

PEMETAAN HABITAT BENTIK BERBASIS OBJEK MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 DI PERAIRAN PULAU WANGI-WANGI KABUPATEN WAKATOBI

OBJECT BASED MAPPING ON BENTHIC HABITAT USING SENTINEL-2 IMAGERY OF THE WANGI-WANGI ISLAND WATERS OF THE WAKATOBI DISTRICT

La Ode Khairum Mastu^{1*}, Bisman Nababan², dan James P. Panjaitan²

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

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

*E-mail: khairum_14@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

Research on benthic habitat mapping in the Wangi-wangi Island waters was very limited. Therefore the spatial data availability of benthic habitat in this area is also very limited. The purposes of this study were to map the shallow water benthic habitats using Sentinel-2 image based on object-based classification method (OBIA) and to calculate the accuracy level of benthic habitat classification results in the Wangi-wangi Island waters of the Wakatobi District. This research was conducted in the Wangi-wangi Island waters around Sombu Dive waters and its surroundings. The study used satellite Sentinel-2 data with 10x10 m² spatial resolution acquired on 4 April 2017 and the field data were acquired in March - April 2017. Satellite image was classified with OBIA method using contextual editing at level 1. At level 2, we used supervised classification with some algorithms such as support vector machine (SVM), decision tree (DT), Bayesian, and k-nearest neighbour (KNN) with input thematic layer from field data. The classification of benthic habitats was performed in 12 and 9 classes with the application of segmentation-optimization scale of 1, 1.5, 2, and 2.5. Based on OBIA method, benthic habitat can be mapped with the best overall accuracy of 60.4% and 64.1% for the image classification of 12 and 9 classes, respectively with SVM algorithm and the optimum segmentation scale of 2.

Keywords: *mapping, benthic habitats, OBIA, Sentinel-2, Wangi-wangi Island waters*

ABSTRAK

Penelitian pemetaan habitat bentik di Pulau Wangi-wangi masih sangat sedikit dilakukan, sehingga ketersediaan data spasial habitat bentik di daerah ini sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan habitat bentik perairan dangkal menggunakan citra Sentinel-2 dengan metode klasifikasi berbasis objek/OBIA dan menghitung tingkat akurasi hasil klasifikasi habitat bentik di perairan Pulau Wangi-wangi Kabupaten Wakatobi. Penelitian ini dilaksanakan di perairan Pulau Wangi-wangi, khususnya perairan Sombu Dive dan sekitarnya. Penelitian ini menggunakan data satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10x10 m² yang diakuisisi pada tanggal 4 April 2017 dan pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Maret - April 2017. Klasifikasi citra dengan metode OBIA menggunakan metode *contextual editing* pada level 1. Level 2 menggunakan klasifikasi terbimbing dengan beberapa algoritma klasifikasi yaitu *support vector machine* (SVM), *decision tree* (DT), *Bayesian*, dan *k-nearest neighbour* (KNN) dengan *input thematic layer* dari data lapangan. Klasifikasi habitat bentik dilakukan pada 12 dan 9 kelas dengan penerapan optimasi skala segmentasi yaitu 1, 1,5, 2, dan 2,5. Berdasarkan metode OBIA, habitat bentik dapat dipetakan dengan tingkat akurasi sebesar 60,4% dan 64,1% pada citra klasifikasi 12 dan 9 kelas secara berturut-turut pada nilai optimum skala segmentasi 2 dengan algoritma SVM.

Kata kunci: pemetaan, habitat bentik, OBIA, Sentinel-2, perairan pulau Wangi-wangi

I. PENDAHULUAN

Perairan Kepulauan Wakatobi berada pada wilayah “*Coral Triangle*” atau wilayah pusat segitiga terumbu karang dunia yang memiliki keanekaragaman terumbu karang dan hayati tertinggi di dunia (Supriatna, 2008; BTNW, 2009; Wilson *et al.*, 2012; Purbani *et al.*, 2014). Wakatobi tersusun dari gugusan pulau-pulau dengan empat pulau besar yaitu pulau Wangi-Wangi, Kaledupa, Tomia, dan Binongko (COREMAP, 2001; Suyarso dan Budiyanto, 2008). Habitat bentik di Wakatobi memiliki kompleksitas yang sangat tinggi dimana keanekaragaman terumbu karang dan lamun yang dijadikan sebagai tempat hidup bagi berbagai jenis biota laut. Habitat bentik merupakan tempat hidup dari berbagai jenis organisme yang disusun oleh rumput laut, lamun, alga, karang hidup, karang mati dengan tipe substrat seperti pasir, lumpur, dan pecahan karang (Zhang *et al.*, 2013; Anggoro, 2015).

Pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh dalam menyediakan informasi secara spasial telah banyak dilakukan dan sampai saat ini terus mengalami kemajuan. Penelitian terkait pemanfaatan teknologi penginderaan jauh khususnya pada penyediaan informasi spasial habitat bentik perairan dangkal telah banyak dilakukan (Siregar, 2010; Phinn *et al.*, 2011; Selamat *et al.*, 2012a; Selamat *et al.*, 2012b; Siregar *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013; Anggoro *et al.*, 2015; Wahidin *et al.*, 2015; Zhang, 2014). Beberapa pemetaan habitat bentik di wilayah perairan Wakatobi telah dilakukan terkait dengan pemetaan luasan, distribusi spasial maupun geomorfologi terumbu karang (COREMAP, 2001; Adji, 2014; Yulius *et al.*, 2015; Hafizt *et al.*, 2017). Pemetaan habitat bentik, dalam penerapannya masih terdapat permasalahan yaitu adanya pengaruh permukaan perairan dan kedalaman perairan terhadap reflektansi dasar perairan (Lyzenga, 1981). Permasalahan lain adalah penentuan metode klasifikasi citra dengan tingkat akurasi yang baik dari peta yang dihasilkan

(Green *et al.*, 2000; Congalton and Green, 2009). Khusus untuk perairan di sekitar pulau Wangi-wangi, penelitian terkait pemetaan habitat bentik masih sangat sedikit dilakukan.

