

KLASIFIKASI HABITAT BENTIK ATOL KALEDUPA TAMAN NASIONAL WAKATOBI DENGAN ALGORITMA SUPPORT VECTOR MACHINE

BENTHIC HABITAT CLASSIFICATION OF ATOL KELEDUPA WAKATOBI NATIONAL PARK USING SUPPORT VECTOR MACHINE ALGORITHM

**Alim Setiawan^{1,4*}, Vincentius P. Siregar², Setyo B. Susilo², Ani Mardiasuti³
& Syamsul B. Agus²**

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor, 16680, Indonesia

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

³Departemen Konservasi Sumber Daya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

⁴Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Baubau, 93711, Indonesia

*E-mail: alimkaledupa@gmail.com

ABSTRACT

Kaledupa Atoll is one of the areas designated as a marine protection zone and local use zone in Wakatobi National Park. Spatial information on the benthic habitat of Kaledupa Atoll is very limited so that this information is expected to be a support in strategies and efforts to conserve marine biodiversity. This study aims to map the benthic habitat of Kaledupa Atoll using a pixel-based and object-based guided classification method/OBIA with a support vector machine (SVM) algorithm. The data used is the Sentinel-2 satellite image with a spatial resolution of 10 x10 m which was acquired on November 4, 2019. Observations of benthic habitats were carried out directly at the study site by placing quadrant transects and taking points on the dominant or homogeneous habitat area. The transect used is 100 x 100 cm². Image classification uses thematic layer input from field data. The results of the classification of benthic habitats are grouped into six classes. Based on the OBIA method, benthic habitats can be mapped with an accuracy rate of 78.1%, while the pixel-based classification has an overall accuracy of 61.8%. Classification of benthic habitats with the SVM algorithm using the OBIA method provides better information than the pixel-based method.

Keywords: *Benthic habitat, Kaledupa atoll, Sentinel-2 satellite, Wakatobi*

ABSTRAK

Atol Kaledupa merupakan salah satu kawasan yang dijadikan sebagai zona perlindungan bahari dan zona pemanfaatan lokal di Taman Nasional Wakatobi. Informasi spasial habitat bentik sangat terbatas sehingga penelitian ini diharapkan menjadi pendukung dalam strategi dan upaya pelestarian keanekaragaman hayati laut Atol Kaledupa. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan habitat bentik Atol Kaledupa dengan menggunakan metode klasifikasi terbimbing berbasis piksel dan objek/OBIA dengan algoritma *support vector machine* (SVM). Data yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 x10 m yang diakuisisi pada tanggal 4 Nopember 2019. Pengamatan habitat bentik dilakukan secara langsung di lokasi penelitian dengan meletakkan transek kuadran dan mengambil titik pada area habitat yang dominan atau homogen. Transek yang digunakan berukuran 100 x 100 cm². Klasifikasi citra menggunakan *input thematic layer* dari data lapangan. Hasil klasifikasi habitat bentik dikelompokkan menjadi 6 kelas. Habitat bentik dapat dipetakan menggunakan metode OBIA dengan tingkat akurasi sebesar 78,1% sedangkan klasifikasi berbasis piksel memiliki akurasi keseluruhan 61,8%. Klasifikasi habitat bentik dengan algoritma SVM menggunakan metode OBIA memberikan informasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode berbasis piksel.

Kata Kunci: Atol Kaledupa, habitat bentik, satelit sentinel-2, Wakatobi

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan ekosistem pesisir yang berlebihan serta perubahan iklim dapat memicu terjadinya degradasi pada sumberdaya terumbu karang (Mora *et al.*, 2008; Hoegh & Guldborg, 2011; Bruno & Valdivia, 2016; Hoegh-Guldborg *et al.*, 2017; Roth *et al.*, 2018; Bruno *et al.*, 2019; Abelson, 2020). Kondisi ini dapat menurunkan kelimpahan dan keanekaragaman ikan di habitat bentik seperti perkembangan hidup dan migrasi ikan ke tempat lain (Wilson *et al.*, 2010; Brandl *et al.*, 2016; Mellin *et al.*, 2016; McCormick *et al.*, 2017; Rogers *et al.*, 2018). Terumbu karang Atol Kaledupa merupakan salah satu lokasi terumbu karang yang mendapatkan tekanan. Penetapan Atol Kaledupa sebagai Zona Perlindungan Bahari melalui Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Hutan Konservasi Alam (PHKA) No. SK. 149/IV-KK/2007 tanggal 23 Juli 2007 merupakan salah satu strategi untuk mengatasi permasalahan ancaman terhadap habitat bentik di atol tersebut.

Habitat bentik berperan penting sebagai tempat tinggal maupun tempat berlindung bagi organisme laut dan berfungsi sebagai penangkap sedimen, pendaur zat hara, serta pelindung bagi ekosistem laut (Galparsoro & Uyarra, 2014). Fungsi yang disediakan oleh habitat bentik jika dikonversikan dalam bentuk nominal uang dapat mencapai 25.079 USD/ha (Fourqurea *et al.*, 2014). Informasi spasial (peta) bentik habitat sangat diperlukan untuk mendukung strategi dan upaya dalam pelestarian keanekaragaman hayati laut di Atol Kaledupa. Pemetaan habitat bentik yang akurat merupakan salah satu upaya pengelolaan yang efektif terhadap ekosistem pesisir. Pendekatan terbaik dalam mendapatkan informasi tersebut adalah dengan menggunakan data satelit penginderaan jauh (Kachelriess *et al.*, 2014; Ouellette & Getinet, 2016; Bauer, 2020; Randin *et al.*, 2020). Penginderaan jauh

dapat merekam permukaan bumi pada wilayah yang luas serta sulit dijangkau dan juga menyediakan data citra terbaru dengan waktu perekaman yang berbeda sehingga memungkinkan analisis secara multi-waktu (Lillesand & Kiefer, 1999).

