

Pemetaan Habitat Benthik Menggunakan Citra Sentinel-2a dengan Algoritma Maximum Likelihood Classification di Desa Pengudang

Esty Kurniawati*, Dony Apdillah, Jumi Safitri

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jl. Raya Dompok, Dompok, Kec. Bukit Bestari, Kota Tanjung Pinang, Kepulauan Riau 29115 Indonesia
Corresponding author, e-mail: estykurniawati@umrah.ac.id

ABSTRAK: Desa Pengudang merupakan salah satu desa pesisir yang terdiri dari 3 ekosistem unggul, yaitu ekosistem mangrove, ekosistem lamun, dan ekosistem terumbu karang. Ekosistem di daerah tersebut pernah mengalami ancaman, seperti konservasi lahan, pencemaran, dan degradasi habitat yang berdampak terhadap ekosistem perairan salah satunya habitat benthik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan menganalisis perubahan luasan habitat benthik pada tahun 2018 dan 2023 menggunakan citra Sentinel-2A dengan algoritma maximum likelihood classification dengan lapisan tematik dari data lapangan. Pengumpulan data dilakukan pada tanggal 10-11 Juni 2023 di perairan Desa Pengudang, Bintan. Algoritma klasifikasi MLH menghasilkan peta habitat benthik dengan 6 kelas tutupan. Berdasarkan hasil penelitian menggunakan citra Sentinel-2A dengan algoritma klasifikasi MLH menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 61,33% pada tahun 2018 dan 70,67% pada tahun 2023 dengan total luasan sebesar 562 ha.

Kata kunci: Citra Sentinel-2A; Habitat Benthik; *Maximum Likelihood Classification*

Mapping Benthic Habitat Using Sentinel-2a Imagery with Maximum Likelihood Classification Algorithm In Pengudang Village

ABSTRACT: *Pengudang Village is one of the coastal villages that consists of 3 superior ecosystems, namely mangrove ecosystems, seagrass ecosystems, and coral reef ecosystems. Ecosystems in the area have experienced threats, such as land conservation, pollution, and habitat degradation, which have an impact on aquatic ecosystems, one of which is benthic habitat. Therefore, this study aims to map and analyze changes in benthic habitat areas in 2018 and 2023, using Sentinel-2A images with the maximum likelihood classification algorithm with thematic layers from field data. Data collection was conducted on June 10-11, 2023, in the waters of Pengudang Village, Bintan. The MLH classification algorithm produces benthic habitat maps with 6 cover classes. Based on the results of research using Sentinel-2A images with the MLH classification algorithm, the overall accuracy was 61.33% in 2018 and 70.67% in 2023, with a total area of 562 ha.*

Keywords: *Sentinel-2A Image; Benthic Habitat; Maximum Likelihood Classification*

PENDAHULUAN

Desa Pengudang merupakan salah satu desa pesisir yang terletak di Bintan Utara Kabupaten Bintan. Wilayah pesisir Desa Pengudang kaya akan keanekaragaman hayati, terdiri dari tiga ekosistem penting, yaitu ekosistem mangrove, ekosistem lamun, dan ekosistem terumbu karang. Ekosistem tersebut berperan penting bagi kehidupan masyarakat Desa Pengudang, baik dari segi ekonomi, sosial maupun lingkungan. Adanya ekosistem tersebut menjadikan Desa Pengudang sebagai kawasan konservasi dan pariwisata. Namun, ekosistem pesisir di daerah ini pernah menghadapi ancaman akibat dari adanya tumpahan minyak dan aktivitas manusia seperti transportasi laut dan pembangunan kelong (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut, 2019; Sjafrie, 2018). Kondisi ini sangat berdampak terhadap ekosistem yang ada di perairan

tersebut salah satunya adalah habitat bentik.

Habitat bentik merupakan zona atau lingkungan tempat hidup bagi bentos atau organisme perairan yang hidup pada substrat dasar suatu perairan (BIG, 2017). Anggoro *et al.*, 2018 mengatakan bahwa Habitat bentik memiliki berbagai fungsi penting bagi ekosistem laut. Pertama, habitat ini menyediakan sumber makanan bagi berbagai spesies, serta tempat bertelur dan pemijahan bagi biota laut. Selain itu, habitat bentik melindungi garis pantai dari gelombang, mencegah erosi, dan membantu menstabilkan sedimen di dasar laut. Habitat ini juga berperan dalam penjernihan air dengan menyaring partikel, serta menyerap karbon dioksida untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Selain itu, banyak organisme bentik menjadi bahan baku untuk industri dan farmasi, dan keindahan habitat ini menarik minat wisatawan, berkontribusi pada sektor pariwisata. Organisme penyusun habitat bentik antara lain lamun, spons, dan alga (Anggoro *et al.*, 2018). Tipe substrat yang ditemukan di habitat bentik meliputi pasir, lumpur, dan fragmen karang (Mastu *et al.*, 2018). Informasi tentang sebaran ekosistem penyusun perairan dangkal saat ini menjadi kajian sangat penting untuk menggambarkan kondisi perairan dangkal di suatu wilayah secara spasial dan temporal. Informasi tersebut dapat diperoleh dengan memanfaatkan citra satelit penginderaan jauh.

Penginderaan jauh (remote sensing) adalah teknologi yang memungkinkan pengamatan objek tanpa kontak langsung. Teknologi ini banyak digunakan untuk mengidentifikasi objek di permukaan Bumi, baik di wilayah daratan maupun perairan (Amelia dan Darmansyah, 2023). Penginderaan jauh menjadi pilihan yang efisien karena mampu menghemat tenaga, waktu, dan biaya dalam proses pengumpulan data. (Prawoto & Hartono, 2018). Salah satu teknologi yang dimanfaatkan untuk memetakan habitat bentik adalah citra satelit. Citra Sentinel-2A merupakan satelit sensor optik multispektral yang dapat digunakan untuk pemetaan habitat bentik karena memiliki resolusi spasial yang cukup tinggi (10 m) (Lasquites *et al.*, 2019). Selain itu, citra ini memiliki beberapa saluran spektral yang sesuai untuk analisis habitat dasar perairan (Traganos & Reinartz, 2018; Topouzelis *et al.*, 2018). Salah satu algoritma yang dapat diterapkan pada citra Sentinel-2A untuk pemetaan habitat bentik yaitu Maximum Likelihood Classification (MLH).

