekosistem laut (Prastyani & Basith 2019; Rondonuwu *et al.* 2021; Nababan *et al.* 2021; Wicaksono *et al.* 2021; Pirasteh *et al.* 2024). Putra *et al.* (2023) memetakan ekosistem lamun di Desa Pengudang menggunakan citra Sentinel-2A. Sementara itu, Astaman *et al.* (2021) menggunakan citra SPOT-7 untuk memetakan habitat dasar di Pulau Nusa Lembongan. Penelitian-penelitian ini menegaskan pentingnya citra resolusi tinggi dalam mendeteksi perubahan ekosistem secara akurat. Salah satunya adalah citra SPOT-7, yang memiliki empat saluran multispektral dengan resolusi 6 meter serta satu pankromatik beresolusi 1,5 meter (Prabowo *et al.* 2018).

Citra resolusi tinggi seperti ini memungkinkan peta berskala lokal yang lebih detail dan representatif (Balcik & Kazucu 2016).

Penelitian ini memetakan habitat bentik di perairan Desa Pengudang menggunakan citra SPOT-7 dengan algoritma *Maximum Likelihood Classification* (MLC). MLC merupakan metode berbasis piksel yang menghitung probabilitas kelas berdasarkan statistik sampel area (Lillesand dan Kiefer 1979). Metode ini telah digunakan dalam berbagai penelitian dengan hasil akurasi yang memadai (Astaman et al. 2021; Alifatri et al. 2022). Keberhasilan klasifikasi dipengaruhi oleh kualitas data pelatihan, jumlah kelas, dan band spektral yang digunakan sehingga integrasi citra satelit resolusi tinggi dengan teknik klasifikasi canggih dapat secara signifikan meningkatkan akurasi dan keandalan pemetaan habitat bentik (Wicaksono et al. 2019). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan habitat bentik di perairan Desa Pengudang menggunakan citra SPOT-7 dan algoritma MLC, serta menilai tingkat akurasi hasil klasifikasi guna memperoleh informasi spasial yang akurat sebagai dasar pengelolaan sumber daya pesisir secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

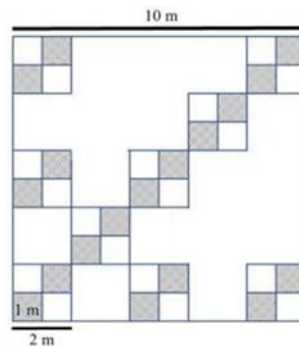
Pengumpulan data dan pengolahan data dilakukan pada 10 Juni 2023 - 15 Januari 2024. Pengumpulan data dilakukan di Desa Pengudang, Kecamatan Teluk Sebong, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau (Gambar 1) dengan 250 titik observasi yang tersebar di setiap stasiun masing-masing terdiri dari 17, 33, 17, 65, 41, 44, dan 33. Kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data yang dilakukan di laboratorium OCM (Oceanography, Computation, and Modeling) Universitas Maritim Raja Ali Haji.



Peta lokasi penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup Global Position System (GPS), underwater camera, alat selam, transek kuadrat 1mx1m, sabak, dan citra SPOT-7. Adapun pengumpulan data habitat bentik dilakukan menggunakan metode systematic random sampling dengan jarak antar titik 15 meter. Observasi dilakukan melalui dokumentasi foto bawah air menggunakan

kuadrat transek $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ berwarna mencolok agar terlihat jelas di bawah air (English et al. 1997; Roelfsema & Phinn 2008). Di setiap lokasi diambil 7–9 foto untuk merepresentasikan komposisi habitat benthik. Analisis tutupan dilakukan menggunakan perangkat lunak Coral Point Count with Excel extensions (CPCe) (Kohler & Gill 2006).