Pemetaan habitat bentik memiliki beberapa keterbatasan dalam penerapannya, diantaranya adalah pengaruh kedalaman dan kekeruhan perairan (Gao, 2009; Green *et al.*, 2000; Zheng *et al.*, 2016; McCarthy *et al.*, 2017; Kuhn *et al.*, 2019). Gangguan sunglint dan pengaruh kedalaman pada reflektansi dasar perairan sangat berpengaruh terhadap interpretasi citra, seperti pada pemetaan kualitas air, batimetri dan dasar laut pada perairan dangkal (Mumby *et al.*, 1997, 1978; Hedley *et al.*, 2005; Zoffoli *et al.*, 2014; Anggoro *et al.*, 2016; Hafizt *et al.*, 2017; Harmel *et al.*, 2018; Wicaksono *et al.*, 2019; Vahtmäe *et al.*, 2020). Permasalahan lain adalah penentuan metode klasifikasi citra dengan berbagai algoritma memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dari peta yang akan dihasilkan (Li & Guo, 2013; Brovelli *et al.*, 2015). Penelitian pemetaan habitat bentik perairan dangkal akan lebih baik jika dilakukan pada lingkungan yang memiliki kecerahan dan kejernihan suatu perairan dan menerapkan metode klasifikasi citra satelit dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Oleh karenanya, pada penelitian ini melakukan perbandingan penerapan metode klasifikasi dengan algoritma yang sama untuk memberikan informasi habitat perairan dangkal

Klasifikasi citra satelit secara umum dapat dilakukan dengan dua metode atau pendekatan yaitu metode berbasis piksel dan berbasis objek. Teknik klasifikasi berbasis piksel merupakan teknik klasifikasi yang telah lama digunakan dan dianggap paling mapan, akan tetapi untuk menemukan kelas yang terdistribusi secara normal masih sulit. Sementara klasifikasi digital berbasis objek adalah metode dengan paradigma baru yang telah memperlihatkan akurasi yang lebih baik dalam mengklasifikasi habitat perairan

dangkal (Zhang *et al.*, 2013; Prangunanti *et al.*, 2020).

Terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan antara lain adalah *Support Vector Machine* (SVM), *k-Nearest Neighbors* (kNN), *Decision Trees* (DT) dan *Random Forest* (RF). Algoritma SVM dinilai dapat memberikan hasil yang cukup baik dalam pemetaan ekosistem pesisir (Vidya *et al.*, 2014; Madanguit *et al.*, 2017; Mastu *et al.*, 2018). Tujuan penelitian ini adalah memetakan habitat bentik Atol Kaledupa dengan membandingkan metode klasifikasi berbasis piksel dan berbasis objek menggunakan algoritma SVM.

II. METODE PENELITIAN

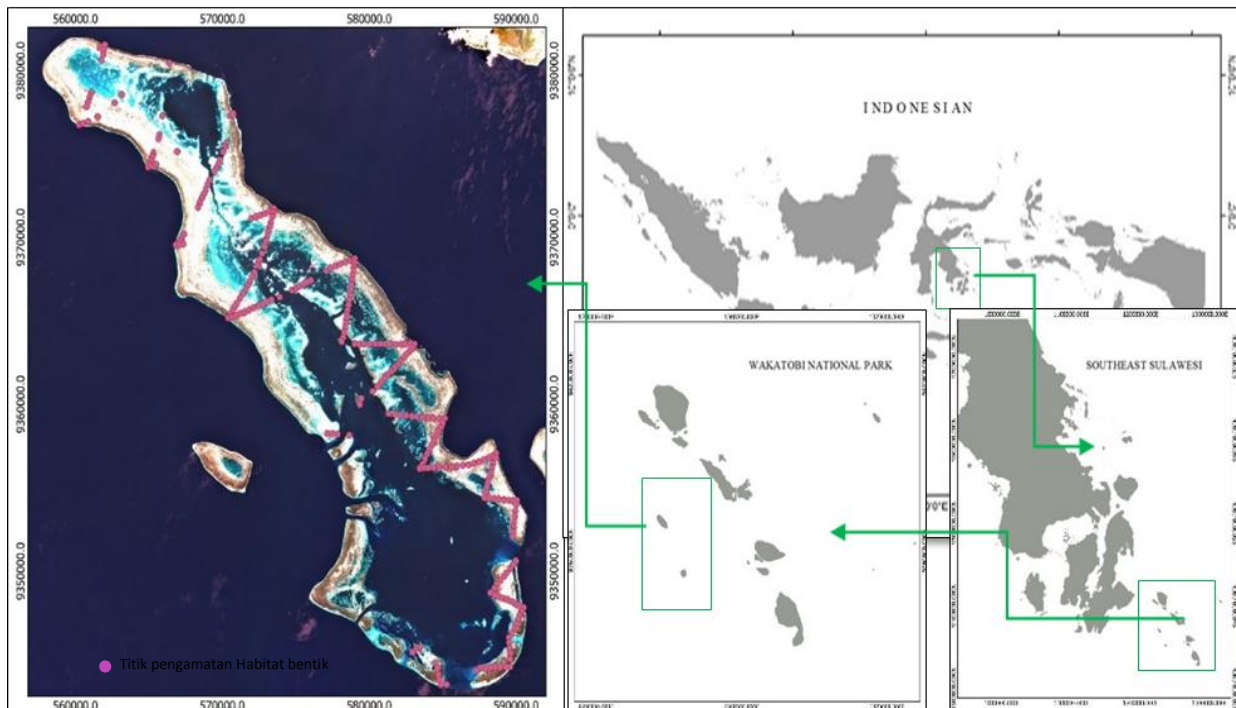
2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada musim peralihan antara barat – timur (bulan Maret – Mei tahun 2019). Hal ini dikarenakan pada musim ini kondisi perairan

