

PEMETAAN HABITAT PERAIRAN DANGKAL DI KAWASAN PADAT WISATA TANJUNG BENOA BALI MENGGUNAKAN DATA REMOTE SENSING

I Wayan Gede Astawa Karang^{1,2*}, I Dewa Made Krisna Putra Astaman^{1,2}, I Wayan Matsya Deva Nagendra^{1,2}, I Gede Hendrawan¹

¹)Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana

²)Laboratorium GIS dan Remote Sensing, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana

*Email: gedekarang@unud.ac.id

MAPPING SHALLOW WATER HABITAT IN TANJUNG BENOA TOURISM AREA BALI USING REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

Most of the tourism area are distributed along the coast that intersects directly with those that result in degradation of the ecosystem inside. The southern region of Bali is one region that have experienced rapid development of tourism activities. The expansion of the tourism area in Tanjung Benoa, Bali occurs to coastal areas and directly contact with underwater habitat such as coral reefs and seagrass beds which can damage the underwater ecosystem. The goal of this study is to map shallow water habitat in densely packed tourist areas Tanjung Benoa, Bali using remote sensing technique. Two satellites dataset (Sentinel-2A and Landsat 8) at different spatial and spectral resolutions were tested using Lyzenga algorithm. The maksimum likelihood supervised classification is used to classify the underwater objects and accuracy test were then conducted to to evaluate the classification effectiveness. The results showed that there were three types of shallow water habitats in Tanjung Benoa coastal area, such as dead coral, seagrass, and sand. The accuracy test showed Sentinel-2A images with an overall accuracy of 80,00% and kappa accuracy of 59.27%. had higher accuracy than Landsat 8 images with an overall accuracy of 68,29% and kappa accuracy of 35,43%.

Keywords: Remote Sensing, Shallow Water Habitat, Tanjung Benoa, Sentinel-2A; Landsat 8

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri pariwisata di Indonesia mengalami peningkatan yang pesat dalam kurun waktu 10 tahun terakhir terutama pada wisata bahari (Khrisnamurti dkk., 2016). Sebagian besar objek wisata yang padat pengunjung terdistribusi di wilayah pesisir yang bersinggungan langsung dengan ekosistem perairan dangkal seperti padang lamun dan terumbu karang yang mengakibatkan terjadinya degradasi terhadap kuantitas dan kualitas ekosistem yang ada di dalamnya (Graha dkk., 2016). Seperti halnya ekosistem di darat, ekosistem perairan juga

memiliki daya homeostasis dalam mempertahankan keseimbangan ekosistem dan daya dukung (*carrying capacity*) serta kemampuan untuk memurnikan diri (*self purification*) dari bentuk gangguan luar yang masuk ke dalam lingkungan perairan (Putra dan Husrin, 2017). Beban yang melampaui daya homeostasis mengakibatkan adanya gangguan keseimbangan yang bermuara pada turunnya kualitas perairan (Darmono, 2001). Beberapa penelitian telah melaporkan terjadinya degradasi pada beberapa ekosistem perairan seperti kondisi produktivitas hutan mangrove di Delta Mahakam yang menurun akibat alih fungsi lahan menjadi tambak

(Adisuksma dkk., 2014). Khrisnamurti dkk. (2016), menyatakan pembuangan limbah dan tumpukan sampah di Kepulauan Seribu menyebabkan turunnya kualitas perairan di kawasan tersebut.

Pulau Bali memiliki ekosistem perairan dengan tingkat keanekaragaman yang tinggikan telah banyak dimanfaatkan sebagai tujuan pariwisata. Pesisir Tanjung Bena terletak di bagian selatan Pulau Bali merupakan daerah yang mengalami perkembangan pesat di wilayah pesisirnya dengan aktivitas wisata airnya. Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, jumlah kunjungan wisatawan asing ke Bali pada tahun 2018 sebanyak 6.070.473 dengan pertumbuhan sebesar 6.54% (BPS, 2018). Ekspansi daerah pariwisata di Tanjung Bena terjadi sampai ke area perairan yang bersentuhan langsung dengan ekosistem bawah air seperti padang lamun dan terumbu karang yang berdampak terhadap perubahan luasan ekosistem tersebut. Beberapa kawasan pesisir selatan Bali telah mengalami degradasi ekosistem, seperti yang dilaporkan oleh Putra dan Husrin (2017), menunjukkan kualitas air di Pantai Kuta telah mencapai ambang batas yang ditetapkan. Faiqoh dkk. (2017) menyatakan terjadi penurunan kelimpahan ikan di Pantai Samuh akibat berkurangnya padang lamun dan; Rahadiarta dkk. (2019), menyatakan terjadi penurunan luasan area padang lamun yang diakibatkan oleh pembangunan sarana pariwisata yang berdampak terhadap penyerapan karbon di Pantai Mengiat. Penelitian diatas menunjukkan telah terjadi penurunan ekosistem yang diakibatkan berbagai kegiatan pariwisata tanpa strategi kebijakan yang tepat.