Gambar 2. Penempatan kuadrat transek

Analisis Data

a) Kategori Tutupan Habitat Benthik

Analisis tutupan habitat benthik dilakukan menggunakan perangkat lunak CPCe (Coral Point Count with Excel extensions) pada foto kuadrat transek $1\text{ m} \times 1\text{ m}$. Metode ini menerapkan model *uniform grid* dengan 30 titik acak untuk mengklasifikasikan kategori tutupan (Kohler dan Gill 2006). Hasil identifikasi digunakan untuk menghitung tutupan habitat dan indeks keanekaragaman Shannon-Weaver. Kategori tutupan yang dianalisis mencakup karang hidup, karang mati, *rubble*, alga, lamun, dan pasir. Persentase tutupan dihitung menggunakan rumus berikut Giyanto *et al.* (2014):

$$L = \frac{\sum L_i}{N} \times 100\%$$

Di mana, L (Persentase habitat benthik); L_i (Jumlah titik dalam kategori tersebut); dan N (Jumlah titik acak)

b) Analisis AHC (*Agglomerative Hierarchical Clustering*)

Data hasil analisis CPCe kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC)*. AHC dilakukan dengan algoritma *unweighted pair-group average* dan indeks *dissimilarity Bray-Curtis*, menghasilkan dendrogram dan skema klasifikasi habitat. Penelitian ini menggunakan ambang *dissimilarity* sebesar 0,4 dan menghasilkan 4 hingga 7 kluster. Perhitungan indeks *dissimilarity* dilakukan dengan rumus berikut (Sneath dan Sokal 1973):

$$\frac{1}{|A| \cdot |B|} \sum_{x \in A} \sum_{y \in B} d(x, y)$$

Di mana, A dan B (set atau cluster); d (jarak rata-rata); dan x,y (jarak rata-rata).

Klasifikasi Citra

Penelitian ini menggunakan algoritma *Maximum Likelihood Classification* (MLC) untuk klasifikasi citra berbasis piksel dalam pemetaan habitat benthik. Algoritma ini memanfaatkan data lapangan sebagai input lapisan tematik, dengan kemampuan membandingkan dan merata-ratakan nilai berbagai sampel (Lillesand dan Kiefer 1979).

$$P(i|x) = \frac{P(x|i)P(i)}{P_x}$$

Di mana, $P(i|x)$ (probabilitas bersyarat dari suatu kelas i , dihitung dengan asumsi bahwa vektor x tidak bersyarat); $P(x|i)$ (adalah probabilitas bersyarat dari suatu vektor x , dihitung terhadap kelas yang tidak bersyarat); dan $P(i)$ (probabilitas munculnya suatu kelas i dari suatu citra).

Uji Akurasi

Validasi hasil klasifikasi citra dilakukan menggunakan *confusion matrix*. Proses ini membandingkan hasil klasifikasi citra dengan kelas yang ditemukan di lapangan. Kategori akurasi meliputi *User Accuracy* (UA), *Producer Accuracy* (PA), *Overall Accuracy* (OA), dan *Kappa Accuracy*. Nilai akurasi minimum mengacu pada SNI 7716:2011 ($\geq 60\%$) untuk pemetaan habitat benthik di perairan dangkal (LIPI 2014). Akurasi keseluruhan antara data klasifikasi penginderaan jauh dan data referensi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Overall Accuracy (OA)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ii}}{N} \times 100\%$$

$$\text{User Accuracy (UA)} = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100\%$$

$$\text{Producer Accuracy (PA)} = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100\%$$

$$\text{Kappa accuracy} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \times 100\%$$

Dimana, n adalah jumlah baris pada matriks, N adalah jumlah pengamatan, x_{ii} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke- i dan baris ke- i , dan x_{ij} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke- j dan baris ke- j .