cukup tenang, jernih dan teduh sehingga memungkinkan untuk melakukan kegiatan penelitian. Lokasi penelitian ini adalah di Atol Kaledupa Taman Nasional Wakatobi. Atol Kaledupa merupakan salah satu atol di sebelah selatan Pulau Kaledupa. Secara geografis Atol Kaledupa terletak di 05.7481°S dan 123.6959° E (Gambar 1).

2.2. Bahan dan Data

Citra Satelit yang digunakan adalah citra satelit multispektral Sentinel-2A. Citra satelit ini diperoleh secara gratis dan diunduh dari website ESA Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) yang diakuisisi pada tanggal 4 Nopember 2019. Citra Sentinel-2A terdiri dari 13 band spektral dengan resolusi spasial 10 m sebanyak 4 band (B2, B3, B4, B8); 20 m sebanyak 6 band (B5, B6, B7, B8A, B11, B12); dan 60 m sebanyak 3 band (B1, B9, B10).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian; titik merah lokasi sampling habitat bentik.

Pengamatan habitat bentik dilakukan secara langsung di lokasi penelitian dengan meletakkan transek kuadran dan mengambil titik pada area habitat yang dominan atau homogen. Transek yang digunakan berukuran 100 x 100 cm². Data dari lokasi pengamatan terdiri dari 430 stasiun yang dibagi menjadi dua bagian yaitu sebagai acuan pada proses klasifikasi citra dan sebagai masukan untuk uji akurasi. Penentuan titik pengamatan didasarkan pada metode random sampling. Lokasi yang direncanakan menyebar di beberapa sisi Atol, namun pada kenyataannya terdapat beberapa lokasi yang sulit untuk dijangkau. Keterbatasan waktu dan juga kondisi perairan sangat berpengaruh dalam kegiatan lapangan seperti gelombang dan arus yang cukup kuat merupakan penghambat terbesar dalam mengambil sampel terutama pada titik yang berdekatan dengan laut lepas.

2.3. Analisis Data

2.3.1. Skema Klasifikasi

Pemetaan habitat bentik membutuhkan skema klasifikasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Skema klasifikasi merupakan kategori-kategori untuk mengelompokkan nilai piksel ke dalam kelas-kelas tertentu. Pembuatan skema klasifikasi dilakukan dengan mengacu pada prinsip tutupan habitat bentik dominan (Green *et al.*, 2000). Penentuan skema klasifikasi habitat bentik sampai saat ini belum memiliki ketentuan atau standarisasi yang baku, sehingga penamaan kelas habitat bentik disesuaikan dengan komposisi penyusun habitat bentik dominan yang teramati di lapangan.

2.3.2. Pra Pengolahan dan Klasifikasi Citra

Pra pengolahan citra meliputi pemotongan citra, koreksi sun-glint dan koreksi kolom air. Citra Sentinel-2A level-1C yang digunakan sudah terkoreksi atmosferik dan geometrik. Gangguan sun-glint diperbaiki dengan mengacu pada

(Mobley, 1994). Penghapusan gangguan kolom air dilakukan dengan menggunakan Algoritma Depth Invariant Index (DII) (Lyzenga, 1978; Lyzenga, 1981). Proses pra pengolahan citra menggunakan perangkat ENVI 5.2.

Klasifikasi dalam pendekatan berbasis piksel dan berbasis objek dilakukan menggunakan algoritma SVM. Algoritma klasifikasi ini berdasarkan prinsip linear classifier yang tergolong klasifikasi *machine learning*. Fungsi kernel rbf SVM dilakukan menggunakan persamaan (Vapnik, 1982):

$$k = \exp\left(-\frac{|x-x'|^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: x merepresentasikan vektor dari setiap data, σ merepresentasikan jumlah derajat dari fungsi polynomial

Klasifikasi berbasis piksel dilakukan dengan klasifikasi terbimbing (supervised classification). Perangkat lunak yang digunakan adalah QGIS 3.2.3 dengan Plugin Dzsaka Tools. Klasifikasi berbasis objek dilakukan dengan tahapan yaitu segmentasi citra satelit menggunakan *algoritma segmentasi multi-resolution segmentation* (MRS). Proses segmentasi objek didasarkan pada parameter ukuran atau skala (scale), bentuk (shape), dan kekompakan atau compactness (Navulur, 2007). Selanjutnya adalah tahap klasifikasi yang digunakan untuk menetapkan kategori objek setiap segmen menggunakan algoritma machine learning SVM berdasarkan atribut kelas skema klasifikasi yang dikembangkan dari data lapangan dengan menerapkan teknik klasifikasi terbimbing. Klasifikasi terbimbing merupakan proses pengelompokkan piksel pada citra menjadi beberapa kelas tertentu dengan berdasarkan pada statistik sampel piksel (training) atau region of interest (daerah uji) yang ditentukan oleh pengguna sebagai acuan.