Informasi mengenai pola distribusi objek bawah air perairan laut dangkal dapat menjadi langkah awal dalam pengambilan keputusan dan kebijakan dalam pengelolaan pariwisata berbasis ekologi. Sejauh ini, penelitian tentang persebaran dan distribusi objek bawah air di kawasan pesisir selatan Bali masih sedikit khususnya informasi habitat perairan dangkal berbasis data spasial. Apabila tidak diiringi dengan pembaharuan

informasi gambaran objek perairan maka semakin besar kemungkinan dampak negatif yang dapat mempengaruhi habitat dan ekosistem yang ada didalamnya (Bato dkk., 2013). Pendeteksian habitat dasar perairan laut dangkal memerlukan metode yang cepat dan tepat dengan mengacu ke dalam skala spasial dan temporal. Kemajuan teknologi seperti penginderaan jauh telah membuktikan 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).

Citra satelit dapat dimanfaatkan untuk deteksi objek perairan laut dangkal. Citra satelit seperti Landsat, Aster, ALOS-AVNIR, Quickbird dan Worldview telah banyak digunakan dalam pemetaan wilayah baik darat maupun perairan. Beberapa penelitian terkait pemetaan objek bawah air memanfaatkan teknologi penginderaan jauh antara lain, Nurdin dkk. (2016), melakukan pemetaan berbagai objek di bawah permukaan pada perairan laut dangkal menunjukkan citra ALOS AVNIR-2 dapat membedakan 10 tutupan objek. Sedangkan Suwargana (2014) dan Arief (2013), berhasil menggunakan citra ALOS AVNIR-2 untuk pemetaan habitat terumbu karang secara spesifik. Namun demikian salah satu pembatas pemanfaatan satelit optik resolusi tinggi adalah rendahnya resolusi temporal dan biaya yang mahal karena berbayar atau tidak bersifat *open source*. Satelit Sentinel-2A merupakan satelit generasi baru yang dirancang oleh *European Space Agency* (ESA) untuk observasi bumi yang keseluruhan datanya dapat diakses secara bebas seperti halnya citra Landsat. Satelit Sentinel-2A memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter dan membawa 13 *band* yang disebut sebagai *platform multispectral instrument* (MSI) yang dapat digunakan sebagai solusi pemetaan objek perairan laut dangkal dengan kelebihan pada resolusi serta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas citra Sentinel-2A dan Landsat 8

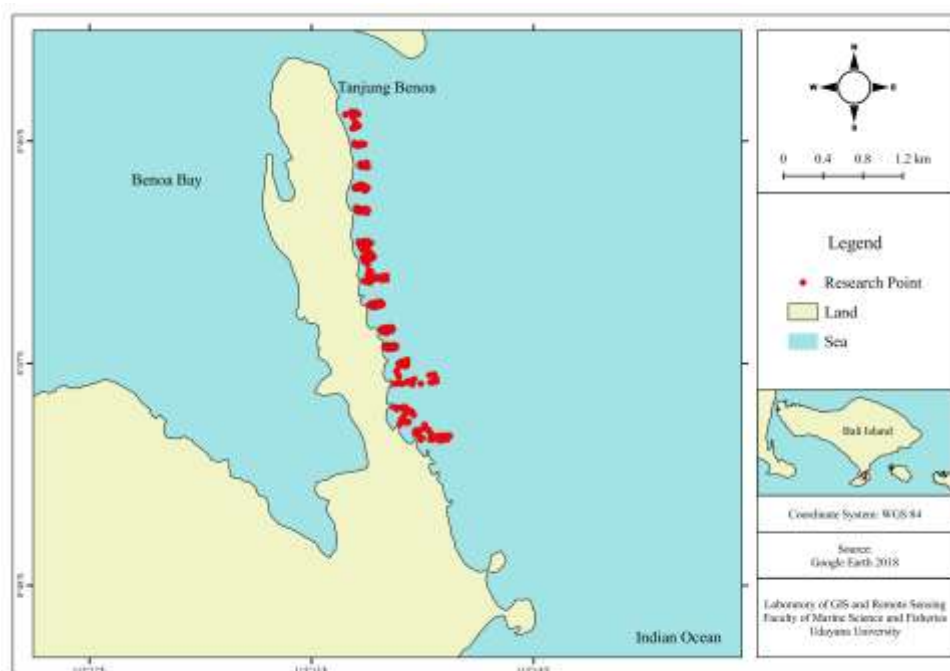
untuk memetakan objek bawah air laut dangkal di kawasan padat wisata Tanjung Bena, Bali.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah perairan dangkal pesisir Tanjung Bena yang berada di

wilayah pesisir Bali bagian selatan, yakni terbentang antara 8°49'15''– 8°45'00'' LS dan 115°12'25''– 155°14'05'' BT (Gambar 1). Posisi perairan Tanjung Bena sangat strategis karena kondisi hidrografinya dipengaruhi oleh perairan Selat Lombok dan Samudra Hindia. Aliran *massa* air dari dua sumber tersebut sangat berperan pada eksistensi ekosistem di perairan Tanjung Bena.