Teknologi penginderaan jauh yang berkembang sampai saat ini, tidak terlepas dari semakin berkembangnya teknologi satelit yang diluncurkan, dalam hal ini satelit sumber daya alam. Teknologi satelit berkembang dengan berbagai kemampuan dalam menyediakan data citra terkait dengan informasi permukaan bumi. Citra satelit yang dihasilkan bervariasi mulai dari citra dengan resolusi spasial dan resolusi spektral yang rendah hingga tinggi. Citra satelit yang tersedia juga ada yang gratis dan berbayar. Berbagai macam jenis citra satelit yang berkembang sampai saat ini salah satunya yaitu citra satelit Sentinel-2. Citra satelit Sentinel-2, saat ini menjadi alternatif baru dalam menyediakan informasi permukaan bumi karena selain mudah didapatkan dan gratis, citra Sentinel-2 menawarkan kualitas data citra dengan resolusi spasial yang lebih baik yaitu $10 \times 10 \text{ m}^2/\text{piksel}$, dibandingkan dengan citra *open source* lainnya yang sering digunakan seperti citra Landsat yang hanya memiliki resolusi spasial $30 \times 30 \text{ m}^2/\text{piksel}$.

Pemanfaatan citra satelit untuk memetakan habitat dasar perairan dangkal tentu tidak terlepas dari proses klasifikasi ataupun analisis digital dari citra tersebut. Analisis digital data penginderaan jauh secara umum memiliki dua pendekatan yaitu berbasis piksel (*pixel-based*) dan berbasis objek (*object-based*). Penggunaan metode klasifikasi berbasis objek saat ini menjadi alternatif dalam mengklasifikasikan suatu objek permukaan bumi. Klasifikasi berbasis objek/ *Objek-Based Image Analysis* (OBIA) merupakan salah satu sub-kajian dari *GIScience* yang fokus pada pengembangan metode analisis citra penginderaan jauh berbasis objek sehingga menjadi beberapa objek yang memiliki kesamaan tertentu (Navulur, 2007). Penggunaan metode OBIA telah terbukti dapat meningkatkan akurasi

pemetaan habitat bentik, geomorfologi dan ekologi ekosistem terumbu karang pada citra resolusi spasial sedang hingga resolusi spasial tinggi (Phinn *et al.*, 2011; Anggoro *et al.*, 2015; Wahidin *et al.*, 2015).

Pemetaan habitat bentik di perairan wakatobi telah dilakukan, namun rata-rata masih terbatas pada pemetaan luasan, distribusi maupun geomorfologi terumbu karang. Pemetaan habitat bentik Di Wakatobi telah dilakukan oleh Hafizt *et al.* (2017) dengan memetakan habitat bentik di perairan pulau Lentea Kabupaten Wakatobi menggunakan model *depth invariant index* (DII) dan *relative water depth index* (RWDI) dan proses klasifikasi habitat bentik menggunakan metode ISO-DATA yang tergolong dalam *unsupervised classification* yang dilakukan terpisah pada habitat bentik perairan dangkal dan perairan dalam sehingga menghasilkan akurasi keseluruhan tertinggi sebesar 83,93% pada 7 kelas habitat bentik.

Penelitian terkait pemetaan habitat bentik khususnya di perairan Pulau Wangi-wangi baru pertama kali dilakukan oleh Yulius *et al.* (2015) terkait distribusi spasial terumbu karang, sehingga ketersediaan data spasial habitat bentik di daerah ini sangat terbatas. Pemanfaatan data citra satelit dapat dijadikan sebagai alternatif utama dalam menyediakan data dan informasi spasial secara efektif dan efisien pada area yang luas dibandingkan pemetaan konvensional dengan pengamatan langsung di lapangan. Berdasarkan hal tersebut, sehingga perlu dilakukan penelitian terkait pemetaan habitat bentik dengan penerapan metode OBIA di lokasi penelitian dengan jumlah tipe habitat bentik yang lebih banyak atau detail. Selain itu dengan penerapan metode OBIA pada citra Sentinel-2 diharapkan dapat mengkalifikasikan habitat bentik khususnya pada kompleksitas habitat yang tinggi dengan baik.

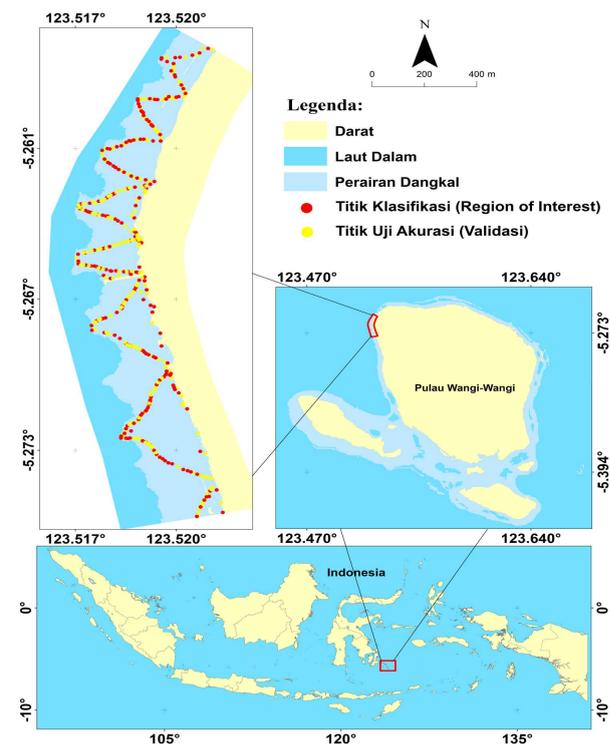
Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan habitat bentik perairan dangkal menggunakan citra Sentinel-2 dengan

metode klasifikasi berbasis objek/OBIA dan menggunakan beberapa algoritma klasifikasi (*machine learning*) pada jumlah kelas habitat bentik yang lebih banyak atau lebih detail, serta menghitung tingkat akurasi hasil klasifikasi habitat bentik di perairan Pulau Wangi-wangi Kabupaten Wakatobi.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-April 2017, bertempat di perairan Pulau Wangi-wangi, khususnya perairan Sombu Dive dan sekitarnya, Kabupaten Wakatobi Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar 1). Secara geografis lokasi penelitian terletak antara $5^{\circ} 15' 22.6''$ - $5^{\circ} 16' 33.3''$ LS dan $123^{\circ} 31' 11.5''$ - $123^{\circ} 31' 14.9''$ BT.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian; Titik warna merah menunjukkan lokasi sampling untuk tujuan klasifikasi dan titik warna kuning menunjukkan lokasi sampling untuk uji akurasi.