2.4. Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan terhadap hasil klasifikasi habitat bentik untuk mengetahui

tingkat akurasi dari kedua teknik klasifikasi yang diterapkan. Uji akurasi yang umum dilakukan pada data hasil klasifikasi penginderaan jauh adalah matriks kesalahan/confusion matrix. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi terhadap kelas atau objek sebenarnya yang diperoleh berdasarkan pengamatan secara langsung di lapangan (Wahidin *et al.*, 2015). Uji akurasi yang digunakan mengacu pada metode (Congalton & Green, 2009) yang komponennya terdiri dari *Overall Accuracy* (OA), *Producer Accuracy* (PA), *User Accuracy* (UA). Adapun perhitungan akurasi dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Producer Accuracy} = \frac{n_{jj}}{n+j} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{User Accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_i+} \dots\dots\dots (4)$$

Akurasi kedua metode klasifikasi yang digunakan dinilai dari matriks kesalahan dengan menggunakan uji-Z berbasis KHAT atau uji statistik K (Kappa). Uji Z statistik untuk menguji jika dua error matrix independen berbeda secara signifikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Skema Klasifikasi

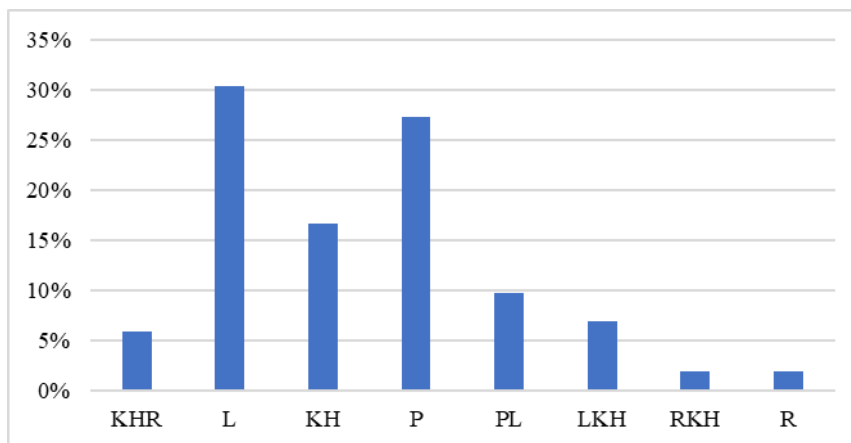
Skema klasifikasi menghasilkan kelompok kelas habitat bentik dengan frekuensi kehadiran minimal 4% (Green *et al.*, 2000). Kelas dari skema klasifikasi yang tidak memenuhi nilai frekuensi kehadiran minimal dari data input, selanjutnya dikelompokkan pada kelas yang hampir sama dengan kelas yang telah dibentuk. Sampai saat ini penamaan kelas habitat bentik belum memiliki standarisasi yang baku, sehingga disesuaikan dengan komposisi penyusun habitat bentik dominan yang teramati di lapangan. Beberapa

penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan dan menghasilkan skema klasifikasi atau jumlah kelas yang berbeda-beda (Phinn *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013; Wahidin *et al.*, 2015; Sugara *et al.*, 2020; Siregar *et al.*, 2020).

Persentase nilai frekuensi kehadiran komponen bentik berkisar antara 1 - 30% (Gambar 2). Habitat bentik kelas Lamun merupakan komponen habitat dengan persentase tertinggi yaitu 30%. Komponen habitat bentik dengan persentase terendah adalah kelas Rubble Karang Hidup yaitu 1%. Komponen habitat bentik lainnya secara berturut-turut adalah Pasir (29%), Karang Hidup (17%), Pasir Rubble (9%), Lamun Karang Hidup (6,0%), Pasir Karang Hidup (5%), Rubble (3%), Rubble Karang Hidup (1%). Komponen bentik Rubble dan Rubble Karang Hidup dengan persentase kehadiran masing-masing 3% dan 1% tidak disertakan dalam analisis pengelompokan untuk pengembangan skema klasifikasi. Komponen habitat bentik di Atol Kaledupa dikelompokkan menjadi 6 kelas. Distribusi habitat bentik yang ditemukan terdiri dari Karang Hidup (KH), Pasir (P), Lamun (L), Pasir Karang Hidup (PKH), Lamun Karang Hidup (LKH), dan Pasir Rubble (PR). Kelas-kelas ini merupakan komponen kelas habitat bentik yang memiliki frekuensi kehadiran lebih dari 4%. Kelas Rubble dan Rubble Karang Hidup tidak digunakan dalam proses klasifikasi karena memiliki frekuensi kehadiran kurang dari 4%. Pengelompokan kurang dari 4% sebaiknya dihilangkan dan tidak digunakan dalam penentuan jumlah kelas habitat pada proses klasifikasi dan validasi objek (Green *et al.*, 2000).

3.2. Klasifikasi Berbasis Pikel dan Objek

Citra Satelit Sentinel 2 yang telah terkoreksi kolom air digunakan dalam proses klasifikasi. Klasifikasi berbasis piksel menggunakan metode klasifikasi terbimbing dengan algoritma SVM menunjukkan habitat bentik kelas Pasir (P) merupakan yang paling



Gambar 2. Persentase frekuensi kehadiran komponen habitat bentik.

mendominasi di sepanjang Atol Kaledupa dengan luas sebesar 5064,8 ha. Kelas Pasir Rubble (PR) merupakan kelas dengan luasan area paling kecil 368,69 ha. Kelas lain mempunyai luas berturut-turut Karang Hidup (H) 4742,16 ha; Lamun Karang Hidup (LKH) 4693,59 ha; Lamun (L) 3953,81 ha; dan Pasir Karang Hidup (PKH) 3152,05 ha (Gambar 3A).