Gambar 1.
Peta Lokasi dan Pengamatan Titik Penelitian

2.2 Alat dan Data

Pengambilan data lapangan berupa substrat dasar perairan dangkal menggunakan transek kuadran 1m × 1m dan *Global Position System* (GPS). Data diolah dengan komputer DELL RAM 8 GB, *software* SAGA-GIS versi 5.0.0 dan *software* QGIS Desktop versi 2.18.2. Data satelit yang

digunakan adalah data citra satelit Landsat 8 level 1T akuisisi 5 Juni 2018 yang diunduh melalui web <https://earthexplorer.usgs.gov> dan satelit Sentinel-2A level 1C akuisisi 17 Juni 2018 yang diunduh melalui web <https://scihub.copernicus.eu>. Citra Landsat 8 dan Sentinel-2A merupakan citra satelit *open sourced* dengan karakteristik sensor yang berbeda (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik Citra Landsat 8 dan Sentinel-2A

Landsat 8			Sentinel-2A		
Nama Band	Panjang Gelombang (µm)	Resolusi (m)	Nama Band	Panjang Gelombang (µm)	Resolusi (m)
Band 1 <i>Coastal Aerosol</i>	0.435 – 0.451	30	Band 1 <i>Coastal Aerosol</i>	0.443	60
Band 2 <i>Blue</i>	0.452 – 0.512	30	Band 2 <i>Blue</i>	0.490	10

Landsat 8			Sentinel-2A		
Band 3 <i>Green</i>	0.533 – 0.590	30	Band 3 <i>Green</i>	0.560	10
Band 4 <i>Red</i>	0.636 – 0.673	30	Band 4 <i>Red</i>	0.665	10
Band 5 NIR	0.851 – 0.879	30	Band 5 <i>Vegetation Red Edge</i>	0.705	20
Band 6 SWIR-1	1.566 – 1.651	30	Band 6 <i>Vegetation Red Edge</i>	0.740	20
Band 7 SWIR-2	2.107 – 2.294	30	Band 7 <i>Vegetation Red Edge</i>	0.783	20
Band 8 <i>Pankromatik</i>	0.503 – 0.676	15	Band 8 NIR	0.842	10
Band 9 <i>Cirrus</i>	1.363 – 1.384	30	Band 8b <i>Vegetation Red Edge</i>	0.865	20
Band 10 TIRS-1	10.60 – 11.19	100	Band 9 <i>Water Vapour</i>	0.945	60
Band 11 TIRS-2	11.50 – 12.51	100	Band 10 SWIR- <i>Cirrus</i>	1.380	60
			Band 11 SWIR	1.610	20
			Band 12 SWIR	2.190	20
Resolusi Temporal	16 hari		Resolusi Temporal	10 hari (satelit tunggal) 5 hari (konstelasi gabungan)	
Resolusi Radiometrik	16 bit		Resolusi Radiometrik	12 bit	

Sumber: USGS (2016); ESA (2015)

2.3 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri atas 1) Pra Pengolahan Citra; 2) Pengolahan Citra; 3) Klasifikasi Citra; 4) Uji Akurasi dengan rincian sebagai berikut:

A. Pra Pengolahan Citra

Tahapan pra pengolahan citra meliputi koreksi atmosferik, pemotongan citra (*cropping*), dan *masking* citra. Koreksi atmosferik bertujuan untuk mempertajam citra dengan mengeliminasi gangguan hamburan atmosfer. Metode *Dark Object Subtraction* (DOS) dengan *tool Semi-Automatic Classification* yang terdapat pada *software QGIS* (Congedo, 2016) digunakan untuk mengoreksi objek gelap (*Dark Object Subtraction*) dan mendapatkan nilai reflektan.

Setelah koreksi atmosferik dilakukan pemotongan citra atau *cropping* untuk fokus pada daerah penelitian. Proses *cropping* berdampak pada ukuran file yang mengecil sehingga mempercepat proses pengolahan berikutnya. Pemotongan citra dilakukan pada

wilayah pesisir kawasan Tanjung Bena, Bali. Citra yang telah terkoreksi atmosferik dan *cropping* kemudian dilanjutkan dengan proses *masking* citra atau pemisahan antara objek pada daerah kajian dengan bukan daerah kajian dalam satu citra. Pada penelitian ini daratan atau pulau merupakan area yang dipisahkan dari perairan karena klasifikasi hanya pada perairan dangkal. Proses pemisahan darat dan perairan menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Water Index*). Adapun persamaan NDWI menurut McFeeters (2013) yang dapat dilihat pada persamaan (1).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \tag{1}$$

Dimana *Green* adalah citra *band* hijau atau *band* 3 untuk citra Landsat 8 dan Sentinel-2A; *NIR* adalah citra *band* *Near Infrared* atau *band* 5 untuk citra Landsat 8 dan *band* 8 untuk citra Sentinel-2A.