2.2. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data citra satelit multispektral Sentinel-2. Citra Sentinel-2 diperoleh secara gratis yang dapat diunduh secara langsung pada website ESA Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Citra satelit Sentinel-2 diakuisisi pada tanggal 4 April 2017 pada lembar perekaman 51MWQ. Citra Sentinel-2 yang diunduh merupakan data Level 1C, yang artinya data citra tersebut telah terkoreksi secara geometrik dan radiometrik. Citra Sentinel-2 memiliki 13 sensor dengan resolusi spasial yang berbeda-beda. Sensor atau band yang digunakan dalam penelitian ini adalah band sinar tampak (*visible*) dan *infrared* dengan resolusi spasial 10 meter yaitu band 2 (*blue*), band 3 (*green*), band 4 (*red*) dan band 8 (NIR).

Pengumpulan data habitat bentik di lapangan dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual dan dikombinasikan dengan menggunakan teknik foto transek kuadrat (Roelfsema and Phinn, 2008; Siregar, 2010; Phinn *et al.*, 2011). Transek kuadrat yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 50x50 cm² dengan titik-titik sampling seperti terlihat pada Gambar 1. Luasan transek kuadrat yang digunakan merupakan penyesuaian terhadap akurasi dari GPS (*global positioning system*) yang digunakan yaitu GPS *Trimble GeoExplorer 6000 series* dengan akurasi 50 cm. Transek kuadrat dengan luasan tersebut juga berfungsi untuk mempermudah dalam mengidentifikasi atau menentukan komponen habitat bentik dominan secara visual baik secara langsung di lapangan maupun pada hasil foto transek. Pengambilan data habitat bentik dilakukan dengan meletakkan transek kuadrat pada area habitat bentik yang dominan atau homogen, dengan tujuan untuk memaksimalkan keterwakilan terhadap ukuran dari resolusi spasial citra yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pengambilan titik koordinat dengan menggunakan GPS disetiap lokasi pengumpulan data.

Komponen habitat bentik yang didapatkan akan digunakan sebagai dasar dari pembentukan skema klasifikasi habitat bentik di lokasi studi. Data habitat bentik yang diambil sebanyak 434 titik pengamatan, kemudian dibagi menjadi dua bagian yaitu; (1) sebanyak 217 titik sebagai acuan untuk RoI (*region of interest*) pada proses klasifikasi citra dan (2) sebanyak 217 titik akan dijadikan sebagai data untuk uji akurasi dari hasil klasifikasi citra.

2.3. Skema Klasifikasi

Skema klasifikasi habitat bentik yang digunakan pada penelitian ini yaitu ditentukan berdasarkan hasil pengamatan habitat bentik yang dilakukan secara langsung maupun menggunakan bantuan foto transek kuadrat pada setiap titik pengamatan di lokasi penelitian. Pembuatan skema klasifikasi daerah pengamatan dilakukan dengan mengacu pada prinsiputupan habitat bentik dominan (Siregar, 2010). Penentuan komponen habitat bentik dominan dilakukan dengan analisis visual secara langsung di lapangan maupun hasil foto transek kuadrat disetiap komposisi habitat bentik yang terdapat di dalam transek kuadrat pada titik pengamatan. Deskripsi atau penamaan dari habitat bentik nantinya ditentukan berdasarkan komposisiutupan habitat bentik dominan yang seluruhnya dibangun oleh satu atau beberapa komponen habitat bentik perairan dangkal. Skema klasifikasi yang dibuat pada penelitian ini disusun secara terstruktur yang terdiri dari 2 level skema klasifikasi yaitu skema klasifikasi level 1 (kelas *reef level*) dan skema klasifikasi level 2 (kelas habitat bentik).

2.4. Koreksi Kolom Perairan

Koreksi kolom perairan mampu mengurangi pengaruh *attenuation* dimana intensitas cahaya matahari secara eksponensial akan berkurang dengan meningkatnya kedalaman perairan. Lyzenga (1978; 1981) mengemukakan bahwa teknik koreksi kolom perairan merupakan pendekatan sederhana

berbasis citra untuk mengkompensasi pengaruh variabel kedalaman dalam pemetaan dasar perairan. Koreksi kolom perairan menggunakan komposisi band sinar tampak dengan mengekstrak nilai piksel citra pada tipe substrat yang sama (homogen) dalam hal ini substrat pasir dari kedalaman berbeda (Green *et al.*, 2000; Wahiddin *et al.*, 2014). Pasangan band yang digunakan pada penelitian ini adalah band sinar tampak citra Sentinel-2 yaitu band 2 (*blue*), band 3 (*green*), band 4 (*red*). Metode koreksi kolom perairan ini menghasilkan *Depth Invariant Index* (DII) dari setiap pasangan band spektral dengan persamaan berikut (Green *et al.*, 2000).

$$DII_{ij} = \text{Log}(x_i) - [(Ki/Kj) * \text{Log}(x_j)] \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

$$Ki/Kj = a + \sqrt{a^2 + 1} \dots\dots\dots (2)$$

$$a = \frac{\sigma_{ii} - \sigma_{jj}}{2\sigma_{ij}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: Ki/Kj adalah koefisien *attenuation*, σ_{ii} adalah *variance* band i , σ_{jj} adalah *variance* band j dan σ_{ij} adalah *covariance* pasangan band i dan j .

Koreksi kolom perairan digunakan dengan menghitung DII yang menggunakan informasi dari rasio koefisien atenuasi tiap pasangan band sinar tampak. Berdasarkan band sinar tampak yang digunakan pada penelitian ini, maka diperoleh tiga pasangan band dengan komposisi pasangan band yaitu DII 2/3 (biru-hijau), DII 2/4 (biru-merah), dan DII 3/4 (hijau-merah). Hasil perhitungan rasio ki/kj disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rasio koefisien atenuasi pasangan band sinar tampak citra Sentinel-2.