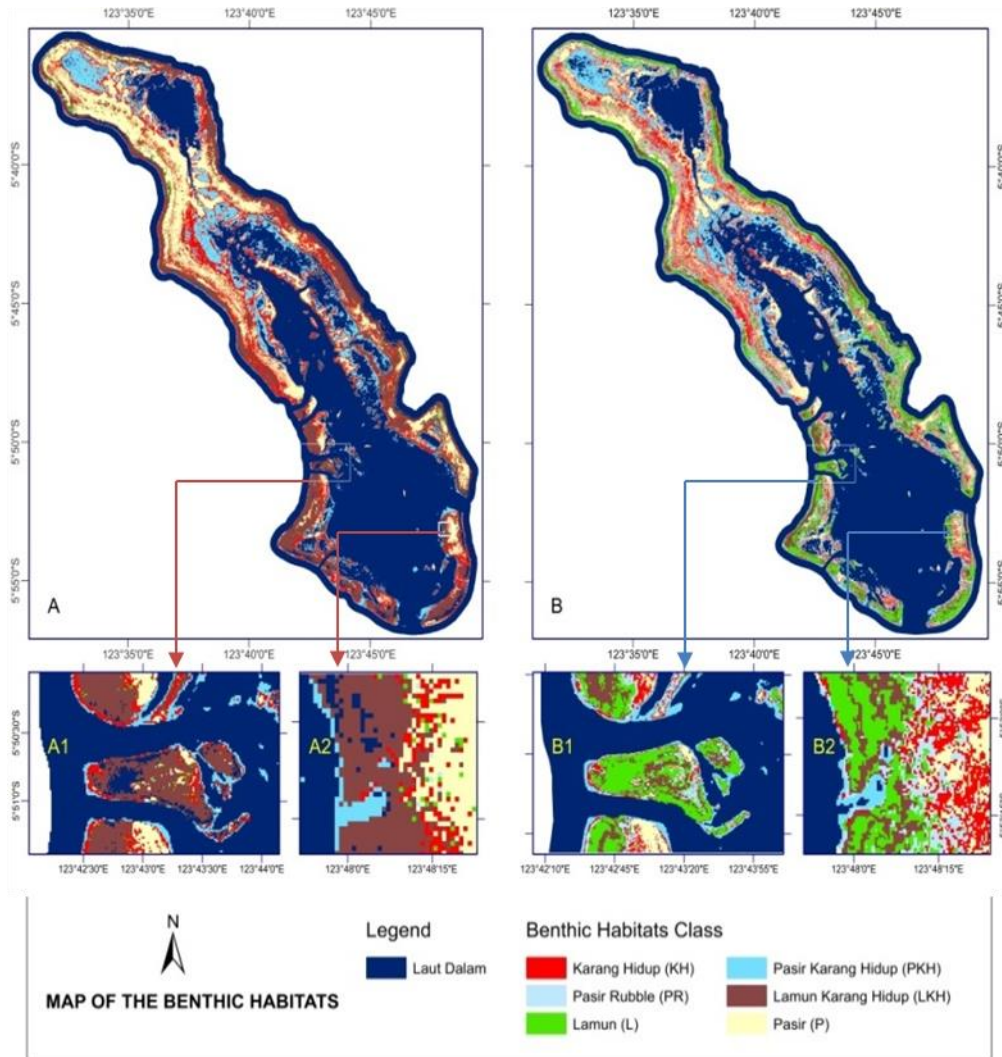
Klasifikasi berbasis objek dilakukan dengan menggunakan metode *multiresolution segmentation (MRS)* *scale parameter* 10, *shape* 0,02 dan *compactness* 0,98. Sampai saat ini belum ada framework teoritis tentang parameter segmentasi sehingga parameter-parameter segmentasi tiap level melalui metode try and error. Keseluruhan objek segmentasi kelas habitat bentik menghasilkan 547004 objek. Objek yang dihasilkan tersebut selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan data skema klasifikasi yang telah dibuat pada penelitian ini dengan menggunakan algoritma SVM.

Klasifikasi berbasis objek menghasilkan kelas Lamun (L) mendominasi di Atol Kaledupa dengan luas sebesar 4468,86 ha. Kelas habitat dengan luas terkecil adalah Pasir Rubble (PR) sebesar 2414,61 ha. Kelas Pasir (P) 4300,42 ha; Karang Hidup (KH) 4385,9 ha; Pasir Karang Hidup (PKH) 3925,81 ha; Lamun Karang Hidup 2608 ha dan Pasir Rubble (PR) 2414,61 ha (Gambar 3B).

Klasifikasi berbasis objek memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan klasifikasi berbasis piksel. Keunggulan klasifikasi berbasis objek adalah menggunakan tiga parameter utama sebagai pemisah objek, yaitu *scale*, *shape*, *compactness* sehingga dalam mengekstraksi tutupan habitat bentik dari citra satelit pada pemisahan antar objek menjadi sangat akurat dan presisi. Selain itu klasifikasi objek memiliki kelebihan dalam efisiensi waktu pengerjaan. Klasifikasi berbasis piksel kelas Lamun Karang Hidup (LKH) merupakan kelas yang mengandung banyak kesalahan klasifikasi, karena setelah dilakukan klasifikasi berbasis objek terdapat kelas lamun yang juga berada pada kelas tersebut. Beberapa kelas lain seperti kelas pasir karang hidup dan kelas lamun terdapat pada kelas pasir. Klasifikasi berbasis piksel memiliki kelemahan dalam pemisahan kelas pada citra resolusi tinggi. Kelemahan klasifikasi berbasis piksel untuk pengolahan citra resolusi tinggi dapat diantisipasi dengan memanfaatkan klasifikasi berorientasi objek (Kux & Pinho, 2006).