MLH merupakan salah satu algoritma klasifikasi terawasi yang dapat mengelompokkan piksel ke dalam beberapa kelas yang telah ditentukan sebelumnya (Habiba *et al.*, 2020). Algoritma ini dapat diterapkan dalam berbagai pemetaan dan analisis di wilayah pesisir dan laut. (Saad *et al.*, 2019). Algoritma MLH telah banyak digunakan dalam memetakan habitat bentik karena memiliki akurasi yang baik (Phinn *et al.*, 2012; Traganos *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan citra Sentinel-2A dengan menerapkan algoritma MLH mendapatkan akurasi sebesar 65,11% dari 6 kelas habitat bentik di Teluk Gilimanuk (Putra *et al.*, 2023). Selanjutnya penelitian di Pulau Sebaru Besar Kepulauan Seribu mendapatkan akurasi sebesar 63,33% dengan koreksi kolom air dan 56,67% tanpa koreksi kolom air dari 7 kelas habitat bentik (Sugara *et al.*, 2022). Penelitian di Kepulauan Kei Maluku Tenggara menggunakan citra Sentinel dengan algoritme MLH menghasilkan uji akurasi sebesar 74,33 % dengan jumlah kelas sebanyak 3 kelas klasifikasi (Alifatri *et al.*, 2022). Hasil uji akurasi menunjukkan citra Sentinel-2 yang tidak terkoreksi kolom air memiliki akurasi klasifikasi sebesar 70,8029% sedangkan pada citra yang terkoreksi kolom air memiliki akurasi klasifikasi sebesar 72,9927% dengan algoritme MLH (Eris, 2017)

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, menunjukkan bahwa penerapan algoritma MLH menghasilkan akurasi yang baik untuk pemetaan habitat bentik. Informasi spasial mengenai distribusi dan luasan habitat bentik di perairan Desa Pengudang masih sangat terbatas, sehingga perlu dilakukan penelitian terbaru untuk mendukung upaya perencanaan dan pengelolaan sumber daya pesisir yang efektif dan berkelanjutan. Pemetaan habitat bentik sangat penting untuk mengidentifikasi area yang rentan terhadap tekanan antropogenik dan ekologis, sehingga dapat dilakukan upaya konservasi dan pengelolaan yang tepat. Selain itu, informasi ini juga mendukung pemerintah daerah dalam mengambil keputusan mengenai pengelolaan wilayah pesisir Desa Pengudang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan luasan habitat bentik perairan dangkal Desa Pengudang menggunakan Citra Satelit Sentinel 2A dengan algoritme MLH tahun 2018 dan 2023.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan Juni 2023 hingga Mei 2024, yang meliputi pengambilan data lapangan dan pengolahan data. Pengambilan data lapangan berlokasi di perairan Desa Pengudang, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau. Pengumpulan data dilakukan pada tanggal 10-11 Juni 2023. Pengumpulan data menggunakan metode *systematic random sampling*, dimana pada metode ini titik pertama ditentukan secara acak (*random*) kemudian memilih titik – titik secara sistematis. Pada penelitian ini jarak antara titik adalah 15 meter, hal ini dilakukan untuk menyesuaikan nilai pixel Sentinel 2A yang memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter. Pengamatan yang dilakukan pada 7 transek yang dengan jumlah titik pengamatan sebesar 250 titik.

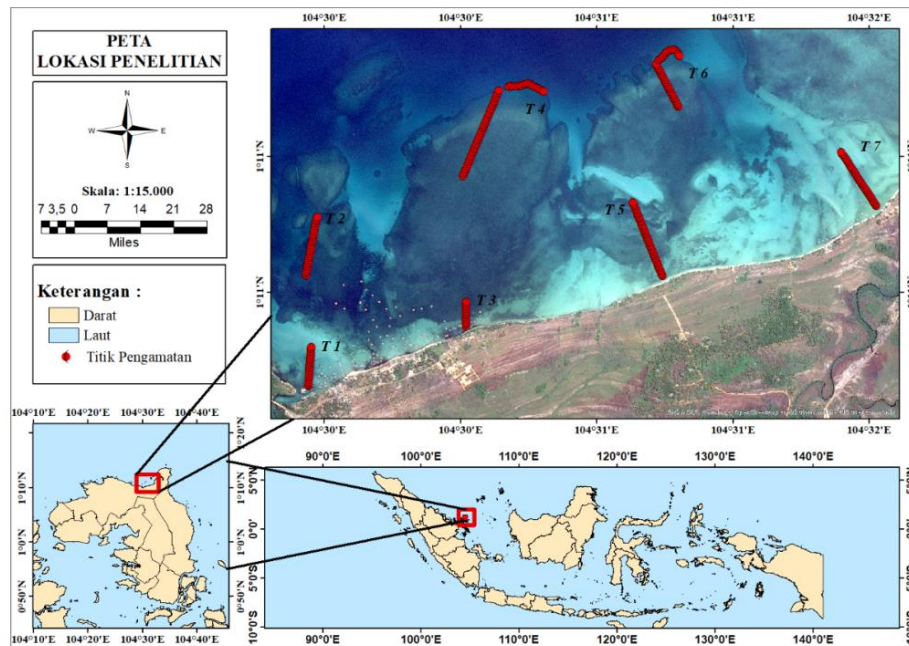
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat survei lapangan dan software untuk analisis data. Berikut adalah beberapa alat, bahan, dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini (Tabel 1).

Data lapang dikumpul melibatkan pengamatan langsung atau *Ground truth habitat* (GTH) dan foto transek dilokasi penelitian dengan menggunakan metode *systematic random sampling*. Metode ini dipilih berdasarkan kondisi lapangan, dimana titik pertama dipilih secara acak pada jarak tertentu secara berturut-turut (Congalton & Green, 2009). Penelitian ini menggunakan teknik foto transek dengan bantuan kamera *underwater*. Dimana, foto diambil tegak lurus dari dalam air dengan cara menyelam ke dasar perairan dengan bantuan alat selam snorkeling. Teknik ini digunakan untuk menentukan target yang ditangkap pada setiap transek dan membuat model klasifikasi habitat bentik untuk lokasi penelitian.

Foto diambil pada transek persegi berukuran 1 m x 1 m (Prabowo, 2018; Anggoro *et al.*, 2017; Roelfsema *et al.*, 2013) dan diberi warna mencolok yang bertujuan untuk memudahkan saat pengambilan foto di dalam air. Setiap titik pengamatan dilakukan sebanyak 7-9 foto diambil dalam transek persegi untuk mewakili komposisi tutupan dalam citra Sentinel-2A. Adapun jumlah titik pengamatan yang digunakan yaitu sebanyak 250 titik, dimana 175 titik digunakan sebagai acuan klasifikasi dan 75 titik sisanya sebagai uji akurasi. Titik klasifikasi digunakan untuk melihat sebaran dan menghitung luasan habitat bentik di daerah penelitian, sedangkan titik akurasi digunakan untuk menghitung tingkat keakuratan peta hasil dari klasifikasi sesuai dengan data lapangan.

Tabel 1. Peralatan survei lapang dan software analisis data.

Kategori	Peralatan/Software	Fungsi
Peralatan Survei Lapangan	GPS	Menentukan titik koordinat lokasi
	Kamera Underwater	Pengambilan foto kelas habitat bentik
	Snorkeling Gear	Validasi dan pengambilan foto kelas habitat bentik
	Transek Kuadrat 1 m x 1 m	Observasi habitat bentik
	Pensil dan Kertas Newtop	Alat bantu untuk mencatat data di bawah air
Perangkat Lunak Analisis Data	Coral Point Count with Extensions (CPCe) 4.1	Analisis tutupan habitat bentik
	ArcMap 10.8	Pembuatan layout peta
	Microsoft Excel 2013	Tabulasi data dan penyajian diagram analisis statistik
	XLSTAT	Analisis statistik
	ENVI 5.3	Pra-pemrosesan citra dan pengklasifikasian
Bahan Penelitian	Citra Sentinel-2A Tahun 2018 dan 2023	Data utama untuk analisis



Gambar 1. Titik sampling Lokasi Penelitian

Komposit band merupakan teknik penggabungan dari beberapa band yang berbeda dan bertujuan untuk mengubah tampilan warna setiap objek yang terekam pada citra serta mempermudah dalam proses pengklasifikasiannya. Komposit dapat memenuhi kebutuhan pencitraan resolusi tinggi tanpa membangun sistem pencitraan tinggi (Putri *et al.*, 2018). Penggabungan bar dapat dilakukan melalui proses layer stacking dimana band file penyusun dijadikan satu file. Penelitian ini menggunakan kombinasi band RGB (*Red-Green-Blue*) 432 dan 8 (NIR). Pemotongan citra merupakan proses pemotongan citra yang dilakukan untuk membatasi daerah penelitian yang akan dipetakan untuk setiap band (Silitonga *et al.*, 2018). Proses ini akan memudahkan dalam analisis citra, pengklasifikasiannya dan memperkecil ukuran memori citra sehingga prosesnya akan lebih cepat.