Pasangan Band	Koefisien Atenuasi (ki/kj)
2/3 (biru - hijau)	0,67
2/4 (biru - merah)	0,30
3/4 (hijau - merah)	0,49

Perhitungan koefisien atenuasi (ki/kj) dari beberapa pasangan band sinar tampak diperoleh koefisien atenuasi berkisar antara 0,30-0,67. Kisaran koefisien atenuasi yang dihasilkan tersebut masih tergolong dalam kisaran atenuasi perairan laut (Lyzenga 1981). Tiga pasangan band DII yang dihasilkan dari citra Sentinel-2 selanjutnya akan digunakan sebagai *input data feature* dalam proses klasifikasi habitat bentik perairan dangkal berbasis objek.

2.5. Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra yang digunakan untuk memetakan habitat bentik yaitu menggunakan klasifikasi citra berbasis objek/OBIA. Metode OBIA merupakan metode klasifikasi yang dikembangkan dengan proses segmentasi dan analisis objek atau proses klasifikasi citra berdasarkan karakteristik spasial, spektral dan skala temporalnya, sehingga menghasilkan objek citra atau segmen-segmen yang selanjutnya digunakan untuk klasifikasi (Wang *et al.*, 2004; Blaschke, 2010). Secara umum tahapan penggunaan metode OBIA dibagi atas dua yaitu; (1) diawali dengan proses segmentasi citra, dan (2) citra yang telah disegmentasi kemudian diklasifikasikan berdasarkan kelas-kelas yang telah ditentukan sebelumnya.

2.5.1. Segmentasi

Segmentasi merupakan konsep untuk membangun objek atau segmen dari piksel-piksel menjadi objek atau segmen yang sama (Navulur, 2007). Penelitian ini algoritma segmentasi yang digunakan yaitu algoritma *multiresolution segmentation* (MRS). Proses segmentasi dengan algoritma MRS terdapat tiga parameter penting yaitu *shape* (bentuk), *compactness* (kekompakan), dan *scale* (skala/ukuran). Penerapan segmentasi multi-skala dengan menggunakan beberapa skala yang berbeda-beda pada level 1 (*reef level*) dan level 2 (habitat bentik). Pada level 1 nilai skala yang digunakan yaitu 5. Sedangkan pada level 2 akan dilakukan optimasi skala

segmentasi pada beberapa nilai skala yang berbeda yaitu MRS 1, 1,5, 2, dan 2,5. Pada tahap segmentasi, nilai parameter *shape* dan *compactness* menggunakan nilai tetap yaitu masing-masing 0,1 dan 0,5. Sampai saat ini tidak ada ketentuan baku mengenai standar nilai parameter dalam klasifikasi berbasis objek (Benfield *et al.*, 2007; Phinn *et al.*, 2011; Trimble, 2014).

2.5.2. Klasifikasi Multiskala

Konsep klasifikasi multiskala yang dibangun dalam penelitian ini terdiri dari 2 level objek citra yaitu level 1 (*reef level*) dan level 2 (habitat bentik). Klasifikasi citra pada tiap level yaitu dengan menggunakan beberapa algoritma. Algoritma ini digunakan untuk membangun suatu aturan (*rule set*) pada pohon proses (*process tree*) yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. *Rule set* merupakan suatu kumpulan dari beberapa algoritma yang digunakan dalam mengklasifikasikan objek kedalam kelas-kelas tertentu (Anggoro, 2015; Anggoro *et al.*, 2017).

Klasifikasi citra dengan multiskala menggunakan metode *contextual editing* pada level 1 dan klasifikasi terbimbing menggunakan beberapa algoritma *machine learning* pada level 2. Klasifikasi pada level 1 yaitu menggunakan *assign class* dengan penerapan batasan nilai (*threshold*) tertentu sehingga menghasilkan kelas objek sesuai dengan apa yang diinginkan. Nilai *threshold* diperoleh melalui *try and error* untuk menemukan nilai optimum.

Klasifikasi level 2 yaitu menggunakan *classifier* dengan penerapan beberapa algoritma klasifikasi seperti *support vector machine* (SVM), *decision tree* (DT), *Bayesian* dan *k-nearest neighbour* (KNN) dengan *input thematic layer* atau training area dari data lapangan untuk mengklasifikasikan kelas habitat bentik. Formula dari masing-masing algoritma klasifikasi yang digunakan yaitu sebagai berikut:

SVM (Tzotsos, 2006):

$$f(x) = \sum_{i \in S} \lambda_i y_i K(x_i x) + w_0 \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: *K* merupakan fungsi kernel, y_i dan x_i mewakili sampel pelatihan, λ_i merupakan pengganda *Lagrange*, *S* bagian dari sampel pelatihan yang sesuai dengan pengganda *Lagrange non-zero*, dan w_0 adalah parameter *hyperplane*.

Bayes (Han *et al.*, 2012):

$$P(C_i|X) = \frac{P(C_i|X)P(C_i)}{P(X)} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan: *X* merupakan kriteria suatu kasus berdasarkan masukan, *C_i* kelas solusi pola ke-*i*, dimana *i* adalah jumlah label kelas, $P(C_i|X)$ probabilitas kemunculan label kelas *C_i* dengan kriteria masukan *X*, $P(X|C_i)$ probabilitas kriteria masukan *X* dengan label kelas *C_i*, $P(C_i)$ probabilitas label kelas *C_i*.

KNN (Wei *et al.*, 2005):

$$d = \sqrt{\sum_f \left[\frac{v_f^{(s)} - v_f^{(o)}}{\sigma_f} \right]^2} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan: *d* merupakan jarak antara objek sampel *s* dan objek gambar *o*, $v_f^{(s)}$ nilai fitur objek sampel untuk fitur *f*, $v_f^{(o)}$ nilai fitur objek gambar untuk fitur *f*, σ_f standar deviasi dari nilai fitur untuk fitur *f*.

- DT (Bradski and Kaehler, 2008):

$$Gini\ impurity: i(N) = \sum_{j \neq i} P(\omega_i)P(\omega_j) \dots\dots (7)$$

Keterangan: metode ini menggunakan notasi $P(\omega_j)$ untuk menunjukkan fraksi pola pada node *N* yang berada di kelas ω_j .