B. Pengolahan Citra

Proses pengolahan citra terdiri atas penyusunan citra komposit, koreksi kolom air dengan analisis Lyzenga, dan klasifikasi citra

dengan perincian sebagai berikut: (1) Penyusunan citra komposit dengan komposisi beberapa band untuk memperoleh pewarnaan RGB (*Red-Green-Blue*) sealam mungkin. Pada penelitian ini komposit citra yang digunakan yaitu komposit warna asli (*true color composite*). Menurut BIG (2014) komposit warna asli (*true color composite*) merupakan komposit yang direkomendasikan untuk identifikasi habitat perairan dangkal dengan kemampuan penetrasi ke dalam air jernih yang cukup bagus, namun salah satu kelemahannya adalah tingkat gangguan atmosferik yang tinggi. (2) Koreksi kolom air bertujuan untuk mendapatkan informasi objek dibawah permukaan air yang sudah bebas dari pengrauh kedalaman air, kekeruhan, dan pergerakan muka air dengan membuat citra baru dari *Depth Invariant Index* (DII) (Lyzenga, 1981). DII dibentuk dengan kombinasi *band* sinar tampak dari citra Landsat 8 dan Sentinel-2A. Adapun persamaan yang digunakan, yaitu sebagai berikut (Lyzenga, 1981).

$$\text{Depth Invariant Index } band_{ij} = \ln(L_i) - \left[\left(\frac{k_i}{k_j} \right) \ln(L_j) \right]$$

$$\frac{k_i}{k_j} = a + \sqrt{a^2 + 1} \quad (3)$$

Nilai a ditentukan dari persamaan (4).

$$a = \frac{(\sigma_{ii} - \sigma_{jj})}{2 \times \sigma_{ij}} \quad (4)$$

Dimana L_i adalah nilai reflektan *bandi* (saluran dengan panjang gelombang lebih pendek); L_j adalah nilai reflektan *bandj* (saluran dengan panjang gelombang lebih panjang); σ_{ii} adalah ragam atau varian *bandn i* (saluran dengan panjang gelombang lebih pendek); σ_{jj} adalah ragam atau varian *band j* (saluran dengan panjang gelombang lebih panjang); σ_{ij} adalah peragam atau covarian *band i* dan *j*; dan k_i/k_j adalah rasio koefisien atenuasi *band i* dan *j*.

2.4 Klasifikasi Citra

Pengelompokan nilai pantulan dari setiap objek perairan dangkal ke dalam kelas-kelas tertentu dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) *maximum likelihood*. Prinsip *maximum likelihood* adalah mengelaskan nilai piksel berdasarkan probabilitas suatu nilai piksel terhadap kelas tertentu dalam sampel piksel (BIG, 2014). Dalam penelitian ini menggunakan 3 kelas habitat perairan dangkal, yaitu pasir, lamun, dan karang mati. Penilaian akurasi atau uji akurasi kemudian dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas klasifikasi.

2.5 Survey Lapangan

Data lapangan direkam secara *stratified random sampling*. Pengambilan posisi titik pengamatan direkam menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*) dengan mengacu pada prinsip penutupan lahan dominan untuk membuat skema klasifikasi daerah pengamatan (Gambar 1). Sampel tutupan objek dasar perairan dangkal yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk proses klasifikasi citra secara digital berdasarkan nilai spektral dari masing-masing katagori yang dibuat. Jumlah titik sampel yang diambil adalah sebanyak 319 titik, dimana 114 sebagai *input* klasifikasi dan 205 titik sebagai *input* uji akurasi.

2.6 Uji Akurasi Klasifikasi Citra

Perhitungan analisis ketelitian data dari masing-masing citra dilakukan dengan membuat tabel matrik kesalahan yang dikenal dengan *confusion matrix* (Tabel 2). Ada tiga katagori akurasi yang diperoleh dari *confusion matrix* yaitu akurasi pembuat (*producer accuracy*), akurasi pengguna (*user accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) (Congalton and Green, 2009). Berdasarkan pada SNI 7716:2011, nilai akurasi yang dapat diterima untuk pemetaan habitat dasar perairan laut dangkal adalah sebesar $\geq 60\%$ (LIPI, 2014).

Tabel 2. Model *Confusion Matrix*

Hasil Klasifikasi	Data Lapangan				Jumlah	<i>Producer's Accuracy</i>
	A	B	C	D		
A	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₊	X ₁₁ /X ₁₊
B	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₊	X ₂₂ /X ₂₊
C	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₊	X ₃₃ /X ₃₊
D	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	X ₄₊	X ₄₄ /X ₄₊
Jumlah	X ₊₁	X ₊₂	X ₊₃	X ₊₄	N	
<i>User's Accuracy</i>	X ₁₁ /X ₊₁	X ₂₂ /X ₊₂	X ₃₃ /X ₊₃	X ₄₄ /X ₊₄		

Secara matematis ketiga uji ketelitian data di atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Producer\ accuracy = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100\% \quad (5)$$

$$User\ accuracy = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\% \quad (6)$$

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{N} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana *N* adalah jumlah semua piksel yang digunakan untuk pengamatan; *X_{ii}* adalah nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-*i* dan kolom ke-*i*; *X_{+i}* adalah jumlah piksel dalam kolom ke-*i*; *X_{i+}* adalah jumlah piksel dalam baris ke-*i*. Uji akurasi keseluruhan (*overal accuracy*) umumnya terlalu *over estimate*, sehingga dalam menghitung akurasi dianjurkan menggunakan akurasi kappa atau