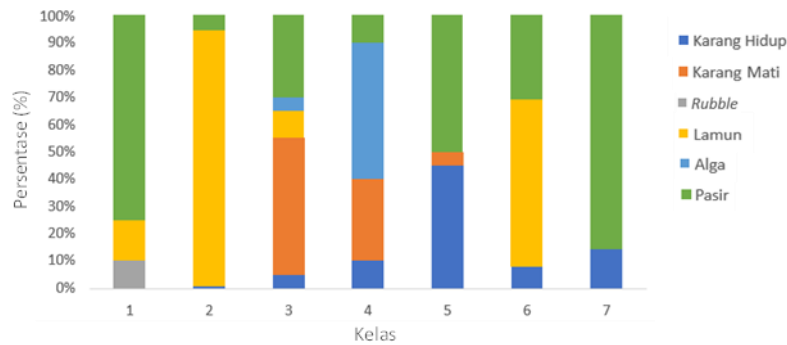
HASIL DAN PEMBAHASAN

Skema Klasifikasi

Hasil menunjukkan bahwa habitat benthik yang mendominasi adalah pasir, diikuti oleh lamun, pasir karang mati, dan pasir yang ditutupi alga. Analisis kluster Bray-Curtis menghasilkan tujuh kelas habitat (Gambar 3). Metode AHC menunjukkan efektivitasnya dalam membedakan jenis habitat berdasarkan ciri spektral dan data lapangan, meningkatkan pemahaman tentang distribusi habitat benthik dan dapat digunakan untuk membuat peta habitat benthik yang rinci dari area penelitian (Zhang *et al.* 2013).

Hasil analisis tutupan habitat benthik dipengaruhi oleh jumlah *dissimilarity*, karakteristik data, dan pemilihan *cluster* (Sender *et al.* 2022). Namun, tidak ada ketentuan baku dalam menentukan nilai *dissimilarity* untuk klasifikasi, karena

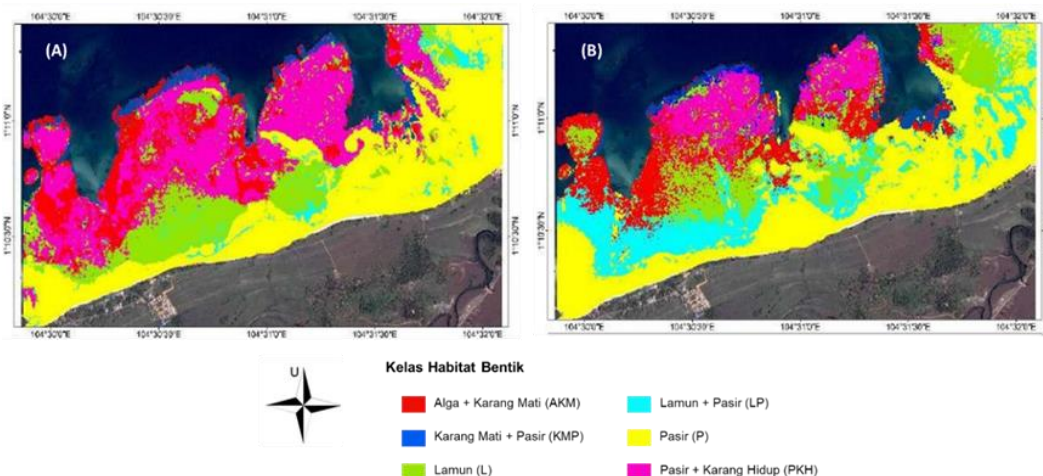
hasilnya tergantung pada jenis citra satelit dan variasi kondisi lokasi penelitian (Green et al. 2000).



Gambar 3. Persentase tutupan kelas habitat bentik berdasarkan hasil analisis AHC

Klasifikasi Habitat Bentik

Hasil klasifikasi menunjukkan perubahan yang nyata pada tutupan habitat bentik di perairan Desa Pengudang sejak tahun 2016-2022 (Gambar 4). Enam kelas tutupan habitat bentik, yaitu Alga bercampur dengan Karang Mati (AKM), Karang Mati bercampur dengan Pasir (KMP), Lamun (L), Lamun bercampur dengan Pasir (LP), Pasir (P) dan Pasir bercampur dengan Karang Hidup (PKH). Adapun luasan area untuk setiap kelas habitat disajikan pada Tabel 1. Tabel 2. Rata-rata kadar logam berat Fe pada ikan sepat (*Trichogaster trichopterus*) di Sungai Miai dibandingkan dengan Baku Mutu