2.6. Uji Akurasi

Pengujian akurasi dilakukan terhadap seluruh citra hasil klasifikasi untuk mengetahui akurasi dari teknik klasifikasi yang

diterapkan. Uji akurasi yang umum dilakukan pada data hasil klasifikasi penginderaan jauh adalah matriks kesalahan/*confusion matrix* (Tabel 2). Hal ini dilakukan dengan membandingkan citra hasil klasifikasi terhadap kelas atau objek sebenarnya yang diperoleh berdasarkan pengamatan di lapangan (Wahiddin, 2015). Uji akurasi mengacu pada Congalton and Green (2009) yang terdiri dari *overall accuracy* (OA), *producer* (PA) dan *user accuracy* (UA) dan menggunakan beberapa persamaan untuk menghitung tingkat akurasi baik itu OA, PA, dan UA masing-masing disajikan pada persamaan berikut.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \dots\dots\dots (8)$$

$$PA = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \dots\dots\dots (9)$$

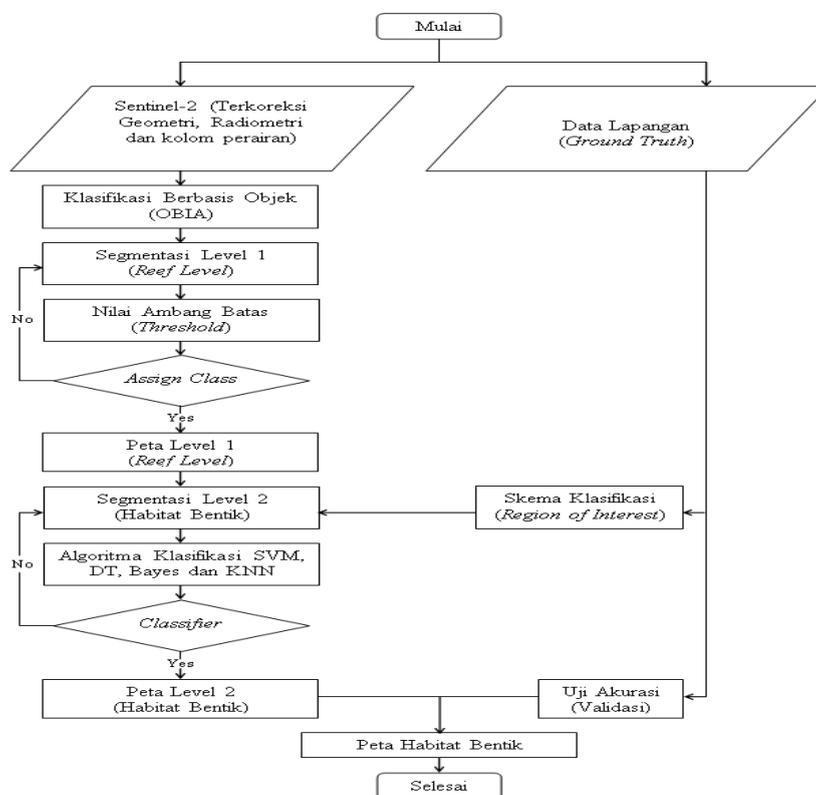
$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan: k adalah jumlah baris pada matriks, n adalah jumlah pengamatan, n_{ii} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke-i dan baris ke-i dan n_{jj} merupakan jumlah pengamatan pada kolom ke-j dan baris ke-j.

Secara umum prosedur penelitian yang telah dilakukan disajikan pada Gambar 2.

Tabel 2. *Confusion matrix* (matriks kesalahan).

Citra Klasifikasi (i)	Lapangan (j)			Jumlah baris n_{i+}
	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}	
n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}	
Jumlah Kolom n_{+j}	n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Skema Klasifikasi

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan pada 434 titik stasiun pengamatan diperoleh komponen habitat bentik perairan dangkal di lokasi penelitian sebanyak 12 komponen habitat bentik. Dari hasil tersebut, kemudian pada penelitian ini dibangun 2 skema klasifikasi habitat bentik yaitu 12 dan 9 kelas habitat bentik perairan dangkal. Duabelas kelas habitat bentik yang dihasilkan yaitu Alga (A), Batu intertidal (BI), Karang hidup (KH), Karang hidup+Karang mati (KHKM), Karang mati (KM), Lamun (L), Lamun+Pasir (LP), Pasir (P), Pasir+Lamun (PL), Pasir+Rubble (PR), Rubble (R) dan Rubble+Lamun (RL). Sedangkan 9 kelas habitat bentik yang terbentuk yaitu terdiri dari Alga (A), Batu intertidal (BI), Karang hidup (KH), Karang mati (KM), Lamun (L), Lamun+Pasir (LP), Pasir (P), Pasir+Lamun (PL), dan Rubble (R).

Penentuan skema klasifikasi habitat bentik sampai saat ini tidak mempunyai ketentuan atau standarisasi yang baku, sehingga penamaan kelas habitat bentik dalam penelitian ini disesuaikan dengan komposisi penyusun habitat bentik dominan yang teramati di lapangan. Beberapa penelitian tentang penentuan skema klasifikasi habitat bentik perairan dangkal telah banyak dilakukan dan menghasilkan skema klasifikasi atau jumlah kelas yang berbeda-beda seperti skema klasifikasi yang dikembangkan secara hirarki oleh Phinn *et al.* (2011) menghasilkan 12 kelas habitat bentik. Zhang *et al.* (2013) menghasilkan 12 kelas habitat bentik, Siregar *et al.* (2013) menghasilkan 6 habitat bentik, Wahiddin *et al.* (2015) menghasilkan 7 kelas habitat bentik serta Anggoro *et al.* (2017) menghasilkan 9 skema klasifikasi habitat bentik.

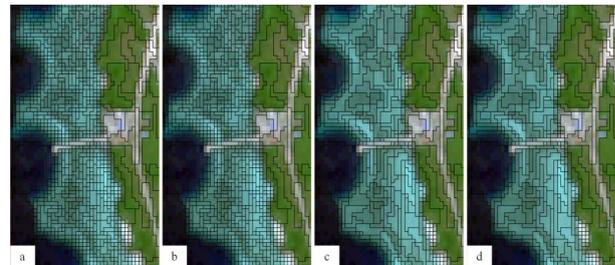
Skema klasifikasi yang dihasilkan pada penelitian ini terdiri dari 2 level skema klasifikasi. Skema klasifikasi level 1 (*reef level*) terdiri dari 3 kelas yaitu kelas darat, perairan dangkal dan kelas laut dalam,

sedangkan skema klasifikasi level 2 (habitat bentik) terdiri dari 12 dan 9 kelas habitat bentik perairan dangkal. Skema klasifikasi habitat bentik perairan dangkal yang dihasilkan dari 434 titik stasiun pengamatan, selanjutnya akan dibagi menjadi dua yaitu sebanyak 217 stasiun pengamatan akan digunakan sebagai data RoI (*region of interest*) pada proses klasifikasi citra, kemudian sisahnya sebanyak 217 stasiun pengamatan akan dijadikan sebagai data untuk uji akurasi dari hasil klasifikasi citra.