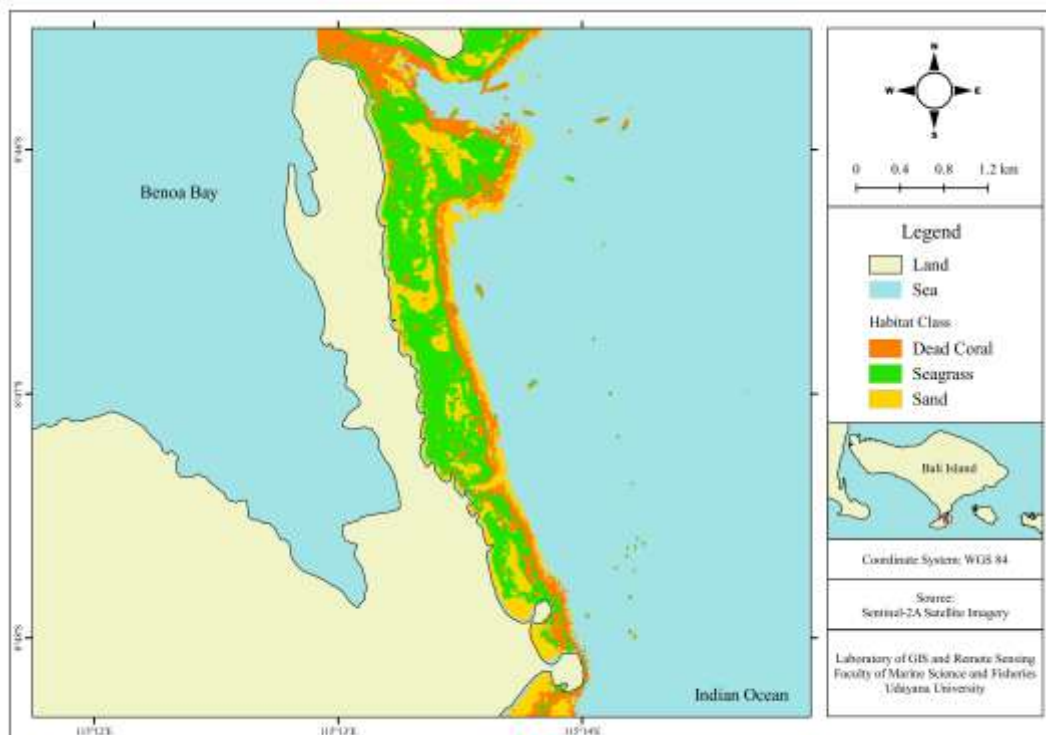
indeks kappa (Jaya, 2010). Adapun algoritma dari akurasi Kappa ini, yaitu sebagai berikut.

$$Kappa\ accuracy = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \times 100 \quad (8)$$

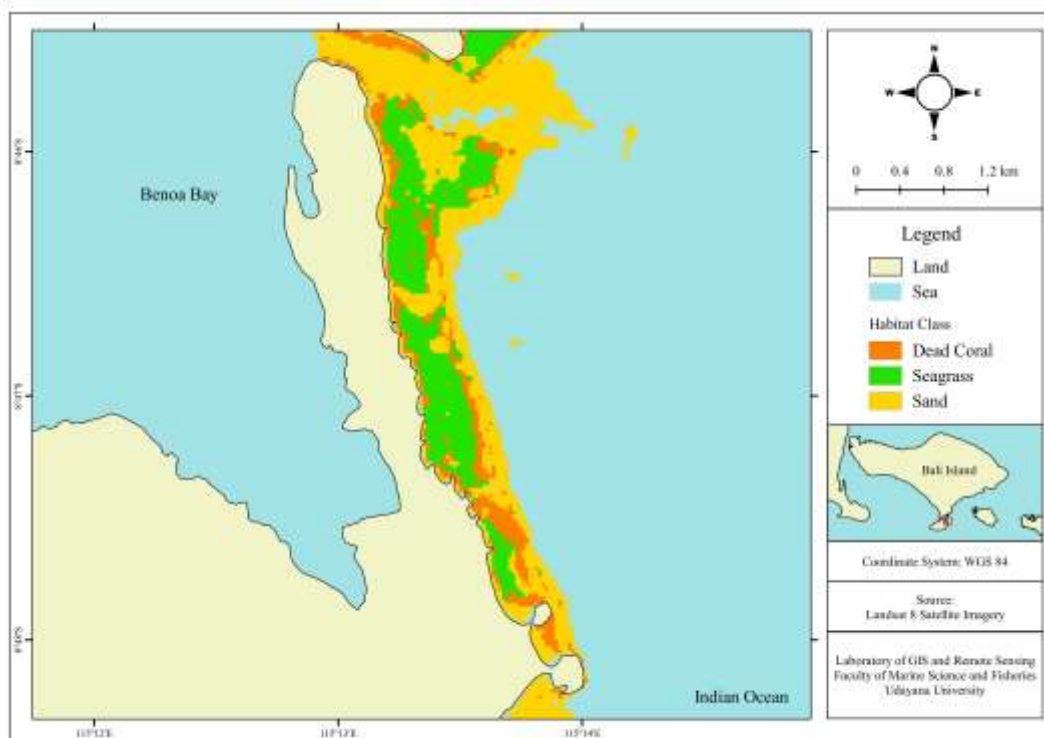
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Citra Digital

Sebaran dan kondisi penutupan dasar perairan dangkal di kawasan perairan Tanjung Benoa, Bali dapat diketahui melalui nilai luasan objek hasil analisis citra terklasifikasi. Berdasarkan hasil interpretasi dari masing-masing citra terdapat 3 kelas objek habitat dasar perairan dangkal diantaranya karang mati, lamun, dan pasir (Gambar 2 dan 3).