Citra yang sudah terekam tentunya terdapat kesalahan yang terjadi akibat hamburan atmosfer (*path radiance*) sehingga perlu dilakukan koreksi atmosferik. Dimana koreksi atmosferik merupakan proses untuk mengembalikan nilai-nilai asli dan menghilangkan nilai-nilai distorsi pada citra sehingga menjadi nol serta memudahkan dalam proses klasifikasi (Hadjimitsis *et al.*, 2010). Proses ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ENVI 5.3 yang mampu memudahkan dalam proses pengolahan citra. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam koreksi atmosferik adalah metode *Dark Object Subtraction* (DOS). Metode DOS merupakan teknik koreksi atmosferik sederhana yang bekerja dengan cara mengidentifikasi objek gelap yang menyerap seluruh radiasi di dalam citra satelit, kemudian mengurangi nilai piksel minimum dengan nilai piksel citra asli untuk setiap saluran spektral (Pahlevan & Schott, 2013; Zhang *et al.*, 2018). Pengurangan ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh hamburan atmosfer yang terekam dalam nilai piksel citra.

Masking citra adalah pemisahan nilai piksel lautan, daratan, dan awan supaya tidak diproses pada saat analisis gambar dan deteksi objek. Proses ini dilakukan secara manual menggunakan batas antara pantai dan darat. Penafsiran ini dilakukan untuk menghindari kesalahan dalam proses klasifikasi (Prawoto & Hartono, 2018). Pada tahap ini daerah yang akan dihilangkan atau di masking yaitu wilayah daratan. Penelitian ini menggunakan teknik klasifikasi berbasis piksel dengan klasifikasi terawasi yaitu *Maximum Likelihood Classification* (MLH). Klasifikasi berbasis piksel merupakan pengelompokan piksel suatu gambar kedalam kelas berdasarkan statistik piksel atau wilayah yang diminati atau ROI (*Region of Interest*) (Prayudha, 2014). Algoritma MLH

didasarkan pada nilai probabilitas statistik sampel setiap kelas target dibandingkan dengan kelas target lainnya, sehingga piksel yang tidak terklasifikasi dapat diminimalkan dengan menetapkan ambang batas (threshold) (Hafizt *et al.*, 2017). Setelah proses klasifikasi selesai, maka dilanjutkan dengan proses digitasi citra. Proses ini merupakan langkah yang dilakukan untuk memotong citra yang terklasifikasi agar lebih mudah dalam proses selanjutnya (Guntur *et al.*, 2012).

Setiap foto menggunakan transek kuadrat 1x1 meter, dilakukan analisis untuk mendapatkan tutupan habitat bentik dengan menggunakan software CPCe yang dikembangkan menggunakan visual basic, menganalisis jumlah titik secara acak (random point count). Selain itu perangkat lunak ini mampu melakukan analisis statistik (misalnya kelimpahan relatif, rata-rata, deviasi standar, kesalahan standar) untuk setiap spesies atau substrat spreadsheet dalam perhitungan Microsoft Excel dan menghitung Shannon-Weaver untuk setiap indeks keanekaragaman spesies (Kohler & Gill, 2006). Berikut ini gambar pengolahan foto lapangan menggunakan software CPCe.

CPCe memiliki empat penghitungan titik acak terdiri dari acak sederhana (simple random), acak berlapis (stratified random), kisi seragam (uniform grid), dan kisi dengan jarak sama (equally spaced grid). Jenis spesifikasi titik stratified yang digunakan dalam penelitian adalah grid seragam (uniform grid), yaitu titik diidentifikasi sebagai baris dan kolom sebanyak 30 titik yang ditempatkan pada setiap kuadran. Adapun kategori yang digunakan dalam analisis foto transek yaitu karang hidup (KH), karang mati (KM), Pecahan Karang (PK), alga (AL), lamun (LM), dan pasir (PS). Persentase tutupan habitat bentik dapat diperkirakan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan: L merupakan persentase tutupan habitat bentik, Li merupakan jumlah titik kategori tersebut, dan N merupakan jumlah titik acak.

Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) adalah teknik analisis claster dirancang untuk mengelompokkan objek berdasarkan karakteristiknya. Analisis claster (AHC) dilakukan menggunakan perangkat lunak XLSTAT yang telah terhubung langsung dengan software Microsoft excel 2013 dengan dissimilarity bray-curtis melalui pendekatan algoritma unweighted pair-group average. Bray-curtis merupakan indeks yang digunakan untuk melihat tingkat persamaan atau perbedaan antara dua komponen. Penelitian ini menggunakan indeks dissimilarity sebesar 0,4 atau 40%, dimana setiap kelas habitat bentik memiliki kesamaan sebesar 0,6 atau 60% dari data lapangan. Menurut Sneath dan Sokal (1973), analisis claster ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan: A, B merupakan himpunan atau claster, d merupakan jarak rata-rata, dan x,y merupakan pasangan dalam claster.

Maximum Likelihood Classification (MLH) merupakan algoritma yang mengumpamakan dan menghitung rata-rata nilai keanekaragaman dari setiap objek. Teknik ini berdasarkan kesamaan nilai dan identitas gambar. Titik sampel yang diperoleh observasi lapangan digunakan sebagai titik klasifikasi. Menurut Richards & Jia (2006), Tujuan penghitungan probabilitas, atau probabilitas, adalah untuk menemukan satu piksel di antara piksel-piksel suatu kelas, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan: $P(i|x)$ merupakan probabilitas besyarat dari suatu kelas I , dihitung dengan ketetapan vector x tanpa syarat, $P(x|i)$ merupakan probabilitas besyarat dari vector x , dihitung dengan kelas tanpa syarat, $P(i)$ merupakan probabilitas dari suatu kelas i yang muncul dari sebuah citra, dan $P(x)$ merupakan probabilitas dari vector.

Uji keakuratan bertujuan mengetahui tingkat kebenaran peta yang dibuat dengan teknik klasifikasi yang digunakan. Dalam penelitian dilakukan pengujian tingkat keakuratan data tersebut, karena hasil pengujian tersebut mempengaruhi tingkat keyakinan pemakai untuk semua jenis data dan teknik analisis yang digunakan (Silitonga *et al.*, 2018). Metode umum digunakan menghitung keakuratan data klasifikasi yaitu menggunakan matrik kesalahan (confusion matrix) (Congalton & Green 2009). Kategori akurasi meliputi akurasi pengguna (UA), akurasi produsen (PA), akurasi keseluruhan (OA), dan kappa koefisien (Hendrawan *et al.*, 2018). Berdasarkan SNI 7716:2011, menyatakan bahwa pemetaan tipe habitat bentik yang berbeda di perairan dangkal memiliki batas akurasi $\geq 60\%$ (LIPI, 2014).