3.3. Uji Akurasi

Hasil uji akurasi dari klasifikasi berbasis piksel dan objek memiliki perbedaan nilai *Overall Accuracy (OA)*. Metode klasifikasi berbasis objek menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik



Gambar 3. Hasil klasifikasi habitat bentik; (A) Berbasis piksel dan (B) Berbasis objek.

dibandingkan dengan klasifikasi berbasis piksel dengan nilai OA masing-masing klasifikasi 78,1% berbanding 61,8 %. Nilai akurasi klasifikasi dengan metode confusion matriks disajikan pada Tabel 1.

Klasifikasi berbasis piksel menghasilkan 4 kelas habitat yang bercampur pada kelas lain yaitu kelas Pasir Rubble yang masuk pada kelas Lamun dan kelas Pasir Karang Hidup dan Lamun Karang Hidup atau sebaliknya yang menyebabkan pada 4 kelas ini diperoleh akurasi UA dan PA menjadi rendah dari 48%-76%. Akurasi tersebut mengindikasikan bahwa terdapat kemiripan nilai spektral pada kelas tersebut sehingga menyebabkan terjadi

kesalahan klasifikasi. Klasifikasi berbasis objek menghasilkan 3 kelas yang bercampur diantaranya adalah kelas Pasir Rubble yang masuk pada kelas Lamun dan Karang Hidup atau sebaliknya diperoleh akurasi UA dan PA menjadi rendah dari 54%-72%. Klasifikasi berbasis obyek mempunyai kelebihan dengan homogenitas obyek yang tinggi, batas antara kelas yang jelas dan tegas, serta akurasi yang tinggi walau masih ada kesalahan pada beberapa kelas penutupan (Manula *et al.*, 2016). Perbandingan antara dua atau lebih akurasi pemetaan pada klasifikasi citra diketahui melalui analisis Kappa dan Z- test. Nilai varian Kappa yang tertinggi yaitu

Tabel 1. Hasil penilaian uji akurasi klasifikasi berbasis piksel dan objek berdasarkan nilai *Producer Accuracy* (PA) dan *User Accuracy* (UA).

Kelas Habitat Bentik	Klasifikasi Berbasis Piksel		Klasifikasi Berbasis Objek	
	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)
Karang Hidup (KH)	51,4	51,4	70,2	74,2
Pasir Rubble (PR)	85	48,5	86,3	54,2
Lamun (L)	44,4	91,4	72,5	82,8
Pasir Karang Hidup (PKH)	76,9	57,1	87,8	82,8
Lamun Karang Hidup (LKH)	76,6	65,7	85,3	1,00
Pasir (P)	84,3	67,5	80,9	85,0
<i>Overall Accuracy</i> (%)	61,8		78,1	

0,001721 pada klasifikasi berbasis objek dan yang terendah adalah 0,00028 pada klasifikasi berbasis piksel. Matriks kesalahan klasifikasi berbasis piksel dan objek dengan algoritma SVM diperoleh nilai Z 4,357, kedua klasifikasi tersebut dapat dikatakan berbeda signifikan. Nilai Z statistik dikatakan berbeda signifikan jika hasil Z statistik lebih besar dari 1,96 (Congalton & Green, 2009).

IV. KESIMPULAN

Klasifikasi habitat bentik dengan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan menggunakan metode berbasis objek mampu memberikan informasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode berbasis piksel. Habitat bentik Atol Kaledupa dapat dipetakan dengan baik menggunakan data Sentinel-2 untuk 6 kelas habitat. *Overall Accuracy* dari kedua metode, klasifikasi berbasis objek memiliki akurasi lebih tinggi (78,1%) dibandingkan dengan klasifikasi berbasis piksel (61,8%). Hasil tersebut dapat dikatakan bahwa kedua metode klasifikasi berbeda signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Daerah Kabupaten Wakatobi melalui program bantuan penelitian pascasarjana mahasiswa Wakatobi, Balai

Taman Nasional Wakatobi atas bantuan peralatan dan fasilitas selama proses pengambilan data lapangan, serta teman-teman yang telah ikut membantu dalam pengambilan data lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada reviewer yang telah memberikan masukan untuk kesempurnaan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abelson, A. 2020. Are we sacrificing the future of coral reefs on the altar of the “climate change” narrative?. *ICES J. of Marine Science*, 77(1): 40-45. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz226>
- Anggoro, A., V.P. Siregar, & S.B. Agus. 2016. The effect of sunglint on benthic habitats mapping in Pari Island using worldview-2 imagery. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.101>
- Bauer, M.E. 2020. Remote sensing of environment: history, philosophy, approach and contributions, 1969–2019. *Remote Sensing of Environment*, 237: 111522. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111522>
- Brandl, S.J., M.J. Emslie, D.M. Ceccarelli, & T.Z. Richards. 2016. Habitat degradation increases functional originality in highly diverse coral reef