Gambar 2.
Klasifikasi Citra Sentinel-2A



Gambar 3.
Klasifikasi Citra Landsat 8

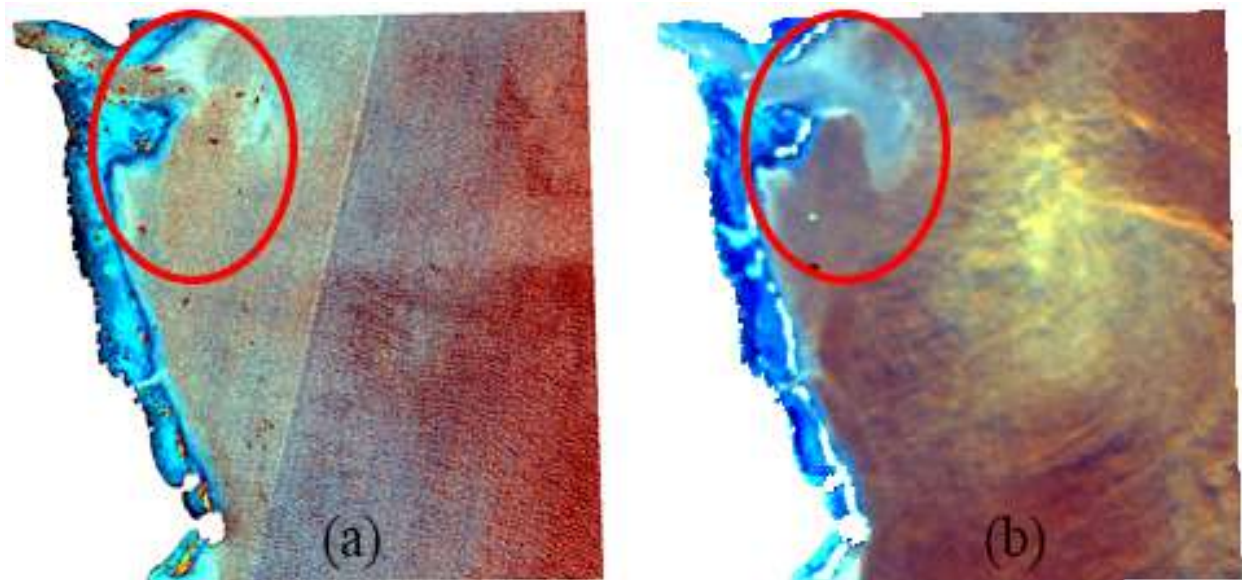
Dari ketiga kelas habitat tersebut, kelas karang mati merupakan habitat yang memiliki luasan yang paling kecil diantara kelas habitat lainnya, dengan luas sebesar 109,71 ha (24%) untuk hasil klasifikasi citra Sentinel-2A dan 79,37 ha (15%) untuk hasil klasifikasi citra Landsat 8. Sementara itu, hasil yang berbeda didapatkan pada luasan kelas habitat yang paling tinggi, dimana pada hasil klasifikasi citra Sentinel-2A menunjukkan habitat lamun sebagai habitat yang memiliki luasan yang paling tinggi, yaitu sebesar 203,91 ha (45%). Sedangkan untuk hasil klasifikasi citra Landsat 8 mendapatkan substrat pasir sebagai

habitat yang memiliki luasan yang paling tinggi, yaitu sebesar 301,80 ha (57%).

Dari hasil luas area klasifikasi masing-masing citra diketahui bahwa citra Landsat 8 mampu menghasilkan luasan area habitat dasar perairan dangkal yang lebih luas dibandingkan dengan citra Sentinel-2A. Hal tersebut menandakan bahwa citra Landsat 8 memiliki kemampuan penetrasi kolom perairan yang lebih baik dari citra Sentinel-2A (Gambar 4). Berikut merupakan luas area klasifikasi dari masing-masing citra satelit yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Luasan Area Klasifikasi Citra

Kelas Habitat	Citra Landsat 8		Citra Sentinel-2A	
	Luasan (ha)	Persentase (%)	Luasan (ha)	Persentase (%)
Karang Mati	79,37	15%	109,71	24%
Lamun	145,93	28%	203,91	45%
Pasir	301,80	57%	138,33	31%
Total	527,10	100%	451,95	100%



Gambar 4.

Citra Hasil Koreksi Kolom Air, (a) Citra Sentinel-2A, (b) Citra Landsat 8. Lingkaran Merah Merupakan Area dengan Perbedaan Penetrasi Kedalaman Perairan yang Signifikan dari Kedua Citra.