Gambar 4. Hasil klasifikasi habitat bentik untuk (A) 2016 dan (B) 2022

Tabel 1 menunjukkan habitat Alga bercampur dengan Karang Mati (AKM) mengalami sedikit penurunan dari 40 Ha (2016) menjadi 38 Ha (2022). Sebaliknya, habitat Karang Mati bercampur dengan Pasir (KMP) meningkat dari 74 Ha (2016) menjadi 85 Ha (2022), kemungkinan karena perubahan ekosistem dan akumulasi fragmen karang mati yang bercampur dengan pasir. Habitat Lamun (L) menunjukkan peningkatan yang signifikan, dari 25 Ha (2016) menjadi 46 Ha (2022). Peningkatan ini didorong oleh penetapan Desa Pengudang sebagai kawasan konservasi lamun dan desa ekowisata sejak 2017, yang mendorong partisipasi masyarakat dalam pelestarian lingkungan (Melayu Pedia, 2017). Selain

itu, habitat Lamun bercampur dengan Pasir (LP) menunjukkan pertumbuhan yang paling menonjol, meningkat dari 46 Ha (2016) menjadi 112 Ha (2022). Di sisi lain, Pasir (P) mengalami penurunan yang signifikan, menurun dari 345 Ha (2016) menjadi 242 Ha (2022). Penurunan tutupan pasir diduga akibat transisi beberapa area menjadi habitat lamun dan habitat Pasir bercampur dengan Karang Hidup (PKH) dari 62 Ha (2016) menjadi 69 Ha (2022). Perubahan luasan ini dapat dikaitkan dengan tekanan lingkungan, termasuk polusi, sedimentasi, dan aktivitas manusia (Putra *et al.* 2023).

Tabel 1. Luasan habitat bentik perairan Pengudang tahun 2016 dan 2022

Kelas Habitat	Luas (Ha)	
	2016	2022
AKM	40	38
KMP	74	85
L	25	46
LP	46	112
P	345	242
PKH	62	69
Total	592	

* Alga Karang Mati (AKM); Karang Mati Pasir (KMP); Lamun (L); Lamun Pasir (LP); Pasir (P); Pasir Karang Hidup (PKH).

Perubahan habitat bentik dari 2016 hingga 2022 menunjukkan variasi di setiap stasiun. Stasiun 1 mengalami perubahan dari PKH menjadi P, sedangkan Stasiun 2 berubah dari AKM menjadi PKH. Stasiun 3 dan 5 sama-sama bergeser dari L ke LP, sementara Stasiun 4 tetap stabil pada kelas PKH. Di Stasiun 6, terjadi peralihan dari KMP ke PKH meskipun hanya sebagian kecil area yang terdampak, dan Stasiun 7 berubah dari P menjadi LP.

Uji Akurasi

Hasil klasifikasi habitat bentik pada tahun 2016 menunjukkan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 65,33%, dan 76,00% pada tahun 2022. Tingkat akurasi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil uji akurasi klasifikasi citra pada tahun 2016.

Kelas Habitat	P	L	KMP	AKM	PKH	LP	Total	UA
P	14	2	1	1	3	4	25	56,00
L	1	8	1	1	1	1	13	61,54
KMP	0	0	8	0	3	0	11	72,73
AKM	0	0	0	9	0	0	9	100,00
PKH	0	1	0	0	6	0	7	85,71
LP	2	1	1	1	1	4	10	40,00
Total	17	12	11	12	14	9	75	
PA	82,35	66,67	72,73	75,00	42,86	44,44	OA	65,33

Akurasi klasifikasi berbasis piksel menggunakan algoritma MLC lebih tinggi pada 2022 dibanding 2016, dengan selisih 10%. *User Accuracy* (UA) tertinggi pada kedua tahun dicapai oleh kelas AKM (100%), sedangkan terendah oleh LP (40%) di 2016 dan Pasir (S) (60%) di 2022. *Producer Accuracy* (PA)

pada 2016 tertinggi pada Pasir (P) (82,35%) dan terendah pada PKH (42,86%), sementara pada 2022 tertinggi oleh KMP (90%) dan terendah oleh LP (53,85%). Koefisien kappa meningkat dari 57,85% (2016) menjadi 70,69% (2022). Nilai PA ini menunjukkan seberapa baik berbagai jenis habitat diklasifikasikan relatif terhadap kejadian aktualnya di lapangan. Koefisien kappa hasil klasifikasi habitat bentik pada tahun 2016 sebesar 57,85% dan 70,69% pada tahun 2022. Hasil ini menyoroti efektivitas algoritma MLC dan memperkuat pentingnya terus menyempurnakan metodologi klasifikasi.

