

Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-2A Untuk Pemetaan Habitat Dasar Perairan Dangkal (Studi Kasus: Teluk Humbolt, Kota Jayapura)

Alfred Dimara^{1*}, Baigo Hamuna² dan Lisiard Dimara²

¹Mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu Kelautan dan Perikanan, FMIPA, Universitas Cenderawasih, Kota Jayapura

²Jurusan Ilmu Kelautan dan Perikanan, FMIPA Universitas Cenderawasih, Kota Jayapura

*e-mail korespondensi: dimaraalfred05@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 11 Mei 2020
Disetujui : 03 Juni 2020
Terbit Online : 08 Juni 2020

Keywords:

Bottom habitat
Sentinel-2A
Supervised
Lyzenga algorithm
Humbolt Bay

ABSTRACT

The waters of Humbolt Bay in Jayapura City have a diversity of habitats in shallow water. The purpose of this study is to map the shallow water habitat in the waters of Humbolt Bay, Jayapura City using Sentinel-2A satellite imagery. This research was conducted from April to May 2019 in several parts of Humbolt Bay, including Kosong Island, Kayupulo Island, and along the coast from Hamadi to Weref. Mapping of shallow water habitat using the supervised classification method with Lyzenga algorithm transformation. The accuracy of the classification results is done by using the confusion matrix method to compare the sample points in the field with the results of the classification of satellite images. Sentinel-2A satellite image data processing results obtained shallow water habitat including live coral, seagrass, dead coral, and sand with an estimated area of about 269.8 Ha, 148.9 Ha, 156.1 Ha, and 87.6 Ha. The results of the accuracy-test analysis showed that the mapping accuracy was 73.77% of the 61 validation points used for the accuracy test.

Copyright © 2020 Universitas Cenderawasih

PENDAHULUAN

Perairan Teluk Humbolt merupakan salah satu perairan yang memiliki peranan penting di Kota Jayapura. Berbagai keanekaragaman hayati pun terdapat di dalam kawatan teluk tersebut, terutama pada perairan dangkal. Perairan dangkal merupakan salah satu wilayah yang mempunyai dinamika tinggi dan peranan penting baik secara ekonomi maupun ekologi (Setyawan et al., 2014). Untuk itu diperlukan informasi yang dapat menggambarkan keberadaan habitat dasar perairan dangkal di Teluk Humbolt sehingga keberadaannya tetap terus terjaga dan dapat bersifat berkelanjutan. Pemetaan habitat dasar perairan sangat diperlukan untuk pengelolaan dan upaya konservasi ekosistem perairan dangkal (Reshintnyk et al., 2014).

Berbagai penelitian yang terus berkembang mampu membantu dan memudahkan dalam pengumpulan informasi dan survei kelautan. Pemetaan dasar perairan dangkal memerlukan metode yang cepat dan tepat dengan mengacu ke dalam skala spasial dan temporal. Saat ini, perkembangan teknologi penginderaan jauh telah membuktikan bahwa penginderaan jauh dapat digunakan sebagai alternatif yang paling ideal untuk pendeteksian habitat dasar perairan. Sensor yang dibawa oleh wahana penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk mendeteksi berbagai

karakteristik ekosistem perairan laut dangkal (Siregar, 2010).

Dalam lingkup penginderaan jauh, perairan dangkal merupakan istilah yang merujuk pada kemampuan citra satelit untuk menembus kolom perairan (Setyawan et al., 2014). Oleh karena itu, pemetaan perairan dangkal, terutama terumbu karang dapat dilakukan sampai batas kedalaman yang dapat dideteksi oleh sensor satelit (Nugrahadi, 2010 dalam Guntur et al., 2012). Habitat benthik pada perairan dangkal dapat diamati menggunakan citra penginderaan jauh dengan spektrum tampak yang memiliki jumlah antara 0,4 μm hingga 0,7 μm (Sutanto, 1986). Kemampuan penetrasi gelombang elektromagnetik di kolom air sangat dipengaruhi karakteristik perairan tersebut. Penginderaan jauh optik dapat digunakan untuk pemetaan perairan dangkal yang relatif jernih dan dapat akan berkurang seiring semakin keruhnya perairan (Green et al., 2000). Semakin keruh air laut maka daya tembus kedua spektrum tersebut (band hijau dan biru) akan semakin berkurang (Guntur et al., 2012). Khusus untuk perairan dangkal yang relatif jernih, metode penginderaan jauh optik mampu mengindera atau mendeteksi kedalaman perairan antara 15–30 m (Mumby et al., 2003).