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

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

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

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

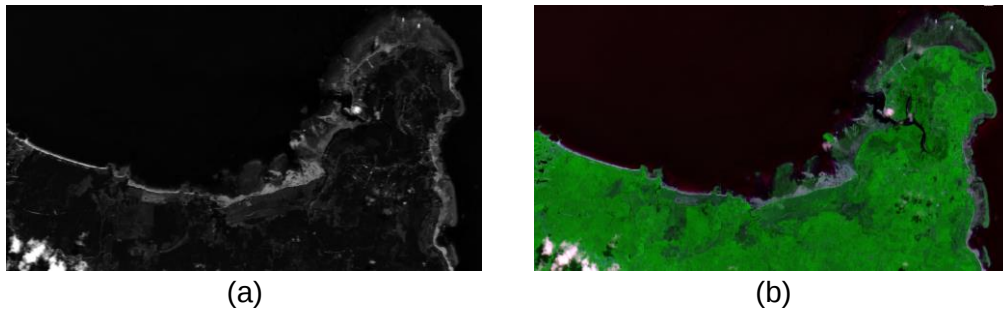
Keterangan: n merupakan jumlah baris pada matriks User Accuracy (UA), K merupakan jumlah pengamatan, X_{ii} merupakan jumlah pengamatan pada kolom ke- i dan baris ke- i , X_{+i} merupakan jumlah pengamatan pada kolom ke- i , dan X_{i+} merupakan jumlah pengamatan baris ke- i .

HASIL DAN PEMBAHASAN

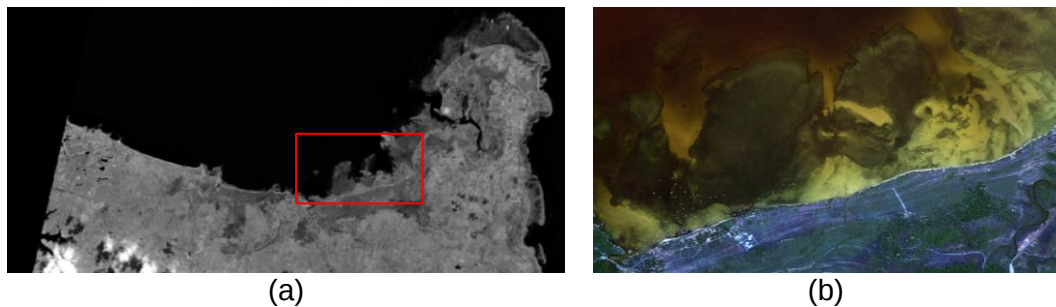
Pemetaan habitat bentik menggunakan citra satelit harus melakukannya tahap pra- processing untuk menghasilkan visual citra yang lebih baik. Tahap Pra – processing pada penelitian ini meliputi *layer stacking*, crop data citra, koreksi atmosferik, koreksi radiometerik dan koreksi geometrik. Gambar 2 menampilkan hasil data citra sebelum dan sesudah *layer stacking*. Layer stacking bertujuan untuk menggabungkan kanal dari citra satelit menjadi satu lapisan ini membantu untuk memilih susunan warna RGB yang diinginkan dan dapat mengolah data sesuai kebutuhan.

Pemotongan citra atau *cropping* bertujuan untuk membatasi daerah penelitian yang memfokuskan pada daerah penelitian serta memudahkan dalam proses analisis citra. Hasil pemotongan citra sesuai dengan lokasi penelitian yaitu perairan Desa Pengudang, Bintan.

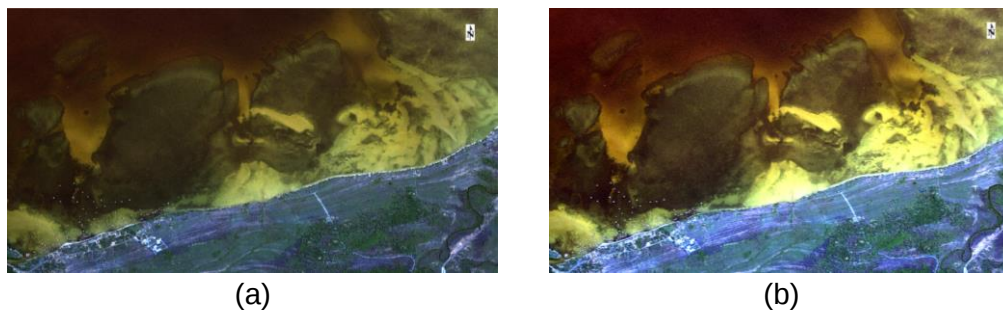
Koreksi atmosferik merupakan proses pengolahan data citra satelit untuk mendapatkan nilai *Digital Number* (DN) sebagai nilai pengkoreksian (*Dark Substaction*). Fungsi koreksi atmosferik adalah untuk menghilangkan kesalahan yang disebabkan pengaruh dari atmosfer pada citra. Perbedaan secara visual citra sebelum dan sesudah koreksi atmosferik (Gambar 4). Koreksi atmosferik dilakukan untuk mengurangi gangguan atmosferik sehingga menghasilkan visual citra yang lebih baik. Citra yang telah terkoreksi secara keseluruhan terlihat lebih jelas dan cerah pada perairan dangkal maupun darat. Hasil analisis foto menggunakan *software* CPCe menghasilkan tutupan habitat bentik yang berbeda setiap transek kuadrat 1 m x 1 m. Setiap titik pengamatan dilakukan analisis sebanyak 7-9 foto, kemudian persentase nilai dari foto tersebut di *export* ke *software* Microsoft excel 2013 untuk dirata-ratakan. Berikut ini gambar tutupan habitat bentik di lapangan sebelum dilakukan analisis CPCe.



Gambar 2. Citra Sentinel-2A (a) sebelum layer stacking (b) dan sesudah layer stacking komposit band 432



Gambar 3. Citra Sentinel-2A (a) sebelum cropping dan (b) sesudah cropping.



Gambar 4. Citra Sentinel-2A (a) sebelum koreksi atmosferik dan (b) sesudah koreksi atmosferik

Berdasarkan hasil analisis tutupan habitat bentik menggunakan *software* CPCe diperoleh beberapa kelas yang terdapat diperairan Desa Pengudang, Bintan. Kelas tersebut memiliki persentasi yang berbeda disetiap titik. Adapun kelas yang terdapat diperairan tersebut yaitu kelas lamun, pasir, karang mati, karang hidup, alga, dan pecahan karang. Berikut ini persentase yang dihasilkan dari analisis menggunakan *software* CPCe.