Tabel 3. Hasil uji akurasi klasifikasi citra pada tahun 2022

Kelas Habitat	P	L	KMP	AKM	PKH	LP	Total	UA
P	15	1	1	2	1	5	25	60,00
L	1	11	0	0	0	1	13	84,62
KMP		0	9	1	1	0	11	81,82
AKM	0	0	0	9	0	0	9	100,00
PKH	0	1	0	0	6	0	7	85,71
LP	1	1	0	0	1	7	10	70,00
Total	17	14	10	12	9	13	75	
PA	88,24	78,57	90,00	75,00	66,67	53,85	OA	76,00

Meskipun OA tahun 2022 lebih tinggi dibanding 2016, peningkatan ini tidak sepenuhnya mencerminkan tren temporal, melainkan dipengaruhi oleh perbedaan akuisisi data dan kondisi lingkungan yang memengaruhi nilai spektral. Hal ini sejalan dengan temuan sebelumnya bahwa akurasi klasifikasi sangat bergantung pada metode yang digunakan, resolusi spasial citra, serta kondisi perairan saat pengambilan data (Kartika et al. 2022; Rahmani et al. 2022).

Hasil uji akurasi menunjukkan adanya misklasifikasi pada kedua citra. Pada citra 2016, kelas P memiliki *User Accuracy* (UA) rendah (56,00%) karena banyak sampel yang salah terklasifikasi ke kelas LP (4 titik), meskipun *Producer Accuracy* (PA) nya mencapai 82,35%. Kelas LP juga mengalami masalah serupa dengan UA 40,00% (hanya 4 titik benar dari 10 observasi), menunjukkan kesulitan membedakannya dari kelas lain, terutama di area perairan dengan karakteristik tumpang tindih (Hossain et al., 2019). Pada citra 2022, akurasi secara umum lebih baik, meskipun kelas P masih memiliki UA relatif rendah (60,00%) dengan 5 sampel salah terklasifikasi sebagai LP, mengindikasikan bahwa adanya kesulitan dalam membedakan antara kelas P dan LP.

Hasil uji akurasi dipengaruhi oleh resolusi citra, jumlah titik sampel, dan kondisi lingkungan. Hal ini diperkuat oleh penelitian Alfatri et al. (2022) yang memperoleh akurasi 74,45% menggunakan citra Sentinel-2A di Kepulauan Kei, sementara Ratnaningsih (2021) mencapai 82,27% dengan citra SPOT-7 di Karimunjawa. Temuan ini menunjukkan efektivitas algoritma MLC dalam klasifikasi habitat bentik, meskipun tantangan tetap ada dalam membedakan habitat dengan karakteristik spektral serupa. Untuk meningkatkan presisi, penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan integrasi teknik seperti OBIA (*Object-Based Image Analysis*) dan *machine learning*.