Berbagai penelitian untuk memetakan habitat perairan dangkal menggunakan citra satelit penginderaan jauh telah banyak dilakukan di Indonesia. Setyawan et al. (2014) telah melakukan

pemetaan profil dasar perairan dangkal berdasarkan bentuk topografinya menggunakan citra satelit multispektral di perairan Pulau Panggang, Kepulauan Seribu. Amrillah et al. (2019), melakukan pemetaan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kelapan, menggunakan citrasatelit Sentinel-2A. Didi et al. (2018), melakukan pemetaan terumbu karang di Pulau Matahora, Kabupaten Wakatobi menggunakan citra satelit Landsat 8. Irawan et al. (2017) melakukan pemetaan multitemporal sebaran terumbu karang di Pulau Karimunjawa dengan menggunakan citra satelit Landsat 5, Landsat 7 dan Landsat 8. Adapun Karang et al. (2019) melakukan penelitian untuk membandingkan hasil pemetaan habitat dasar perairan dangkal menggunakan citra satelit Landsat 8 dengan Sentinel-2A di perairan Tanjung Benoa.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan habitat dasar perairan dangkal di sebagian perairan Teluk Humbolt, Kota Jayapura, Provinsi Papua. Pemetaan dilakukan dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2A. Informasi yang diperoleh pada penelitian ini dapat dijadikan sebagai data awal dalam melakukan pemetaan habitat dasar perairan dangkal, terutama terumbu karang di Teluk Humbolt, Kota Jayapura.

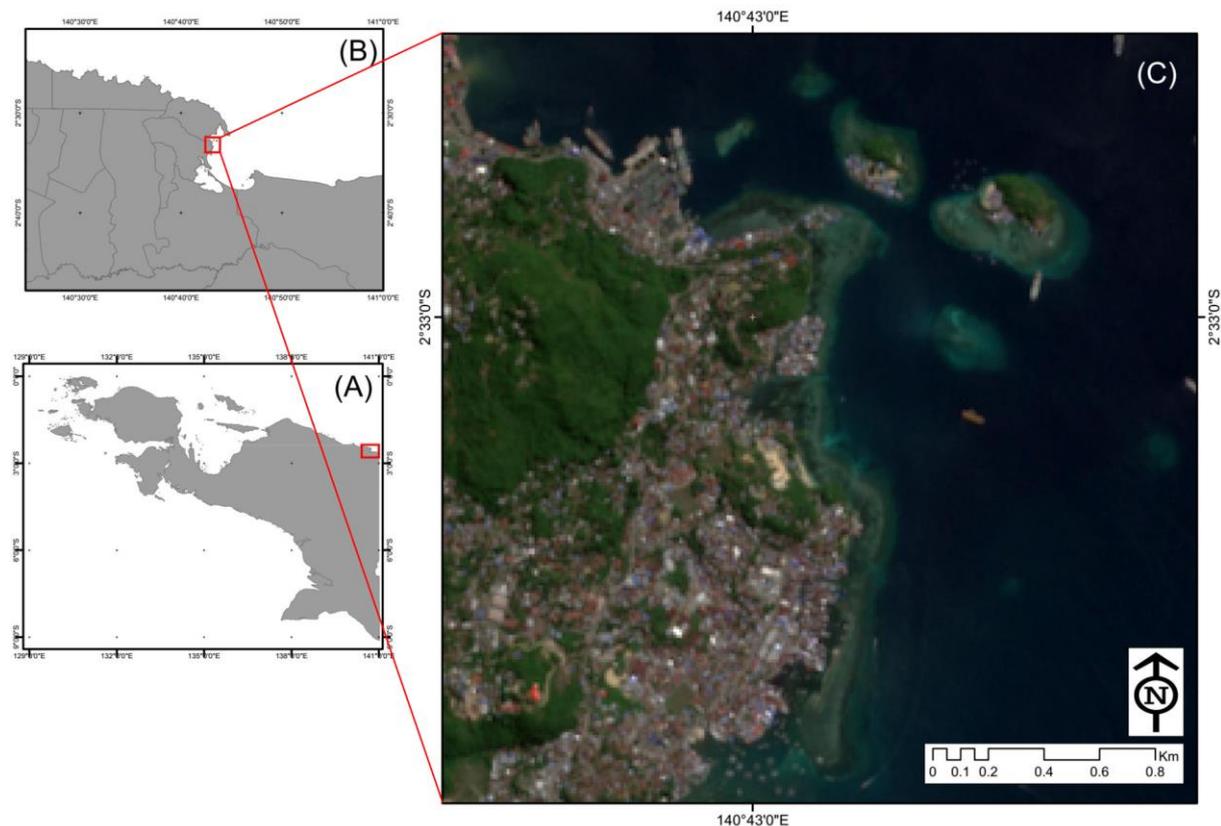
BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perairan Teluk Humbolt, Kota Jayapura (Gambar 1). Pengambilan data koordinat habitat dasar perairan dangkal di lapangan yang akan digunakan untuk proses validasi atau uji akurasi ketelitian klasifikasi dilaksanakan pada tanggal 14 dan 17 Mei 2019. Secara keseluruhan, penelitian ini berlangsung selama dua bulan, yaitu pada bulan April sampai Mei 2019.