- fish assemblages. *Ecosphere*, 7(11): e01557.
<https://doi.org/10.1002/ecs2.1557>
- Bruno, J.F. & A. Valdivia. 2016. Coral reef degradation is not correlated with local human population density. *Scientific Reports*, 6(1): 1-8.
<https://doi.org/10.1038/srep29778>
- Bruno, J.F., I.M. Côté & L.T. Toth. 2019. Climate change, coral loss, and the curious case of the parrotfish paradigm: Why don't marine protected areas improve reef resilience?. *Annual review of marine science*, 11: 307-334.
<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010318-095300>
- Brovelli, M.A., M.E. Molinari, E. Hussein, J. Chen & R. Li. 2015. The first comprehensive accuracy assessment of GlobeLand30 at a national level: Methodology and results. *Remote Sensing*, 7(4): 4191-4212.
<https://doi.org/10.3390/rs70404191>
- Congalton, R.G. & K. Green. 2008. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Taylor & Francis Group. 183 p.
- Fourqurean, J.W., C.M. Duarte, H. Kennedy, N. Marbà, M. Holmer, M.A. Mateo, E.T. Apostolaki, G.A. Kendrick, D. Krause-Jensen & K.J. Mcglathery. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5: 505-509.
<https://doi.org/10.1038/ngeo1477>
- Galparsoro, I., A. Borja, & M.C. Uyarra. 2014. Mapping ecosystem services provided by benthic habitats in the European North Atlantic Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 1: 1-14.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00023>
- Gao, J. 2009. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. *Progress in Physical Geography*, 33(1): 103-116.
<https://doi.org/10.1177/0309133309105657>
- Green, E., P. Mumby, A. Edwards, & C. Clark. 2000. *Remote sensing: handbook for tropical coastal management*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- Hafizt, M., M.D.M. Manessa, N.S. Adi, & B. Prayudha. 2017. Benthic habitat mapping by combining lyzenga's optical model and relative water depth model in Lintea Island, Southeast Sulawesi. *Earth and Environmental Sciences*, (98): 012037.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012037>
- Harmel, T., M. Chami, T. Tormos, N. Reynaud, & P.A. Danis. 2018. Sun glint correction of the Multi-Spectral Instrument (MSI)-SENTINEL-2 imagery over inland and sea waters from SWIR bands. *Remote Sensing of Environment*, 204: 308-321.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.022>
- Hedley, J.D., A.R. Harborne, & P.J. Mumby. 2005. Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *International Journal of Remote Sensing*, 26(10): 2107-2112.
<https://doi.org/10.1080/01431160500034086>
- Hoegh-Guldberg, O. 2011. Coral reef ecosystems and anthropogenic climate change. *Regional Environmental Change*, 11(1): 215-227.
<https://doi.org/10.1007/s10113-010-0189-2>
- Hoegh-Guldberg, O., E.S. Poloczanska, W. Skirving, & S. Dove. 2017. Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science*, 4(158): 1-20.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158>
- Kachelriess, D., M. Wegmann, M. Gollock, & N. Pettorelli. 2014. The application of remote sensing for marine protected area management. *Ecological*

- Indicators, 36: 169-177
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.003>
- Kuhn, C., A. de Matos Valerio, N. Ward, L. Loken, H.O. Sawakuchi, M. Kampel, ... & E. Vermote. 2019. Performance of Landsat-8 and Sentinel-2 surface reflectance products for river remote sensing retrievals of chlorophyll-a and turbidity. *Remote Sensing of Environment*, 224: 104-118.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.023>
- Kux, H.J.H. & C.M.D. Pinho, 2006. Object-oriented analysis of high-resolution satellite image for intra-urban land cover classification: case study in São José Dos Campos, São Paulo State, Brazil. Brazil : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Li, W. & Q. Guo. 2013. A new accuracy assessment method for one-class remote sensing classification. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 52(8): 4621-4632.
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2283082>
- Lillesand, T., R.W. Kiefer, & J. Chipman, 2015. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
- Lyzenga, D.R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied optics*, 17(3): 379-383.
<https://doi.org/10.1364/AO.17.000379>
- Lyzenga, D.R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1): 71-82.
<http://doi.org/10.1080/01431168108948342>
- Madanguit, C.J.G., J.P.L. Oñez, H.G. Tan, M.D. Villanueva, J.E. Ordaneza, & A.U. Novero. 2017. Application of support vector machine (SVM) and quick unbiased efficient statistical tree (QUEST) algorithms on mangrove and agricultural resource mapping using lidar data sets. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 12(10): 1821-1830.
- Manalu, R.J., Sutanto, A. & Trisakti, B. 2016. Perbandingan metode klasifikasi penutup lahan berbasis piksel dan berbasis obyek menggunakan data piasar-L2. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 13(1): 49-60.
<https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2016.v13.a2936>
- Mastu, L.O.K. 2018. Pemetaan habitat bentik berbasis objek menggunakan citra unmanned aerial vehicle (UAV) dan satelit sentinel-2 di perairan Pulau Wangi-Wangi Kabupaten Wakatobi. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, ??(??): 381-396.
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i2.21039>
- McCarthy, M.J., K.E. Colna, M.M. El-Mezayen, A.E. Laureano-Rosario, P. Méndez-Lázaro, D.B. Otis, ... & F.E. Muller-Karger. 2017. Satellite remote sensing for coastal management: A review of successful applications. *Environmental Management*, 60(2): 323-339.
<https://doi.org/10.1007/s00267-017-0880-x>
- McCormick, M.I., D.P. Chivers, B.J. Allan, & M.C. Ferrari. 2017. Habitat degradation disrupts neophobia in juvenile coral reef fish. *Global change biology*, 23(2): 719-72.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13393>
- Mellin, C., D. Mouillot, M. Kulbicki, T.R. McClanahan, L. Vigliola, C.J.A. Bradshaw,... & M.J. Caley. 2016. Humans and seasonal climate variability threaten large-bodied coral reef fish with small ranges. *Nature Communications*, 7(1): 1-9.
<https://doi.org/10.1038/ncomms10491>