3.2. Klasifikasi Citra

3.2.1. Segmentasi

Dasar dalam proses klasifikasi citra berbasis objek yaitu segmentasi. Pada level 1 skala segmentasi yang digunakan yaitu 5 dengan menghasilkan sebanyak 506 segmen/objek. Pada level 2 proses segmentasi dilakukan dengan optimasi skala segmentasi yaitu dengan penerapan beberapa skala segmentasi yang berbeda. Optimasi skala segmentasi yang digunakan adalah MRS 1, 1,5, 2, dan 2,5. Hasil segmentasi citra dengan optimasi beberapa skala segmentasi dapat dilihat pada Gambar 3.



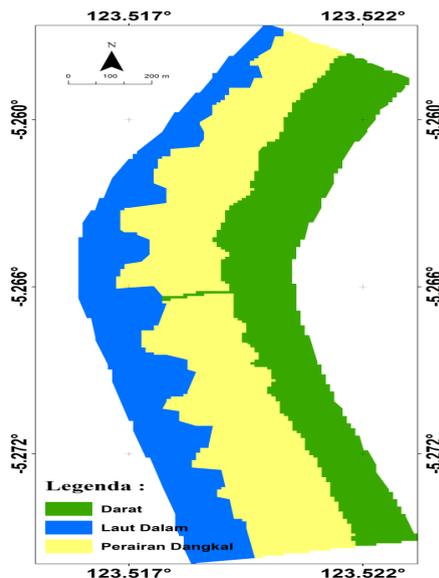
Gambar 3. Variasi ukuran objek hasil optimasi pada citra Sentinel-2; Skala segmentasi (a) 1, (b) 1,5, (c) 2, dan (d) 2,5.

Berdasarkan hasil segmentasi Gambar 3 dengan optimasi skala segmentasi (1, 1,5, 2, dan 2,5) pada level 2 dihasilkan jumlah objek masing-masing sebanyak 3067, 1896, 1327, dan 1027. Hasil tersebut, diperoleh bahwa semakin kecil skala segmentasi yang diterapkan, maka jumlah objek yang

dihasilkan akan semakin banyak dan juga menghasilkan bentuk atau ukuran objek yang semakin kecil. Objek yang dihasilkan melalui proses segmentasi pada penelitian ini, selanjutnya akan diklasifikasikan berdasarkan data skema klasifikasi yang telah dibuat sebelumnya.

3.2.2. Klasifikasi Reef Level (Level 1)

Klasifikasi level 1 pada penelitian ini menghasilkan 3 kelas yaitu darat, perairan dangkal, dan perairan dalam (Gambar 4). Kelas perairan dangkal menjadi batas area kajian habitat bentik dan selanjutnya akan disegmentasi ulang pada tahap klasifikasi habitat bentik (level 2). Phinn *et al.* (2011) dan Anggoro *et al.* (2017) mengungkapkan bahwa pada sistem klasifikasi hirarki hasil klasifikasi level 1 (*reef level*) yaitu pada kelas perairan dangkal menjadi batasan area kajian dan diproses menjadi segmen baru untuk klasifikasi pada level berikutnya, dalam hal ini yaitu level 2 (habitat bentik). Berdasarkan hasil klasifikasi level 1 diperoleh luas tiap kelas yaitu kelas perairan dangkal sebesar 44,8 Ha, kelas darat 33,5 Ha, dan kelas perairan dalam sebesar 27,7 Ha, dari luas keseluruhan lokasi penelitian sebesar 106 Ha.



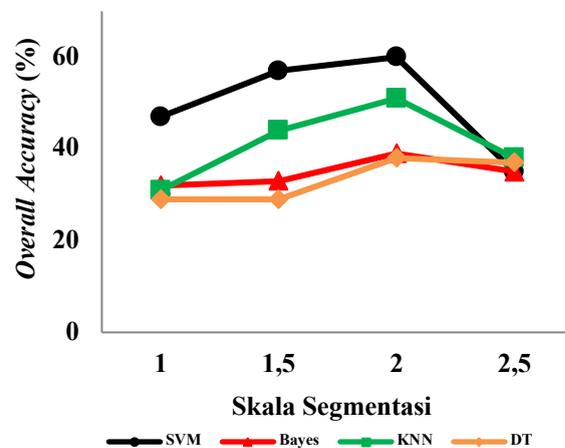
Gambar 4. Hasil klasifikasi level 1 (*reef level*) yang membagi daerah

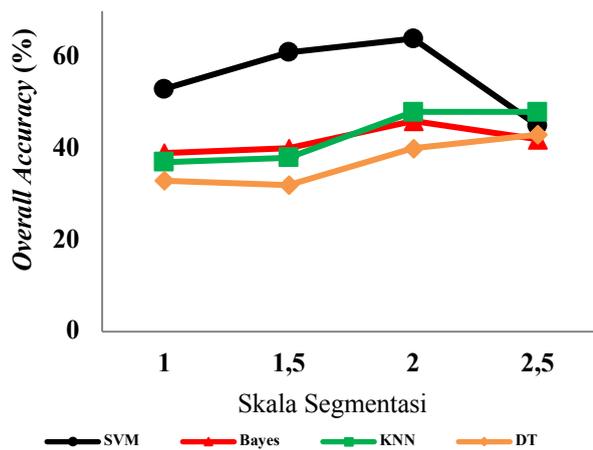
penelitian kedalam tiga kelas yaitu darat, perairan dangkal, dan laut dalam.