Perolehan Citra Satelit

Citra satelit yang digunakan untuk pemetaan habitat dasar perairan dangkal di Teluk Humbolt adalah citra satelit Sentinel-2A level 1C akuisisi tanggal 25 Februari 2019. Citra satelit Sentinel-2A dapat diperoleh dengan cara mendownload pada website: <https://scihub.copernicus.eu>. Satelit Sentinel-2A merupakan satelit generasi baru yang dirancang oleh *European Space Agency* (ESA) untuk observasi bumi yang keseluruhan datanya dapat diakses secara gratis. Satelit Sentinel-2A memiliki resolusi temporal 10 hari (satelit tunggal) 5 hari (konstelasi gabungan), serta resolusi radiometrik 12 bit. Adapun karakteristik sensor satelit Sentinel-2A disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian; (a) Pulau Papua, (b) Kota Jayapura, dan (c) sebagian perairan Teluk Humbolt

Tabel 1. Karakteristik citra Sentinel-2A

Nama band	Panjang gelombang (μm)	Resolusi (m)
Band 1 <i>Coastal Aerosol</i>	0,443	60
Band 2 <i>Blue</i>	0,443	10
Band 3 <i>Green</i>	0,560	10
Band 4 <i>Red</i>	0,665	10
Band 5 <i>Vegetation Red Edge</i>	0,705	20
Band 6 <i>Vegetation Red Edge</i>	0,740	20
Band 7 <i>Vegetation Red Edge</i>	0,783	20
Band 8 NIR	0,842	10
Band 8b <i>Vegetation Red Edge</i>	0,865	20
Band 9 <i>Water Vapour</i>	0,945	60
Band 10 SWIR-Cirrus	1,380	20
Band 11 SWIR	1,610	20
Band 12 SWIR	2,190	20

Pengolahan Citra Satelit

Perangkat lunak yang digunakan untuk proses pengolahan citra satelit adalah perangkat lunak ER-Mapper 7.0, sedangkan untuk proses layout peta hasil klasifikasi menggunakan perangkat lunak Arc Map 10.1. Tahap awal pengolahan citra satelit adalah melakukan proses *cropping* atau pemotongan citra satelit dan dilanjutkan dengan proses *masking* yaitu pemisahan daratan dan laut dengan menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Water Index*). Adapun persamaan NDWI sebagai berikut (McFeeters, 2013):

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

Pada citra satelit Sentinel-2A, *Green* adalah band 3 dan NIR adalah band *Near Infrared* atau band 8.