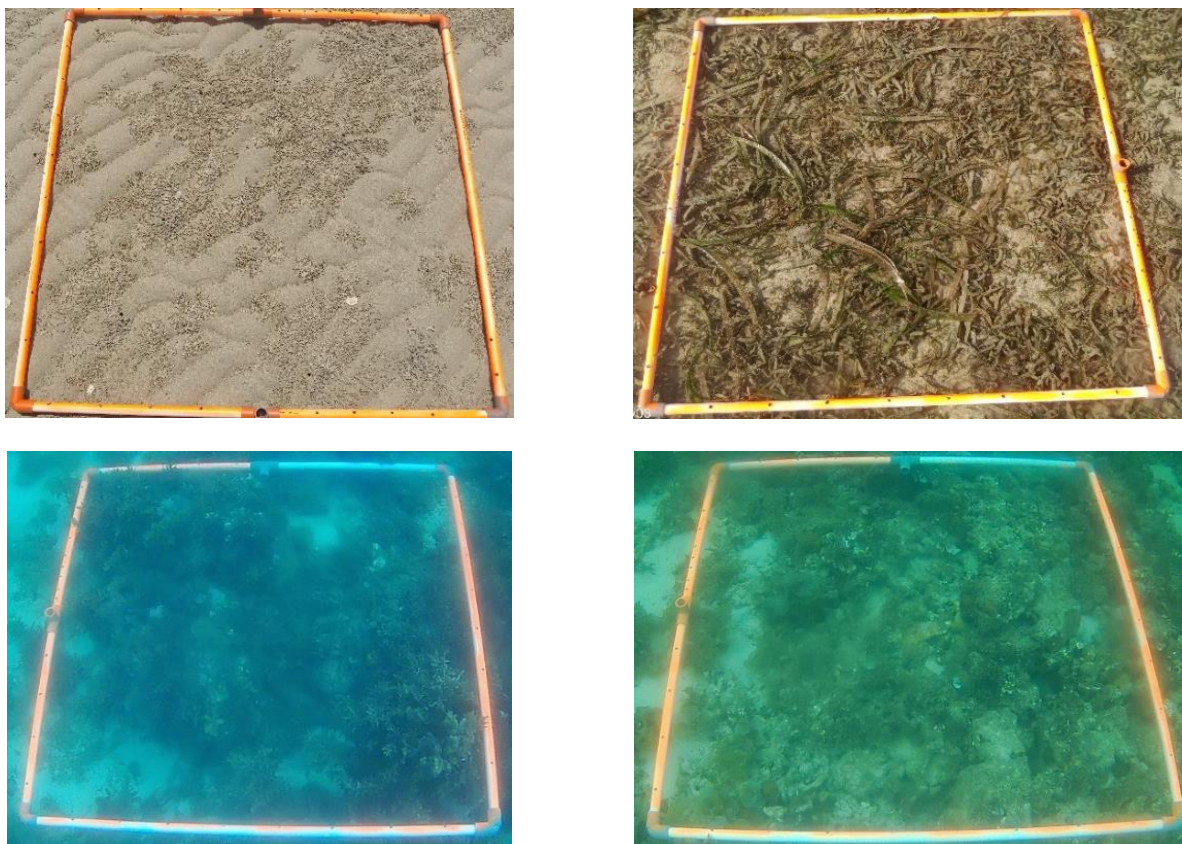
Persentase dihitung berdasarkan jumlah titik objek penyusun habitat bentik yang ditumpang tindihkan dengan menggunakan *software* CPCe. Nilai tersebut kemudian dianalisis ke Microsoft Excel 2013 yang telah terhubung langsung dengan *software* XLSTAT untuk memperoleh data tabulasi seluruh titik pengamatan. Skema klasifikasi menggunakan analisis AHC menghasilkan nilai *central object* dari data lapangan. Analisis AHC menggunakan *dissimilarity* atau ketidakmiripan sebesar 0,4 atau 40%, setiap kelas habitat bentik memiliki kesamaan sebesar 0,6 atau 60% berdasarkan data lapangan.

Penggunaan nilai ketidakmiripan tersebut disesuaikan dengan lokasi dan kondisi pada setiap lokasi pengamatan (Green *et al.*, 2000). Skema klasifikasi berdasarkan hasil analisis AHC menghasilkan 6 kelas setelah dilakukan penyederhaan dengan penamaan kelas yang dominan. Kelas 1; pasir (PS) memiliki persentase kemiripan sebesar 75% dari 87 titik, kelas 2; lamun (LM)

memiliki persentase kemiripan sebesar 93,81% dari 57 titik, kelas 3; karang mati bercampur pasir (KMP) memiliki persentase kemiripan sebesar 80 % dari 24 titik, kelas 4; alga bercampur karang mati (AKM) memiliki persentase kemiripan sebesar 80% dari 29 titik, kelas 5; pasir bercampur karang hidup (PKH) memiliki persentase kemiripan sebesar 95% dari 24 titik, dan kelas 6; lamun bercampur pasir (LMP) persentase kemiripan sebesar 95% dari 29 titik. Penyederhaan ini dilakukan karena memiliki komponen penyusun kelas yang sama. Berikut disajikan gambar persentase nilai *central object* dari analisis AHC.

Klasifikasi merupakan proses pengelompokkan objek berdasarkan komponen penyusunnya. Proses klasifikasi pada penelitian ini menggunakan klasifikasi terbimbing yaitu MLH dengan input tematik dari data lapangan. Proses klasifikasi dilakukan untuk melihat sebaran habitat bentik di daerah penelitian. Hasil klasifikasi menggunakan algoritma MLH, ditemukan 6 kelas habitat bentik yang terdistribusi diperairan Desa Pengudang, Bintan. Berdasarkan hasil klasifikasi pada citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2023 (Gambar 7 dan 8), terdapat perbedaan sebaran dan luasan habitat bentik.

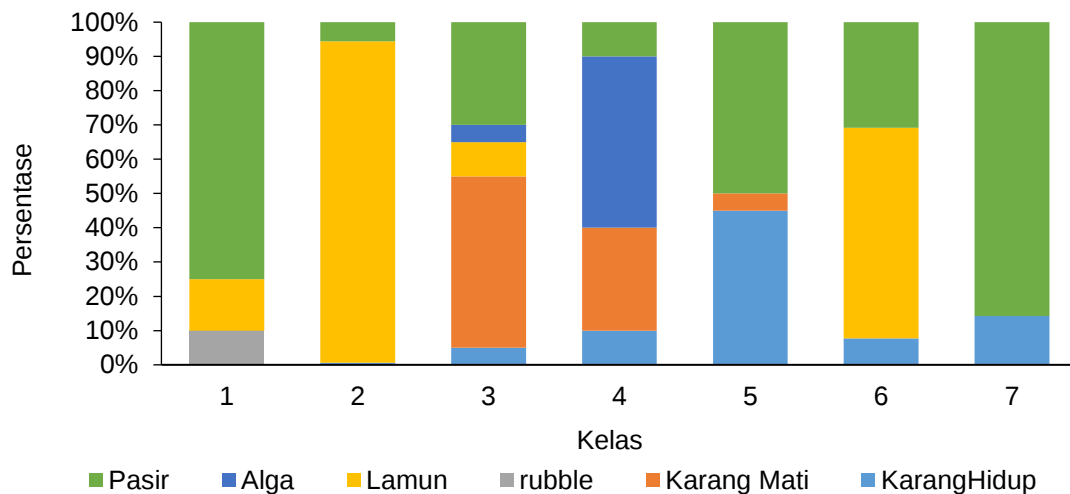
Gambar 8 menunjukkan bahwa kelas pasir dapat ditemukan pada transek 1, 3, 5, dan 6. Kelas lamun dapat ditemukan pada transek 1, 3, 4, 5 dan 6. Kelas lamun bercampur pasir dapat ditemukan pada transek 1, 3, 5 dan 7. Kelas karang mati bercampur pasir dan pasir bercampur karang hidup dapat ditemukan pada transek 4 dan 6. Kelas alga bercampur karang mati dapat ditemukan pada transek 2, 4 dan 6. Sedangkan Gambar 13 menunjukkan bahwa kelas pasir mendominasi wilayah transek 1, 3 5 dan 7. Kelas lamun mendominasi wilayah transek 2,5 dan 6. Kelas lamun bercampur pasir mendominasi wilayah transek 2, 3, 5 dan 7. Kelas alga bercampur karang mati mendominasi wilayah transek 2, 4 dan 6. Kelas pasir bercampur karang hidup mendominasi wilayah transek 4 dan 6. Kelas karang mati bercampur pasir mendominasi wilayah transek 2, 4 dan 6.