3.2 Evaluasi Akurasi Klasifikasi Objek Bawah Air Perairan Laut Dangkal

Secara umum uji akurasi pada kedua citra menunjukkan akurasi citra Sentinel-2A lebih tinggi dari citra Landsat 8 dengan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) dan akurasi kappa pada citra Sentinel-2A sebesar 80,00% dan 59,27% sementara citra Landsat 8 memiliki akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 68,29% dan akurasi kappa sebesar 35,43%. Evaluasi akurasi pembuat (*producer accuracy*) citra Sentinel-2A menunjukkan kelas lamun memiliki akurasi tertinggi yakni sebesar 85,06%, sementara akurasi terendah dimiliki oleh kelas karang mati dengan akurasi sebesar 10,00%. Begitu pula pada hasil perhitungan akurasi pengguna

(*user accuracy*), dimana kelas lamun memiliki akurasi tertinggi dengan akurasi sebesar 91,36% dan terendah pada kelas karang mati, yaitu 8,33%. Pada citra Landsat 8, akurasi pembuat (*producer accuracy*) menunjukkan pola yang sama seperti citra Sentinel-2A, tetapi memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan citra Sentinel-2A. Sedangkan pada perhitungan akurasi pengguna (*user accuracy*) pada citra Landsat 8 memperoleh hasil yang berbeda seperti hasil uji akurasi citra Sentinel-2A, dimana akurasi pengguna tertinggi terdapat pada kelas karang mati dengan nilai akurasi sebesar 75,00% kemudian diikuti kelas lamun sebesar 70,37% dan kelas pasir sebesar 54,84% (Tabel 3 dan 4).

Tabel 3. Evaluasi Klasifikasi Citra Sentinel-2 A

Hasil Klasifikasi	Data Lapangan				<i>Producer's Accuracy</i>
	Karang Mati	Lamun	Pasir	Total	
Karang Mati	1	8	1	10	10,00
Lamun	11	148	15	174	85,06
Pasir	0	6	15	21	71,43
Total	12	162	31	205	
<i>User's Accuracy</i>	8,33	91,36	48,39		
<i>Overall Accuracy</i>			80,00		
<i>Kappa Accuracy</i>			59,27		

Tabel 4. Evaluasi Klasifikasi Citra Landsat 8

Hasil Klasifikasi	Data Lapangan				<i>Producer's Accuracy</i>
	Karang Mati	Lamun	Pasir	Total	
Karang Mati	9	44	8	61	14,75
Lamun	3	114	6	123	92,68
Pasir	0	4	17	21	80,95
Total	12	162	31	205	
<i>User's Accuracy</i>	75,00	70,37	54,84		
<i>Overall Accuracy</i>			68,29		
<i>Kappa Accuracy</i>			35,43		

Studi pemanfaatan citra satelit Sentinel-2A untuk pemetaan habitat perairan laut dangkal sebelumnya pernah dilakukan oleh Prawoto dan Hartono (2018) di perairan Pulau Menjangan Kecil dan Menjangan Besar, Kepulauan Karimunjawa. Penelitian tersebut menggunakan skema klasifikasi 4 kelas dengan metode klasifikasi *maximum likelihood* yang menghasilkan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) untuk citra terkoreksi kolom air sebesar 80,73%. Sedangkan dengan menggunakan citra Landsat 8, Hafizt dkk. (2017) memetakan habitat perairan dangkal di Kepulauan Padaido, Papua mendapatkan hasil akurasi keseluruhan hasil pemetaan sebesar 47,57%. Rendahnya nilai akurasi keseluruhan pada penelitian tersebut diakibatkan karena jumlah kelas yang digunakan cukup banyak (7 kelas).

Selain dipengaruhi oleh banyaknya kelas pada proses klasifikasi, tinggi rendahnya nilai akurasi hasil pemetaan juga berkaitan dengan karakteristik citra satellite dari citra satelit yang digunakan, dimana salah satu faktor utama adalah resolusi spasialnya. Sentinel-2A merupakan satelit dengan kategori resolusi spasial tinggi, tiga kali lebih baik dari Landsat 8. Selain itu, berkurangnya nilai akurasi hasil pemetaan juga dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan waktu pengambilan data lapangan dan perekaman citra yang menyebabkan terjadinya perubahan pola spektral, terdapat kesalahan dalam penentuan *training area* masing-masing kelas, serta adanya kesalahan dalam mengidentifikasi objek habitat perairan

laut dangkal berdasarkan definisi yang digunakan.

3.3 Persebaran Habitat Objek Bawah Air Perairan Laut Dangkal

Hasil *ground check* menunjukkan terdapat tiga tipe penutupan objek bawah air yang berada di kawasan pesisir Tanjung Benoa. Tipe penutupan objek antara lain adalah karang mati, lamun, dan pasir. Tipe penutupan objek pasir tersebar secara acak pada bagian tengah daerah penelitian sementara objek karang berada di daerah pemecah ombak dan terletak jauh dari daratan. Data dari pengamatan lapangan menunjukkan adanya 8 jenis spesies lamun di kawasan pesisir Tanjung Benoa yaitu *Cymodocea rotundata*, *Enhalus acoroides*, *Halodule pinifolia*, *Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichi*, *Syringodium isoetifolium* dan *Thalassodendron ciliatum*. Hasil ini berbeda dengan Elok dkk. (2017) yang menyatakan bahwa terdapat 6 jenis spesies lamun yang berada dikawasan pesisir Tanjung Benoa, yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Halophila ovalis*, *Halodule uninervis*, *Halodule pinifolia*.