Setelah dilakukan proses *masking*, maka langkah selanjutnya adalah pengolahan citra satelit yang terdiri dari proses komposit band, transformasi citra satelit atau koreksi kolom air menggunakan analisis Lyzenga, dan klasifikasi citra satelit menggunakan metode klasifikasi *supervised*. Penyusunan komposit band citra satelit bertujuan untuk memperoleh pewarnaan RGB (*Red-Green-Blue*) sealam mungkin. Pada penelitian ini komposit citra yang digunakan yaitu komposit warna asli (*true color composite*). Komposit warna asli (*true color composite*) merupakan komposit band yang direkomendasikan untuk tujuan mengidentifikasi habitat perairan dangkal dengan kemampuan penetrasi ke dalam air jernih yang cukup baik (BIG, 2014).

Koreksi kolom air dilakukan untuk mendapatkan informasi objek di bawah permukaan air yang sudah bebas dari pengaruh kedalaman air, kekeruhan, dan pergerakan muka air dengan membuat citra baru dari *Depth Invariant Index* (Lyzenga, 1981). *Depth Invariant Index* dibentuk dengan kombinasi band sinar tampak dengan persamaan sebagai berikut (Lyzenga, 1981):

$$DII_{ij} = \ln(L_i) - \left[\left(\frac{k_i}{k_j} \right) \ln(L_j) \right]$$

$$\frac{k_i}{k_j} = a + \sqrt{a^2 + 1}$$

$$a = \frac{\sigma_{ii} - \sigma_{jj}}{2 \times \sigma_{ij}}$$

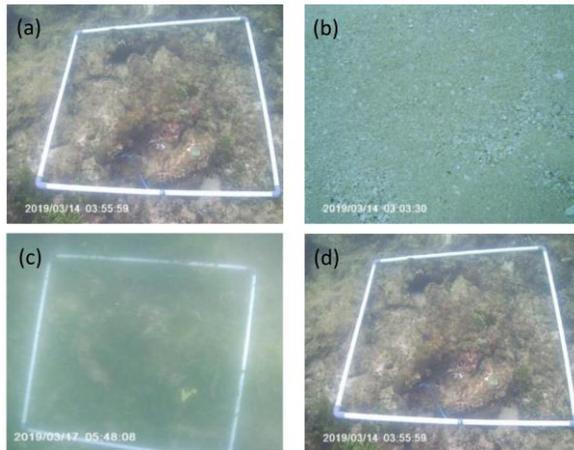
Keterangan:

- L_i = nilai reflektan band i (saluran dengan panjang gelombang lebih pendek)
- L_j = nilai reflektan band j (saluran dengan panjang gelombang lebih panjang)
- σ_{ii} = ragam atau varian band i (saluran dengan panjang gelombang lebih pendek)
- σ_{jj} = ragam atau varian band j (saluran dengan panjang gelombang lebih panjang)
- σ_{ij} = peragam atau covarian band i dan j
- k_i/k_j = rasio koefisien atenuasi band i dan j

Pengelompokan nilai pantulan dari setiap objek perairan dangkal ke dalam kelas-kelas tertentu dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*). Pada tahap awal melakukan klasifikasi citra dengan metode *supervised*, terlebih dahulu dilakukan digitasi *training area* untuk mengelompokkan piksel-piksel yang berwarna sama. Klasifikasi *supervised* dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Prinsip *Maximum Likelihood Classification* adalah mengelompokkan nilai piksel berdasarkan probabilitas suatu nilai piksel terhadap kelas tertentu dalam sampel piksel (BIG, 2014). Pada penelitian ini, proses klasifikasi dilakukan untuk membedakan 4 kelas habitat dasar perairan dangkal, karang hidup, karang mati, lamun dan pasir.

Pengambilan Data Lapangan

Data lapangan yang diperoleh digunakan untuk proses pengujian tingkat akurasi hasil klasifikasi citra satelit Sentinel-2A. Sebanyak 61 titik sampel digunakan untuk proses validasi akurasi hasil klasifikasi. Terdapat empat tipe habitat dasar perairan yang digunakan untuk proses klasifikasi sesuai dengan hasil klasifikasi. Pengambilan data lapangan menggunakan peralatan selam SCUBA yang dibantu dengan transek berukuran 1m x 1m untuk membantu dalam penentuan tipe habitat (Gambar 2). Posisi koordinat tiap tipe habitat yang diambil dicatat dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*).