3.2.3. Klasifikasi Habitat Bentik (Level 2)

Kelas perairan dangkal pada level 1 kemudian disegmentasi ulang pada level 2 dengan penerapan optimasi skala segmentasi. Objek atau segmen yang dihasilkan selanjutnya diklasifikasi dengan klasifikasi terbimbing menggunakan beberapa algoritma *machine learning* seperti algoritma SVM, DT, *Bayesian*, dan KNN dengan menggunakan data skema klasifikasi habitat bentik perairan dangkal sebagai *input thematic layer* yang telah dibuat sebelumnya berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Input fitur yang digunakan pada proses klasifikasi level 2 yaitu nilai *layer (mean dan standar deviasi)* dari semua band sinar tampak serta hasil dari tiga komposisi pasangan band DII.

Hasil optimasi skala segmentasi (Gambar 5) diperoleh nilai akurasi tertinggi pada algoritma SVM dan optimum pada skala segmentasi 2 baik pada hasil klasifikasi 12 kelas dan 9 kelas habitat bentik dengan nilai akurasi keseluruhan diperoleh masing-masing sebesar 60,4% dan 64,1%. Nilai akurasi terendah diperoleh sebesar 29,0% pada skala segmentasi 1 dan 1,5 dengan algoritma DT untuk hasil klasifikasi 12 kelas dan 32,8% pada skala segmentasi 1,5 dengan algoritma DT untuk hasil klasifikasi 9 kelas habitat bentik.





Gambar 5. Hasil Akurasi 12 kelas (atas) dan 9 kelas (bawah) habitat bentik pada tiap algoritma yang digunakan.

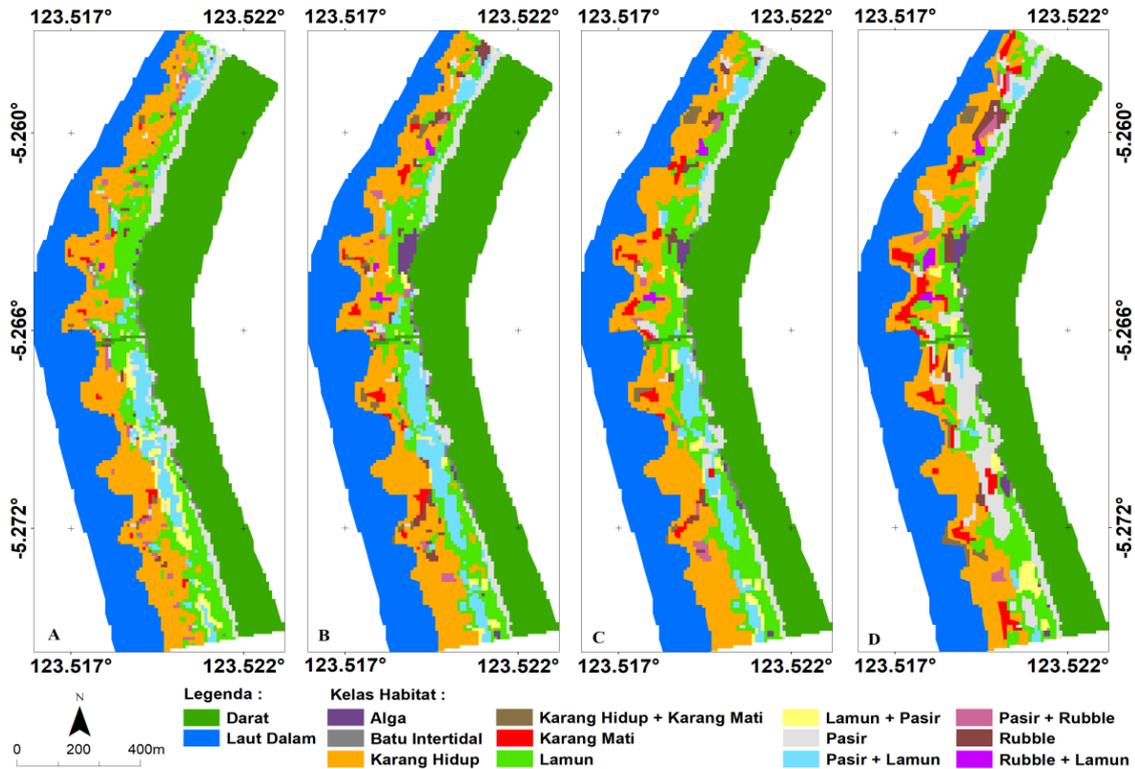
Berdasarkan hasil optimasi skala segmentasi dengan penerapan beberapa algoritma klasifikasi, terlihat dengan jelas bahwa algoritma SVM menghasilkan akurasi keseluruhan tertinggi dibandingkan dengan algoritma klasifikasi lainnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Wahiddin *et al.* (2015) yang memetakan habitat bentik terumbu karang dengan menggunakan beberapa algoritma klasifikasi yaitu algoritma SVM, DT, *Bayesian*, KNN, *random tree* (RT) dan dari hasil penelitiannya merekomendasikan untuk menggunakan metode berbasis objek (OBIA) dengan menerapkan algoritma klasifikasi SVM, karena menghasilkan nilai akurasi keseluruhan tertinggi dibandingkan dengan algoritma klasifikasi lainnya yaitu sebesar 73% pada 7 kelas habitat bentik. Kondraju *et al.* (2013) juga memetakan habitat bentik dengan beberapa algoritma klasifikasi yaitu MLC (*maximum likelihood*), SAM (*spectral angular mapper*), SID (*spectral information divergence*) serta SVM, dan menghasilkan nilai akurasi optimum pada penerapan algoritma SVM dengan nilai akurasi sebesar 95,97% pada 4 kelas habitat bentik. Menurut Mountrakis *et al.* (2011) algoritma SVM dalam bidang penginderaan jauh memiliki kemampuan yang baik untuk menangani data dengan

jumlah yang sedikit dan dapat menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan teknik klasifikasi lainnya. Faktor utama yang mempengaruhi peningkatan akurasi dengan menggunakan algoritma mesin pembelajaran (SVM) yaitu kemampuan membedakan objek dengan baik dari penggunaan data dengan ciri probabilitas empiris yang tidak diketahui (Zhang and Xie, 2013).