Gambar 5. Kategori tutupan habitat bentik di perairan Dsa Pengudang, Bintan

Tabel 2. Luas habitat bentik Desa Pengudang tahun 2018 dan 2023

Kelas	Luasan area (hektar)	
	Citra Sentinel-2A tahun 2018	Citra Sentinel-2A tahun 2023
Pasir	157 ha	211 ha
Lamun	120 ha	158 ha
Karang Mati Pasir	7 ha	18 ha
Alga Karang Mati	30 ha	19 ha
Pasir Karang Hidup	138 ha	43 ha
Lamun Pasir	110 ha	113 ha
TOTAL	562 ha	562 ha

**Gambar 6.** Persentase nilai *central object* dari AHC

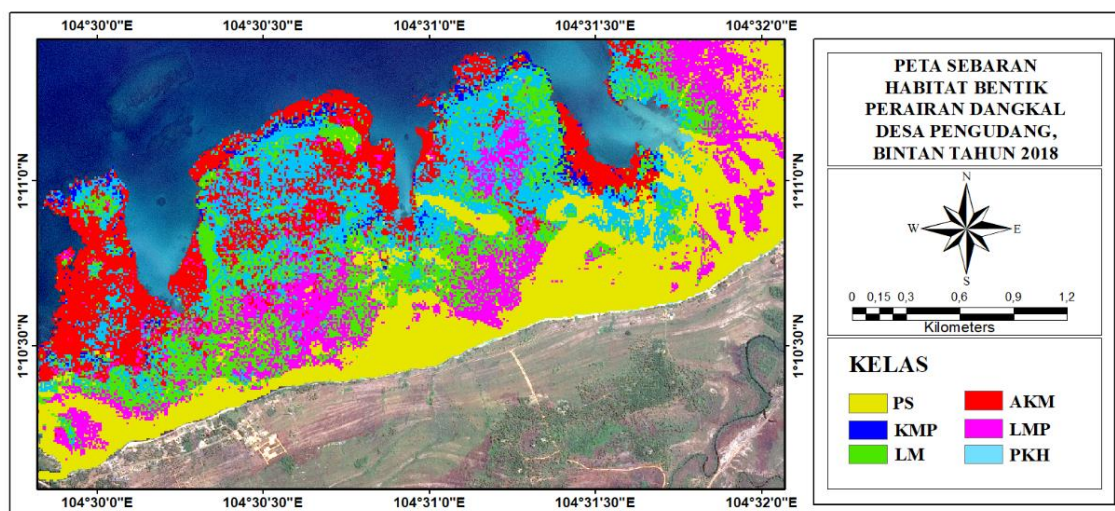
Hasil klasifikasi citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2023 memperoleh luasan habitat bentik yang berbeda pada setiap kelas dengan total luasan sebesar 562 ha. Beberapa kelas yang mengalami peningkatan luasan yaitu Kelas Pasir (PS), Kelas Lamun (LM), Kelas Karang Mati Pasir (KMP), dan Kelas Lamun Pasir (LMP). Selain meningkat, terdapat beberapa kelas yang mengalami penurunan luasan yaitu Kelas Alga Karang Mati (AKM) dan Kelas Pasir Karang Hidup (PKH). Berikut disajikan tabel luasan habitat bentik dari hasil klasifikasi citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2023.

Hasil klasifikasi citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2023, memperoleh luasan habitat bentik yang berbeda dari 6 kelas. Kelas Pasir (PS), kelas Lamun (LM), kelas Lamun bercampur Pasir (LMP), dan kelas Karang Mati bercampur Pasir (KMP) mengalami peningkatan dari tahun 2018 hingga 2023. Putra *et al.*, (2023), melakukan pemetaan luasan lamun di perairan Desa Pengudang menghasilkan luasan sebesar 8,43 ha pada tahun 2018 dan 7,30 ha pada tahun 2020. Sedangkan berdasarkan hasil penelitian dilakukan di perairan Desa Pengudang, Bintan memperoleh luasan Kelas Lamun (LM) sebesar 120 ha pada tahun 2018, kemudian meningkat menjadi 158 ha pada tahun 2023. Hal tersebut diduga karena adanya perbedaan luasan area kajian penelitian yang digunakan pada proses klasifikasi.

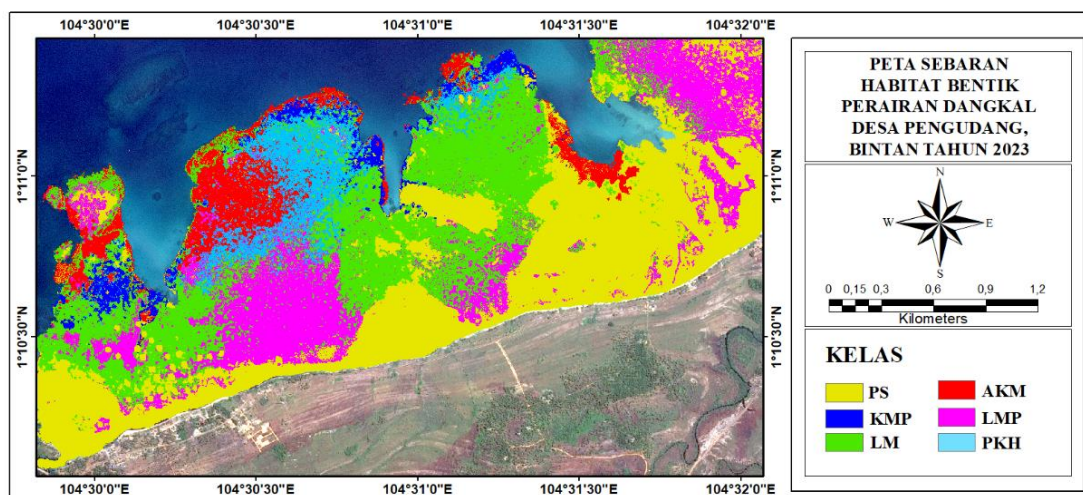
Ada beberapa faktor yang menyebabkan meningkatnya luasan lamun di perairan Desa Pengudang, Bintan. Pertama, kondisi lingkungan yang mendukung, seperti adanya substrat berpasir dan berlumpur, sangat ideal untuk pertumbuhan lamun. Kedua, kedalaman perairan yang relatif dangkal memungkinkan penetrasi cahaya matahari yang cukup untuk fotosintesis. Selain itu,

arus dan gelombang di perairan tersebut tidak terlalu tinggi, menciptakan kondisi yang sesuai bagi pertumbuhan lamun. Terakhir, kemampuan lamun untuk beregenerasi dan berkembang biak dengan baik juga berkontribusi pada pertumbuhan dan penyebarannya secara alami. (Nurjuliasti *et al.*, 2018).

Adanya upaya konservasi dan perlindungan seperti kesadaran masyarakat dan pemerintah daerah setempat untuk menjaga dan melindungi ekosistem lamun diperairan Desa Pengudang. Sedangkan luasan Karang Mati bercampur Pasir (KMP) meningkat seiring dengan berkurangnya luasan kelas Pasir bercampur Karang Hidup (PKH) dan kelas Alga bercampur Karang Mati (AKM), hal tersebut disebabkan oleh adanya fenomena El Nino yang menyebabkan kenaikan suhu permukaan laut secara signifikan akibat dari perubahan iklim (Hughes *et al.*, 2018). Meningkatnya suhu permukaan laut yang berlebihan menyebabkan stress fisiologi pada karang, sehingga karang mengeluarkan alga simbiotik (*Zooxanthellae*) yang merupakan sumber makanannya. Akibat dari fenomena ini adalah terjadinya pemutihan karang (*Coral Bleaching*).