KESIMPULAN

Habitat bentik di perairan Desa Pengudang berhasil dipetakan secara spasial dengan baik menggunakan metode klasifikasi berbasis piksel dengan algoritma *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Pemetaan Habitat Bantik di Desa Pengudang memperoleh 6 kelas klasifikasi, yaitu Alga bercampur dengan Karang Mati (AKM), Karang Mati bercampur dengan Pasir (KMP), Lamun (L), Lamun bercampur dengan Pasir (LP), Pasir (P), dan Pasir bercampur dengan Karang Hidup (PKH). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan yang signifikan dalam tutupan habitat bentik dalam kurun waktu 6 tahun di perairan Desa Pengudang dari tahun 2016 hingga 2022. Akurasi keseluruhan (OA) dari klasifikasi adalah 65,33% untuk citra tahun 2016 dan 76% untuk citra tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas A, Zhang Z, Zheng H, Alami M. M, Alrefaei AF, Abbas Q, Naqvi SAH, Rao MJ, Mosa WFA, Abbas Q, Hussain A, Hassan, MZ, & Zhou L. 2023. Drones in Plant Disease Assessment, Efficient Monitoring, and Detection: A Way Forward to Smart Agriculture. *Agronomy*, 13(6), 1524. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061524>
- Alifatri LO, Prayudha B, Anggraini K. 2022. Klasifikasi Habitat Bantik Berdasarkan Citra Sentinel-2 di Kepulauan Kei, Maluku Tenggara. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences/Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(3). DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.27.3.372>
- Astaman IDMKP, Karang IWGA., & Gede I. 2021. Pemetaan Habitat Dasar Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit SPOT-7 di Pulau Nusa Lembongan, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 7(2), 184-195. DOI: <http://10.24843/jmas.2021.v07.i02.p07>
- Bektas Balcik F and Karakacan Kuzucu A. 2016 Determination of Land Cover/Land Use Using SPOT 7 Data with Supervised Classification Methods, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W1, 143–146, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-143-2016>
- Darling ES, McClanahan TR, Maina J. et al. 2019. Social–environmental drivers inform strategic management of coral reefs in the Anthropocene. *Nature Ecology & Evolution* 3, 1341–1350. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0953-8>
- English S, Wilkinson C, & Baker V. 1997. *Survey manual for tropical marine resources*. In Townsville Australian Institute of Marine Science (Vol. 390)
- Giyanto MAE, Abrar M, Siringoringo RM, Suharti SR, & Wibowo K. 2014. *Panduan Monitoring Kesehatan Terumbu Karang*. Jakarta: CTI - LIPI.
- Green EP, Mumby PJ, Edwards AJ, & Clark CD. 2000. *Remote Sensing Handbook for Topical Coastal Management*. Paris (FR): UNESCO Pub.O
- Hedley JD, Roelfsema CM, Chollett I, Harborne AR, Heron SF, Weeks S, Skirving WJ, Strong AE, Eakin CM, Christensen TRL, Ticzon V, Bejarano S, & Mumby PJ. 2016. Remote Sensing of Coral Reefs for Monitoring and Management: A Review. *Remote Sensing*, 8(2), 118. <https://doi.org/10.3390/rs8020118>

- Hossain MS, Muslim AM, Nadzri MI, Sabri AW, Khalil I, Mohamad Z & Beiranvand Pour A. 2019. Coral habitat mapping: a comparison between maximum likelihood, Bayesian and Dempster–Shafer classifiers. *Geocarto International*, 36(11), 1217-1235. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1637466>
- Jadesta. 2023. DesaWisataPengundang.https://jadesta.kemenparekraf.go.id/desa/_pengundang [diakses 21:15 WIB. 7 Agustus 2023]
- James R K, Silva R, van Tussenbroek BI, Escudero-Castillo M, Mariño-Tapia I, Dijkstra H A, van Westen R M, Pietrzak JD, Candy AS, Katsman CA, van der Boog CG, Riva REM, Slobbe C, Klees R, Stapel J, van der Heide T, van Katwijk MM, Herman PMJ, & Bouma TJ. 2019. Maintaining tropical beaches with seagrass and algae: A promising alternative to engineering solutions. *BioScience*, 69(2), 136–142. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy154>
- Kartika I, Siregar VP, Panjaitan JP, Nurdin N. 2022. Klasifikasi Habitat Bentik Perairan Laut Dangkal di Pulau Barrang Caddi dengan Pendekatan OBIA Menggunakan Citra Sentinel-2 dan SPOT- 7 dengan Penerapan Algoritma Bayesian dan K-Nearest Neighbor. *Majalah Ilmiah Globe*. 24:99-111.
- Kohler KE & Gill SM. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32(9). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.009>
- Lillesand TM & Kiefer RW. 1979. *Remote Sensing Image Interpretation*. JHON WILLEY & Sons
- LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia). 2014. *Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal*. Jakarta, Indonesia.
- Nababan B, Mastu LOK, Idris NH, & Panjaitan JP. 2021. Shallow-Water Benthic Habitat Mapping Using Drone with Object Based Image Analyses. *Remote Sensing*, 13(21), 4452. <https://doi.org/10.3390/rs13214452>
- Nugraha AH, Srimarian ES, Jaya I, & Kawaroe M. 2019. Sturcture of Seagress Ecosystem at Teluk Bakau Village, East Bintan Indonesia, *Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 8(2):87-96. DOI: <http://10.13170/depik.8.2.13422>
- Pirasteh S, Mafi-Gholami D, Li H, Fang Z, Nouri-Kamari A, & Khorrami B. 2024. Precision in mapping and assessing mangrove biomass: Insights from the Persian Gulf coasts. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128, 103769. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103769>
- Prabowo NW, Siregar VP, & Agus SB. 2018. Klasifikasi Habitat Bentik Berbasis Objek dengan Algoritma Support Vector Machines dan Decision Tree Menggunakan Citra Multispektral SPOT-7 di Pulau Harapan dan Pulau Kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* Vol. 10 No. 1, Hlm. 123-134, April 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.21670>
- Prastyani R & Basith A. 2019. Deteksi tumpahan minyak di Selat Makassar dengan penginderaan jauh sensor aktif dan pasif. *ELIPSOIDA: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 2(1), 88–94. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2019.4864>
- Putra RD, Handayani RP, Idris F, Suhana MP, & Nugraha AH. 2023. Pemetaan Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Citra Sentinel 2A Tahun 2018 Dan