Gambar 2. Tipe habitat dasar perairan dangkal untuk proses uji akurasi hasil klasifikasi; (a) karang hidup, (b) pasir, (c) lamun, dan (d) karang mati

Uji Akurasi Klasifikasi

Uji akurasi klasifikasi citra dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil klasifikasi citra dengan kondisi di lapangan. Data lapangan mencakup data hasil pengambilan posisi 4 tipe habitat dasar perairan dangkal menggunakan GPS yang akan digunakan untuk proses validasi (sebanyak 61 titik validasi). Untuk mengetahui tingkat akurasi dari hasil klasifikasi digunakan metode uji ketelitian klasifikasi *confusion matrix* yang mengacu pada Short (1982) dalam Hamuna et al. (2018) dengan formula berikut:

$$MA = \frac{Xcr_pixel}{Xcr_pixel + Xo_pixel + Xco_pixel} \times 100\%$$

Keterangan:

- MA = ketelitian pemetaan (*mapping accuracy*)
- Xcr = jumlah kelas X yang terkoreksi
- Xo = jumlah kelas X yang masuk ke kelas lain (omisi)
- Xco = jumlah kelas X tambahan dari kelas lain (komisi)

Uji ketelitian yang dihitung adalah *overall accuracy* (persentase dari piksel-piksel yang terkelaskan dengan tepat), *producer’s accuracy* (peluang rata-rata suatu piksel yang menunjukkan sebaran dari masing-masing kelas yang telah diklasifikasikan di lapangan) dan *user’s accuracy* (peluang rata-rata suatu piksel secara aktual yang mewakili kelas-kelas tersebut) (Congalton dan Green, 2009). *Overall accuracy* umumnya terlalu *over estimate*, sehingga dalam menghitung akurasi dianjurkan menggunakan akurasi kappa atau indeks kappa (Jaya, 2010). *Kappa accuracy* digunakan untuk menentukan bagaimana

klasifikasi jika dibandingkan dengan menempatkan secara acak nilai dari tiap-tiap pixel (Arhatin, 2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

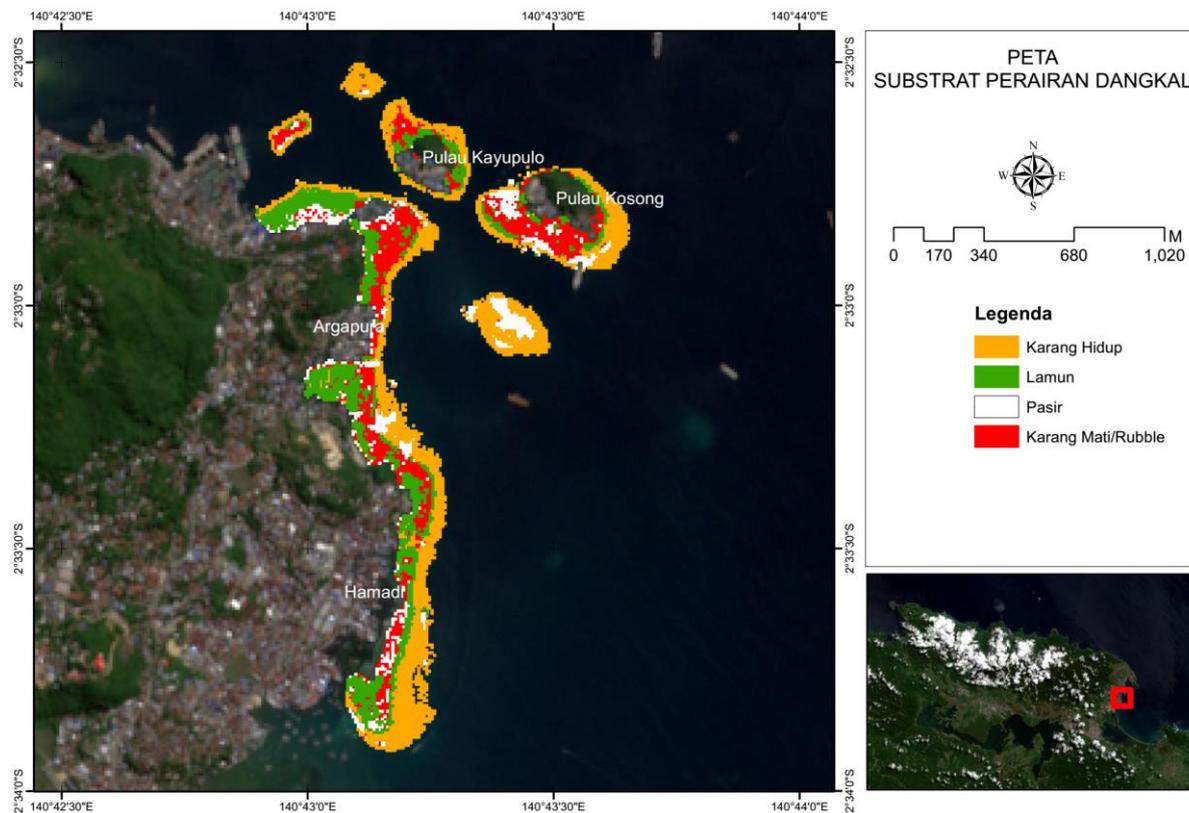
Klasifikasi Habitat Dasar Perairan Dangkal