Gambar 7. Peta sebaran habitat bentik di perairan Desa Pengudang, Bintan menggunakan citra Sentinel-2A tahun 2018



Gambar 8. Peta sebaran habitat bentik di perairan Desa Pengudang, Bintan menggunakan citra Sentinel-2A tahun 2023

Uji akurasi yang dihasilkan menggunakan metode *confusion matrix* berdasarkan hasil klasifikasi dari data lapangan diperoleh nilai akurasi yang berbeda pada citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2023. Perhitungan ini dilakukan untuk melihat tingkat keakuratan hasil klasifikasi menggunakan algoritma MLH pada citra yang digunakan dengan daerah penelitian, selain itu juga digunakan untuk melihat kualitas peta yang dihasilkan. Menurut Prayudha (2014), batas minimal tingkat keakuratan suatu peta berdasarkan SNI 7716:2011 yaitu $\geq 60\%$.

Adapun titik sampel keseluruhan yang digunakan sebanyak 250 titik. Klasifikasi menggunakan data sampling sebanyak 175 titik dan uji akurasi menggunakan titik sampling sebanyak 75 titik. Titik uji akurasi kelas Pasir (PS) sebanyak 25 titik, kelas lamun (LM) sebanyak 13 titik, kelas karang mati bercampur pasir (KMP) sebanyak 11 titik, kelas alga bercampur karang mati (AKM) sebanyak 9 titik, kelas pasir bercampur karang hidup (PKH) sebanyak 7 titik dan kelas lamun bercampur pasir (LMP) sebanyak 10 titik. Nilai uji akurasi pada hasil klasifikasi menggunakan algoritma MLH pada citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2023 dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Perbandingan akurasi klasifikasi dihitung menggunakan matriks kesalahan (*confusion matrix*), dimana akurasi keseluruhan (OA) pada hasil klasifikasi menggunakan algoritma MLH pada citra Sentinel-2A tahun 2018 (Tabel 3) sebesar 61,33%, sedangkan pada tahun 2023 (Tabel 4) memiliki nilai keakuratan yang lebih tinggi yaitu 70,67% dengan perbedaan nilai akurasi sebesar 9,34%. Citra Sentinel-2A tahun 2018, kelas pasir (PS) memiliki nilai prosedur accuracy (PA) tertinggi yaitu 80%, sedangkan kelas pasir bercampur karang hidup (PKH) memiliki nilai PA terendah yaitu 38,46%. Nilai user accuracy (UA), pada kelas alga bercampur karang mati (AKM) memiliki nilai tertinggi yaitu 88,89%, sedangkan kelas lamun bercampur pasir (LMP) memiliki nilai terendah yaitu 40%. Hasil akurasi dari citra Sentinel tahun 2018 menghasilkan indeks kappa sebesar 53,22%.

Citra Sentinel-2A tahun 2023, kelas pasir (PS) memiliki nilai *prosedur accuracy* (PA) tertinggi yaitu 82,35%, sedangkan kelas pasir bercampur karang hidup (PKH) memiliki nilai terendah yaitu 54,55%. Selanjutnya nilai *user accuracy* (UA), pada kelas alga bercampur karang mati (AKM) memiliki nilai tertinggi yaitu 100%, sedangkan kelas pasir memiliki nilai terendah yaitu 56%. Hasil akurasi dari citra Sentinel-2A tahun 2018 menghasilkan indeks kappa sebesar 64,28%. Hasil akurasi menunjukkan bahwa penggunaan citra Sentinel-2A dengan penerapan algoritma MLH untuk pemetaan habitat bentik mempunyai hasil yang baik dan keakuratan peta yang dihasilkan dapat digunakan sebagai informasi spasial habitat bentik perairan Desa Pengudang, Bintan. Hasil tersebut memenuhi standar SNI 7716:2011 yaitu $\geq 60\%$, pemetaan habitat bentik perairan dangkal dan mendukung penelitian sebelumnya yang menunjukkan efektifitas citra Sentinel-2A dari citra lainnya yaitu kemampuan Landsat 8 dalam pemetaan habitat bentik yang memiliki akurasi sebesar 47,57% (Hafizt,2017).

Tabel 3. Hasil uji akurasi citra Sentinel-2A tahun 2018

Kelas Habitat	Lapangan						TOTAL	UA
	PS	LM	KMP	AKM	PKH	LMP		
PS	12	2	1	2	3	5	25	48.00
LM	1	8	1	1	1	1	13	61.54
KMP	0	0	9	0	2	0	11	81.82
AKM	0	0	0	8	0	0	9	88.89
PKH	0	2	0	0	5	0	7	71.43
LMP	2	1	1	1	1	4	10	40.00
TOTAL	15	13	11	13	13	10	75	
PA	80.00	61.54	75.00	66.67	38.46	40.00	OA=	61.33

Tabel 4. Hasil uji akurasi citra Sentinel-2A tahun 2023

Kelas Habitat	Lapangan						TOTAL	UA
	PS	LM	KMP	AKM	PKH	LMP		
PS	14	1	1	3	2	4	25	56.00
LM	1	9	1	0	1	1	13	69.23
KMP	1	0	8	1	1	0	11	72.73
AKM	0	0	0	9	0	0	9	100.00
PKH	0	1	0	0	6	0	7	85.71
LMP	1	1	0	0	1	7	10	70.00
TOTAL	17	12	10	13	11	12	75	
PA	82.35	75.00	80.00	69.23	54.55	58.33	OA=	70.67

Perbedaan akurasi peta habitat bentik dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti resolusi citra, metode klasifikasi, jumlah kelas tutupan habitat bentik, jumlah titik pengamatan lapang, faktor lingkungan (Prabowo, 2018). Selain itu, penggunaan algoritma klasifikasi juga dapat berpengaruh terhadap hasil akurasi. Kesalahan lain dalam akurasi juga dapat terjadi seperti kesalahan skema klasifikasi, kesalahan data, serta kesalahan dalam pemberian label sampel.

KESIMPULAN

Hasil klasifikasi menggunakan citra Sentinel-2A di Perairan Desa Pengudang, Bintan dengan algoritma MLH dari 6 kelas yaitu kelas Lamun (LM), kelas Pasir (PS), kelas Lamun bercampur Pasir (LMP), kelas Alga bercampur Karang Mati (AKM), kelas Pasir bercampur Karang Hidup (PKH), dan Karang Mati bercampur Pasir (KMP) menghasilkan nilai akurasi keseluruhan sebesar 61,33% pada tahun 2018 dan 70,67% pada tahun 2023. Berdasarkan hasil klasifikasi dengan algoritma MLH, diperoleh perubahan luasan habitat bentik meningkat secara signifikan pada kelas Lamun (LM) sebesar 120 ha pada tahun 2018 kemudian mengalami peningkatan tertinggi sebesar 38 ha menjadi 158 ha pada tahun 2023. Kelas Lamun bercampur Pasir (LMP) memperoleh luasan sebesar 110 ha pada tahun 2018 mengalami peningkatan sebesar 3 ha menjadi 113 ha pada tahun 2023.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada pemberi dana penelitian yaitu hibah internal Universitas Maritim Raja Ali Haji dengan no Kontrak 069/UN53.02/Kontrak-PKMUP/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifatri, L.O., Prayudha, B., & Anggraini, K. 2022. Klasifikasi Habitat Bentik Berdasarkan Citra Sentinel-2 di Kepulauan Kei, Maluku Tenggara. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences*, 27(3): 372-384..
- Anggoro, A., Sumartono, E., Siregar, V.P., Agus, S.B., Purnama, D., Supriyono, S., Puspitosari, D. A., Listyorini, T., Sulisty, B., & Parwito, P. 2018. Comparing Objectbased and Pixel-based Classifications for Benthic Habitats Mapping in Pari Islands. *Journal of Physics: Conference Series*, 1114(1): 1–7.
- Anggoro, A., Siregar, V.P., & Agus, S.B. 2017. Klasifikasi Multiskala untuk Pemetaan Zona Geomorfologi dan Habitat Bentik Menggunakan Metode OBIA di Pulau Pari. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 14(2): 89-93. <http://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.1017.v14.a2622>.
- Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut. 2019. Laporan Tahunan Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut 2019. [Laporan]. Kementerian Kelautan dan Perikanan.