- Tahun 2020 Di Perairan Desa Pengudang, Pulau Bintan. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3), 403-412. DOI: <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i3.52800>
- Rahmani E, Karang IWGA, Nurweda P, Nyoman ID. 2022. Pemetaan Habitat Benthik Menggunakan Citra Sentinel-2A dan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) di Perairan Pemuteran, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.24843/JMRT.2022.v05.i01.p06>.
- Ratnaningsih A. 2021. Pemetaan Persentase Tutupan Terumbu Karang Menggunakan Citra Satelit SPOT 7 di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa [Doctoral dissertation]. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada).
- Rondonuwu AB, Lamentik LTX, Bataragoa NE, & Wahidin N. 2021. Shallow water habitat mapping with unmanned aerial vehicle (UAV) technology in Serena Island, Bitung city, North Sulawesi, Indonesia. *AACL Bioflux*, 14(6), 3460-3468
- Sneath PHA and Sokal RR. 1973. *Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification*. Numerical taxonomy, 573.
- Unsworth RKF, McKenzie LJ, Collier CJ, Cullen-Unsworth LC, Duarte CM, Eklöf JS, Jarvis JC, Jones BL, & Nordlund LM. 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1115-y>
- Vitousek S, Buscombe D, Vos K, Barnard PL, Ritchie AC, & Warrick JA. 2023. The future of coastal monitoring through satellite remote sensing. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, 1, e10. <https://doi.org/10.1017/cft.2022.4>
- Wicaksono P, Aryaguna PA, & Lazuardi W. 2019. Benthic Habitat Mapping Model and Cross Validation Using Machine-Learning Classification Algorithms. *Remote Sensing*, 11(11), 1279. <https://doi.org/10.3390/rs11111279>
- Wicaksono P, Wulandari SA, Lazuardi W, & Munir M. 2021. Sentinel-2 images deliver possibilities for accurate and consistent multi-temporal benthic habitat maps in optically shallow water. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100572. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100572>
- Yasir HLOM & Fujii M. 2019. Assessing Economic Values of Coral Reefs in the Pangkajene and Kepulauan Regency, Spermonde Archipelago, Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 23(3), 699-711. DOI: <http://10.1007/s11852-019-00700-3>
- Zhang C, Selch D, Xie Z, Roberts C, Cooper H, & Chen G. 2013. Object based benthic habitat mapping in the Florida Keys from hyperspectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 134(June 2018), 88–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.018>