Pada pengolahan Citra Sentinel-2A diperoleh gambaran bahwa sebagian perairan Teluk Humbolt dikelilingi oleh beberapa tipe habitat perairan dangkal. Sebaran penutupan habitat dasar perairan dangkal dapat diketahui melalui nilai luasan objek hasil analisis citra terklasifikasi. Hasil klasifikasi citra Sentinel-2A untuk pemetaan habitat dasar perairan dangkal disajikan pada Gambar 3. Proses klasifikasi untuk membedakan empat tipe kelas habitat dasar perairan dangkal, yaitu karang hidup, lamun, karang mati dan pasir. Berdasarkan luasan tiap kelas, habitat karang hidup memiliki yang paling banyak dijumpai, yaitu 269,8 Ha. Karang hidup tersebar hampir di seluruh lokasi penelitian. Adapun kelas habitat lainnya, seperti karang mati, lamun dan pasir masing-masing adalah 156,1 Ha, 148,9 Ha dan 87,6 Ha (Tabel 2).

Berbagai habitat dasar perairan merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap penentuan kawasan konservasi laut karena merupakan habitat bagi berbagai jenis ikan (Mustika, 2013). Habitat karang merupakan tempat ikan berkembang biak, mencari makan, dan merawat anaknya (*spawning, feeding, dan nursery ground*). Hasil penelitian Hamuna et al. (2019), kondisi terumbu karang di perairan Teluk Humbolt Kota Jayapura berada dalam kategori rusak parah hingga kategori baik. Secara umum, kondisi terumbu karang tersebut tersebar hampir merata di semua wilayah Teluk Humbolt yang terdapat terumbu karang.

Tabel 2. Luas tiap kelas habitat dasar perairan dangkal hasil klasifikasi citra Sentinel-2A

Lokasi	Kelas habitat	Luas (Ha)
Pulau Kosong	Karang hidup	4.01
	Lamun	1.2
	Karang mati	3.71
	Pasir	1.87
Pulau Kayupulo	Karang hidup	2.71
	Lamun	1.17
	Karang mati	1.19
	Pasir	0.02
Pantai Hamadi-Weref	Karang hidup	15.03
	Lamun	12.43
	Karang mati	10.15
	Pasir	4.99
Reef (3 lokasi reef)	Karang hidup	5.23
	Lamun	0.09
	Karang mati	0.56
	Pasir	1,88



Gambar 3. Peta distribusi tipe habitat dasar perairan dangkal hasil klasifikasi citra Sentinel-2A

Evaluasi Akurasi Klasifikasi

Validasi merupakan tahapan penting untuk menentukan tingkat akurasi atau ketelitian hasil klasifikasi yang diperoleh. Hasil uji ketelitian interpretasi yang dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan. Adapun hasil evaluasi pengujian akurasi klasifikasi empat tipe habitat dasar perairan dangkal pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3. Secara keseluruhan, akurasi total (*overall accuracy*) yang diperoleh adalah 73,77%. Nilai akurasi tersebut sangat baik dan telah memenuhi standar yang ditetapkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) 7716:2011, sehingga hasil klasifikasi dianggap dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan. Adapun SNI 7716:2011, nilai akurasi yang dapat diterima untuk pemetaan habitat dasar perairan laut dangkal adalah sebesar $\geq 60\%$ (LIPI, 2014).