- Mobley, C.D. 1994. *Light and water radiative transfer in natural waters*. California: Academic Press, Inc. 579p.
- Mora, C. 2008. A clear human footprint in the coral reefs of the Caribbean. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1636): 767-773.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1472>
- Mumby, P.J., E.P. Green, A.J. Edwards, & C.D. Clark. 1997. Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide?. *Marine Biology*, 130(2): 193-202.
<https://doi.org/10.1007/s002270050238>
- Mumby, P.J., C.D. Clark, E.P. Green, & A.J. Edwards. 1998. Benefits of water column correction and contextual editing for mapping coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 19(1): 203-210.
<https://doi.org/10.1080/014311698216521>
- Navulur, K. 2007. *Multispektral image analysis using the object-oriented paradigm Taylor & Francis Group*. LLC. 171 p.
- Ouellette, W. & W. Getinet. 2016. Remote sensing for marine spatial planning and integrated coastal areas management: achievements, challenges, opportunities and future prospects. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4: 138-157.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.07.003>
- Phinn, S.R., C.M. Roelfsema, & P.J. Mumby. 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>
- Pragunanti, T., B. Nababan, H. Madduppa, & D. Kushardono. 2020. Accuracy assessment of several classification algorithms with and without hue saturation intensity input features on object analyses on benthic habitat mapping in the Pajenekang Island Waters, South Sulawesi. In IOP conference series: Earth and environmental science. IOP Publishing. 429: 012044.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012044>
- Randin, C.F., M.B. Ashcroft, J. Bolliger, J. Cavender-Bares, N.C. Coops, S. Dullinger,... & G. Giuliani. 2020. Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. *Remote sensing of environment*, 239: 111626.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111626>
- Rogers, A., J.L. Blanchard, & P.J. Mumby. 2018. Fisheries productivity under progressive coral reef degradation. *Journal of applied ecology*, 55(3): 1041-1049.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13051>
- Roth, F., F. Saalman, T. Thomson, D.J. Coker, R. Villalobos, B.H. Jones,... & S. Carvalho. 2018. Coral reef degradation affects the potential for reef recovery after disturbance. *Marine Environmental Research*, 142: 48-58.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.09.022>
- Siregar, V.P., M.S. Sangadji, S.B. Agus, A. Sunuddin, R.A. Pasaribu, & E. Kurniawati. 2020. Klasifikasi habitat perairan dangkal dari citra multispasial di Perairan Pulau Kapota dan Pulau Kompoone, Kepulauan Wakatobi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(3): 791-803.
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i3.32013>
- Sugara, A., V.P. Siregar, & S.B. Agus. 2020. Klasifikasi habitat bentik perairan dangkal dari citra worldview-2 menggunakan data in-situ dan drone. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan*

- Tropis*, 12(1): 135-150.
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.26448>
- Vahtmäe, E., T. Kutser, & B. Paavel. 2020. Performance and applicability of water column correction models in optically complex coastal waters. *Remote Sensing*, 12(11): 1861.
<https://doi.org/10.3390/rs12111861>
- Vapnik, V. 1982. *Estimation of Dependences Based on Empirical Data [in Russian]*. Nauka, Moscow. English translation, Springer Verlag, New York. 211-222.
- Vidya, N.A., M.I. Fanany, & I. Budi. 2015. Twitter sentiment to analyze net brand reputation of mobile phone providers. *Procedia Computer Science*, 72: 519-526.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.159>
- Wahidin, N., V.P. Siregar, B. Nababan, I. Jaya, & S. Wouthuyzen. 2015. Object-based image analysis for coral reef benthic habitat mapping with several classification algorithms. *Procedia Environmental Sciences*, 24: 222-227.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.029>
- Wicaksono, P., P.A. Aryaguna, & W. Lazuardi. 2019. Benthic habitat mapping model and cross validation using machine-learning classification algorithms. *Remote Sensing*, 11(11): 1279.
<https://doi.org/10.3390/rs11111279>
- Wilson, S.K., R. Fisher, M.S. Pratchett, N.A.J. Graham, N.K. Dulvy, R.A. Turner,... & S.P. Rushton. 2010. Exploitation and habitat degradation as agents of change within coral reef fish communities. *Global Change Biology*, 14(12): 2796-2809.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01696.x>
- Zhang, C., D., Selch, Z., Xie, C., Roberts, H., Cooper, & G. Chen. 2013. Object-based benthic habitat mapping in the Florida Keys from hyperspectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 134: 88-97.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.018>
- Zheng, Z., J. Ren, Y. Li, C. Huang, G. Liu, C. Du, & H. Lyu. 2016. Remote sensing of diffuse attenuation coefficient patterns from Landsat 8 OLI imagery of turbid inland waters: A case study of Dongting Lake. *Science of the Total Environment*, 573: 39-54.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.019>
- Zoffoli, M.L., R. Frouin, & M. Kampel. 2014. Water column correction for coral reef studies by remote sensing. *Sensors*, 14(9): 16881-16931.
<https://doi.org/10.3390/s140916881>
- Submitted* : 16 April 2021
Reviewed : 30 June 2022
Accepted : 17 December 2022

FIGURE AND TABEL TITLES

Figure 1. Map of research locations; red dot sampling location benthic habitat.

Figure 2. Percentage of frequency of presence of benthic habitat components.

Figure 3. Benthic habitat classification results; (A) Pixel-based and (B) Object-based.

Table 1. The results of the assessment of the pixel-based and object-based classification accuracy tests based on the Producer Accuracy (PA) and User Accuracy (UA) values.