4. SIMPULAN

Dalam penelitian ini, pemetaan habitat perairan dangkal di perairan padat wisata Tanjung Bena telah dilakukan dengan menggunakan teknologi *remote sensing*. Analisis Lyzenga diterapkan pada dua citra satelit optik dengan sensor yang berbeda yaitu Landsat 8 (resolusi spasial 30 m) dan citra satellite Sentinel-2A (resolusi spasial 10 m). Dari hasil klasifikasi dan uji akurasi dengan skema tiga kelas dapat disimpulkan bahwa kedua citra satelit mampu mengidentifikasi objek bawah air yang terdiri dari karang mati, lamun, dan pasir di perairan dangkal Tanjung Bena. Uji akurasi menunjukkan kinerja citra Sentinel-2A untuk prediksi objek bawah air lebih baik dari citra Landsat 8 dengan nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 80,00% dan akurasi kappa sebesar 59,27% untuk citra Sentinel-2A dan nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 68,29% dan akurasi kappa sebesar 35,43% untuk citra Landsat-8.

DAFTAR PUSTAKA

- Adikusuma, D., Rusadi, E.Y. and Hayuni, N., 2014. Dampak degradasi lingkungan terhadap potensi pengembangan ekowisata berkelanjutan di Delta Mahakam: Suatu tinjauan. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 2(1), pp.11-24.
- Arief, M., 2013. Pengembangan Metode Lyzenga untuk Deteksi Terumbu Karang di Kepulauan Seribu dengan Menggunakan Data Satelit AVNIR-2. *STATISTIKA: Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, 13(2), pp.55-64.
- Badan Informasi Geospasial (BIG), 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.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Bali (BPS), 2018. Statistik Wisatawan Mancanegara Ke Bali 2018. Bali, Indonesia.
- Bato, M., Yulianda, F. and Fahrudin, A., 2013. Kajian manfaat kawasan konservasi perairan bagi pengembangan ekowisata bahari: Studi kasus di kawasan konservasi perairan Nusa Penida, Bali. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 2(2).
- Congalton, R.G., & Green, K., 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. New York (US), CRC Press.
- Congedo, L., 2016. Semi-automatic classification plugin documentation. Release, 4(0.1), 29.
- Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Jakarta, Indonesia.
- European Space Agency (ESA), 2015. *SENTINEL-2 User Handbook*. Esa Standard Document. 64 hal.
- Faiqoh, E., Wiyanto, D.B. and Astrawan, I.G.B., 2017. Peranan Padang Lamun Selatan Bali Sebagai Pendukung Kelimpahan Ikan di Perairan Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 3(1), pp.10-18.
- Graha, Y.I., Arthana, I.W. and Karang, I.W.G.A., 2016. Simpanan karbon padang lamun di kawasan pantai sanur, kota denpasar. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science*, 10(1), pp.46-53.
- Hafizt, M., Manessa, M.D.M., Adi, N.S., Prayudha, B., 2017. Benthic Habitat Mapping by Combining Lyzenga's Optical Model and Relative Water Depth Model in Lintea Island, Southeast Sulawesi. The 5th Geoinformation Science Symposium, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 98. 012037. doi:10.1088/1755-1315/98/1/012037.
- Jaya, I.N.S., 2010. Analisis Citra Digital, Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam. Fakultas Kehutanan. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Khrisnamurti, K., Utami, H., & Darmawan, R., 2017. Dampak Pariwisata terhadap Lingkungan di Pulau Tidung Kepulauan Seribu. *Kajian*, 21(3), 257-273.
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), 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), pp.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), pp.3544-3561.
- Nurdin, N., Hidayatullah, T. and AS, M.A., 2016. Analisis Klasifikasi Objek Penutup Dasar Perairan Laut Dangkal Menggunakan Citra Alos Avnir-2. *Majalah Ilmiah Globe*, 11(1).
- Prawoto, C.D., Hartono, 2018. Pemetaan Habitat Bentik dengan Citra Multispektral Sentinel-2A Di Perairan Pulau Menjangan Kecil Dan Menjangan Besar, Kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7 (3).
- Putra, A. and Husrin, S., 2017. Kualitas Perairan Pasca Cemaran Sampah Laut Di Pantai Kuta Bali Water Quality of Post Contamination Of Marine Debris In The Kuta Beach Of Bali. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), pp.57-66.
- Rahadiarta, I.K.V.S., Putra, I.D.N.N. and Suteja, Y., 2019. Simpanan Karbon Pada Padang Lamun di Kawasan Pantai Mengiat, Nusa Dua Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(1), pp.1-10.
- Siregar, V., 2010. Pemetaan substrat dasar perairan dangkal karang cangkak dan lebar kepulauan seribu menggunakan citra satelit quickbird. *E-Jurnal Itkt*, 2, pp.19-30.
- Suwargana, N. and Jauh-LAPAN, P.P.P., 2014. Analisis Citra Alos Avnir-2 untuk Pemetaan Terumbu Karang (Studi Kasus: Banyuputih, Kabupaten Situbondo. Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh, pp.588-596.
- United States Geological Survey (USGS), 2016. *LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK*. Version 2.0 March 29, 2016. 98 hal.