Secara umum, tingkat akurasi hasil klasifikasi sangat dipengaruhi oleh tingkat ketelitian pada saat mengklasifikasikan citra satelit. Berbagai penelitian tentang klasifikasi habitat dasar perairan dangkal menggunakan citra satelit Sentinel-2A memberikan hasil akurasi yang berbeda-beda. Penelitian Amrillah et al. (2019) memperoleh tingkat akurasi yang lebih tinggi yaitu 84,00% untuk mengklasifikasikan empat kelas

habitat perairan dangkal, yaitu terumbu karang, alga, pasir dan pasir bercampur alga di perairan Pulau Kelapan, Kepulauan Karim Kabupaten Bangka Selatan. Karang et al. (2019) dengan tingkat akurasi 80,00% untuk mengklasifikasikan tiga tipe habitat perairan dangkal di Tanjung Benoa, Bali, seperti karang mati, lamun dan pasir. Selanjutnya, Semedi et al. (2019) dengan akurasi yang lebih rendah sekitar 70,26% yang mengklasifikasikan empat tipe habitat perairan dangkal di perairan Pantai Selatan Sempu Kabupaten Malang, antara lain karang hidup, karang mati, lamun dan pasir. Adapun tingkat akurasi pada penelitian Haji dan Frananda (2019) yang melakukan pemetaan tutupan padang lamun di Pantai Nirwana, Kota Padang adalah sebesar 88,23%.

Tingkat keakuratan hasil klasifikasi dari tiap kelas habitat perairan dangkal memiliki keakuratan yang berbeda-beda. Pada evaluasi *producer accuracy*, kelas lamun memiliki tingkat keakuratan yang paling tinggi sebesar 80,00%. Adapun kelas karang hidup, pasir dan karang mati memiliki tingkat akurasi masing-masing sebesar 77,78%, 71,43% dan 70,59%. Berbeda dengan evaluasi *user accuracy*, dimana kelas pasir memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi sebesar 78,94% dibandingkan kelas karang hidup (77,78%), karang mati (75,00%) dan lamun (50,00%).

Tabel 3. Evaluasi hasil klasifikasi citra Sentinel-2A pada pemetaan habitas dasar perairan dangkal

Hasil klasifikasi	Data rujukan / data lapangan				Total	Producer's accuracy (%)
	Karang hidup	Karang mati	Lamun	Pasir		
Karang hidup	14	2	1	1	18	77,78
Karang mati	2	12	1	2	17	70,59
Lamun	0	0	4	1	5	80,00
Pasir	2	2	2	15	21	71,43
Total	18	16	8	19	61	
User's accuracy (%)	77,78	75,00	50,00	78,94		
Overall accuracy (%)						73,77