- BIG (Badan Informasi Geospasial). 2017. Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 7 Tentang Kompetensi Kerja di Bidang Informasi Geospasial.
- Congalton, R.G. & Green, K. 2009. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices (Second Edition). CRC Taylor & Francis Group. France. 183.
- Eris, E.A. 2017. Application Of Sentinel-2 Imagery On Benthic Habitat Mapping In Baluran National Park, Situbondo. Skripsi. Universitas Gadjah Mada. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., & Clark, C.D. 2000. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Paris (FR): UNESCO Pub.
- Guntur, Prasetyo, D., & Wawan. 2012. Pemetaan Terumbu Karang. Ghalia Indonesia. Bogor.
- Habiba, A., Miftahul, I., Prasetiadi, A., & Ramdani, C. 2020. Analisis Kesehatan Terumbu Karang Berdasarkan Karakteristik Sungai, Laut dan Populasi Area Permukiman Menggunakan Machine Learning. *Ijiss-Indonesia Journal on Information System*, 5(2): 187-199. <https://doi.org/10.36549/ijis.v5i2.119>.
- Hadjimitsis, D.G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M.G., Retalis, A., & Clayton, C.R.I. 2010. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(1): 89-95..
- Hafizt, M., Iswari, M.Y., & Prayudha, B. 2017. Kajian Metode Klasifikasi Citra Landsat-8 untuk Pemetaan Habitat Benthik di Kepulauan Padaido, Papua. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2(1): 1-13.
- Hendrawan., Gaol, J.L. & Susilo, S.B. 2018. Studi Kerapatan dan Perubahan Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Satelit di Pulau Sebatik Kalimantan Utara. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Teknologi Kelautan Tropis*. 10(1): 99-109.
- Hughes, T. P., Kerry, J.T., Baird, A.H., Connolly, S.R., Dietzel, A., Eakin, C.M., & Pears, R.J. 2018. Global Warming Transforms Coral Reef Assemblages. *Nature*, 556(7702): 492-496.
- Kohler, K.E., & Gill, S.M. 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 & Geosciences*, 32(9):1259-1269.
- Lasquites, J.J., Blanco, A.C., & Tamondong, A. 2019. Mapping of Sargassum Distribution in The Eastern Coast of Southern Leyte Using Sentinel 2 Satellite Imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4): 289–295.
- LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia). 2014. Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal. Coremap, P2O-LIPI, Jakarta.
- Mastu, L.O.K., Nababan, B., & Panjaitan, J.P. 2018. Pemetaan Habitat Benthik Berbasis Objek Menggunakan Citra Sentinel-2 di Perairan Pulau Wangi-Wangi Kabupaten Wakatobi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2): 381-396.
- Pahlevan, N., & Schott, J.R. 2013. Leveraging EO-1 to evaluate capability of new generation of Landsat sensors for coastal/inland water studies. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(2): 360-374.
- Phinn, S., Roelfsema, C., & Mumby, P. 2012. 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>.
- Prabowo, N.W., Siregar, V.P. & Agus, S.B. 2018. Klasifikasi habitat benthik 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*, 10(1): 123-134. <http://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.21670>.
- Prawoto, C.D. & Hartono, H. 2018. Pemetaan Habitat Benthik dengan Citra Multispektral Sentinel-2A Di Perairan Pulau Menjangan Kecil Dan Menjangan Besar, Kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(3): 260747.
- Prayuda, B. 2014. Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal. Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, CRITC COREMAP II LIPI.

- Putra, I.G.P.B.A., Putra, I.D.N.N. & Giri, I.N. 2023. Pemetaan Sebaran Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal Menggunakan Citra Sentinel-2A di Teluk Gilimanuk. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 9(1): 18-28.
- Putra, R.D., Handayani, R.P., Idris, F., Suhana, M.P. & Nugraha, A.H. 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.
- Putri, D.R., Sukmono, A. & Sudarsono, B. 2018. Analisis Kombinasi Citra Sentinel-1a Dan Citra Sentinel-2a Untuk Klasifikasi Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kabupaten Demak, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 7(2): 85-96.
- Richards, J.A., & X., Jia. 2006. Interpretation of Hyperspectral Image Data. *Journal Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, 359-388.
- Roelfsema, C., Phinn, S., Jupiter, S., Comley, J., & Albert, S. 2013. Mapping coral reefs at reef to reef-system scales, 10s–1000s km², using object-based image analysis. *International journal of remote sensing*, 34(18): 6367-6388. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.800660>.
- Saad, A., Schepker, H.F., Staehle, B., & Knorr, R. 2019. Whitespace prediction using hidden markov model based maximum likelihood classification. *IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)* (pp. 1-7).
- Silitonga, O., Purnama, D. & Nofriadiansyah, E. 2018. Pemetaan kerapatan vegetasi mangrove di sisi tenggara Pulau Enggano menggunakan data citra satelit. *Jurnal Enggano*, 3(1): 98-111.
- Sjafrie, N.D., Hernawan, U.E., Prayudha, B., Supriyadi, I.H., Iswari, M.Y., Rahmat, K.A. & Suyarso, S.R. 2018. Status Padang Lamun Indonesia Ver. 02. Pusat Penelitian Oseanografi–Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Puslit Oseanografi–LIPI. Jakarta.
- Sneath, P.H. & Sokal, R.R. 1973. Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification. 1st Edition, W. H. Freeman, San Francisco.
- Sugara, A., Sari, C.A., Anggoro, A., Kurniawati, E., Wulandari, U., & Saputra, R. 2022. Pemetaan Habitat Bentik Berbasis Pixel Perairan Dangkal di Pulau Sebaru Besar Kepulauan Seribu Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A. *Majalah Ilmiah Globe*, 24(2):73-80.
- Topouzelis, K., Papageorgiou, D., Suaria, G., & Aliani, S. 2021. Floating Marine Litter Detection Algorithms and Techniques Using Optical Remote Sensing Data: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 170: 112675. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112675>
- Traganos, D. & Reinartz, P. 2018. Mapping Mediterranean Seagrasses with Sentinel-2 Imagery. *Marine Pollution Bulletin*, 134: 197-209.
- Zhang, C., Chen, Y., Xu, B., Duan, Z., Chen, S., & Chen, X. 2018. An Improved Dark Object Substraction Method for Atmospheric Correction of Satellite Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 39(6): 1982-1995.