KESIMPULAN

Telah dilakukan klasifikasi habitat dasar perairan dangkal di perairan Teluk Humbolt, Kota Jayapura menggunakan citra satelit Sentinel-2A dengan sangat baik. Terdapat empat kelas habitat dasar perairan dangkal yang diklasifikasikan, yaitu karang hidup (269,8 Ha), karang mati (156,1 Ha), lamun (148,9 Ha) dan pasir (87,6 Ha). Adapun tingkat akurasi hasil klasifikasi yang diperoleh sebesar 73,77% dan telah memenuhi nilai akurasi yang ditetapkan dalam SNI 7716:2011 untuk pemetaan habitat dasar perairan laut dangkal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrillah, K., Adi, W., dan Kurniawan. 2019. Pemetaan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kelapan, Kabupaten Bangka Selatan berdasarkan data satelit Sentinel 2A. *Journal of Tropical Marine Science*, 2(2), 59–70.
- Arhatin, R.E. 2007. Pengkajian Algoritma Indeks Vegetasi dan Metode Klasifikasi Mangrove dari Data Satelit Landsat-5 TM dan Landsat-7 ETM+: Studi Kasus di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Tesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). 2014. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 3 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Objek Perairan Bawah Laut Perairan Laut Dangkal. Cibinong, Indonesia.
- Congalton, R.G., and Green, K. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. New York (US): CRC Press.
- Didi, L., Halili, dan Palupi, R.D. 2018. Pemetaan kondisi terumbu karang menggunakan citra satelit di Pulau Matahora Kabupaten Wakatobi. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 3(4), 319–326.
- Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., and Clark, C.D. (2000). *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Paris: UNESCO.
- Guntur, M.S., Prasetyo, D., dan Wawan. (2012). *Pemetaan Terumbu Karang: Teori, Metode, dan Praktek*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Haji, C., dan Frananda, H. 2019. Dinamika tutupan padang lamun (*Enhalus acoroides* Steud) di Pantai Nirwana, Kota Padang periode 2008–2019. *Jurnal Buana*, 3(4), 758–767.
- Hamuna, B., Kalor, J.D., and Rachmadani, A.I. 2019. Assessing the condition of coral reefs and the indicator fish (family: Chaetodontidae) in coastal waters of Jayapura City, Papua Province, Indonesia. *European Journal of Ecology*, 5(2), 126–132.
- Hamuna, B., Sari, A.N., dan Megawati, R. 2018. Kondisi hutan mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Teluk Youtefa, Kota Jayapura. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 35(2), 75–83.
- Irawan, J., Sasmito, B., dan Suprayogi, A. 2017. Pemetaan sebaran terumbu karang dengan metode algoritma Lyzenga secara temporal menggunakan citra Landsat 5 7 dan 8 (Studi kasus: Pulau Karimunjawa). *Jurnal Geodesi*, 6(2), 56–61.
- Jaya, I.N.S., 2010. *Analisis Citra Digital, Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Karang, I.W.G.A., Astaman, I.D.M.K.P., Nagendra, I.W.M.D., dan Hendrawan, I.G. 2019. Pemetaan habitat perairan dangkal di kawasan padat wisata Tanjung Benoa Bali menggunakan data remote sensing. *Ecotrophic*, 13(2), 227–237.
- LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia). 2014. *Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal*. Jakarta, Indonesia.
- 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.
- McFeeters, S. 2013. Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544–3561.
- Mumby, P.J., Skirving, W., Strong, A.E., Hardy, J.T., LeDrew, E.F., Hochberg, E.J., Stumpf, R.P., and David, L.T. 2003. Remote sensing of coral reefs and their physical environment. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 210–228.

- Mustika, A.A. 2013. Pemetaan Habitat Dasar Perairan Dangkal Pulau Panggang dan Sekitarnya dengan Menggunakan Citra WorldView-2. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Reshitnyk, L., Costa, M., Robinson, C., and Dearden, P. 2014. Evaluation of WorldView-2 and acoustics remote sensing for mapping benthic habitat in temperate coastal pacifics water. *Remote Sensing of Environment*, 153, 7–23.
- Semedia, B., Syukron, A.R.B., dan Lutfi, O.M. 2019. Pemanfaatan data citra satelit Sentinel-2 untuk asesmen habitat dasar perairan Pantai Selatan Sempu Kabupaten Malang. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(2), 273–279.
- Setyawan, I.E., Siregar, V.P., Pramono, G.H., dan dan Yuwono, D.M. 2014. Pemetaan profil habitat dasar perairan dangkal berdasarkan bentuk topografi: Studi kasus Pulau Panggang, Kepulauan Seribu Jakarta. *Majalah Ilmiah Globë*, 16(2), 125–132.
- Siregar, V.P. 2010. Pemetaan substrat dasar perairan dangkal Karang Congkak dan Lebar Kepulauan Seribu menggunakan citra satelit Quickbird. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(1), 19–30.
- Sutanto. 1986. *Penginderaan Jauh Jilid I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University.