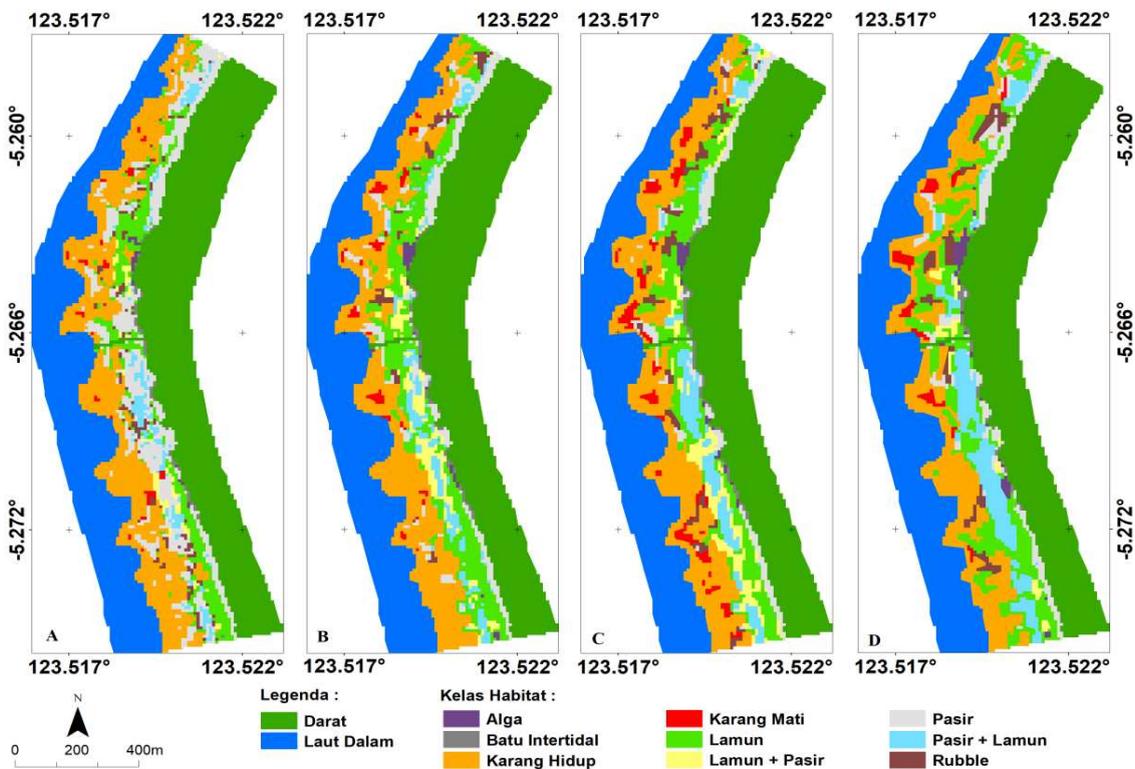
Hasil klasifikasi dengan menggunakan algoritma SVM pada skala segmentasi 2 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan akurasi keseluruhan sebesar 3,7% dari penerapan 12 kelas dan 9 kelas habitat bentik. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah kelas yang digunakan akan mempengaruhi akurasi hasil klasifikasi, dimana jumlah kelas yang lebih sedikit (9 kelas) akan menghasilkan akurasi keseluruhan lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan jumlah kelas yang lebih banyak (12 kelas). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Andrefouet *et al.* (2003) yang menerapkan beberapa jumlah kelas dengan menghasilkan akurasi keseluruhan yang semakin menurun dengan bertambahnya jumlah kelas yang digunakan yaitu diperoleh akurasi rata-rata 77% (4-5 kelas), 71% (7-8 kelas), 56% (9-11 kelas), dan 53% (>13 kelas) pada citra Landsat dan IKONOS.

Hasil klasifikasi habitat bentik perairan dangkal (level 2) disajikan pada Gambar 6 untuk hasil klasifikasi 12 kelas dan Gambar 7 untuk hasil klasifikasi 9 kelas habitat bentik.

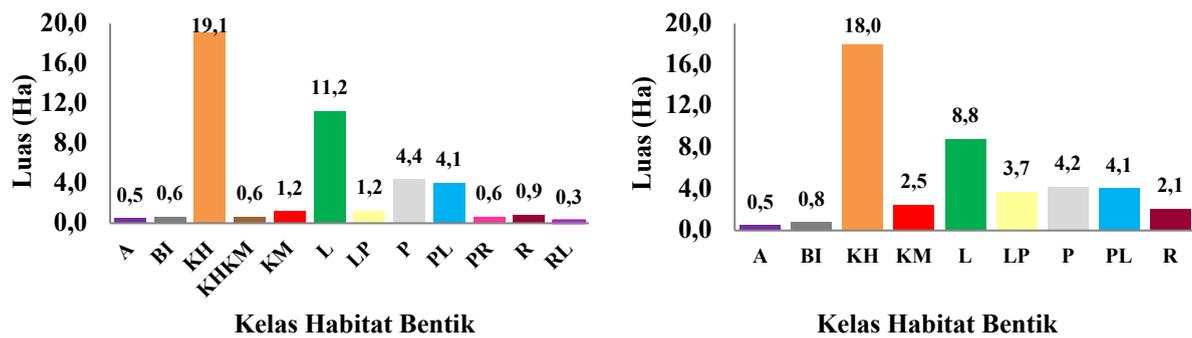
Berdasarkan hasil klasifikasi habitat bentik pada Gambar 6 dan Gambar 7 terlihat dengan jelas bahwa kelas habitat bentik terdistribusi dengan relatif homogen pada wilayah perairan dangkal. Dari hasil tersebut, kemudian dapat diperoleh luas area masing-masing kelas habitat bentik dengan analisis spasial dari hasil klasifikasi 12 dan 9 kelas habitat bentik perairan dangkal di lokasi penelitian. Gambar 8 menunjukkan luas area 12 dan 9 kelas habitat bentik hasil klasifikasi menggunakan algoritma SVM dengan skala segmentasi 2.



Gambar 6. Hasil klasifikasi 12 kelas habitat bentik menggunakan algoritma SVM; skala segmentasi (A) 1, (B) 1,5, (C) 2, dan (D) 2,5.



Gambar 7. Hasil klasifikasi 9 kelas habitat bentik menggunakan algoritma SVM; skala segmentasi (A) 1, (B) 1,5, (C) 2, dan (D) 2,5.



Gambar 8. Luas kelas habitat bentik hasil klasifikasi 12 kelas (kanan) dan 9 kelas (kiri).

Hasil klasifikasi 12 kelas dan 9 kelas habitat bentik menunjukkan bahwa kelas karang hidup (KH) mendominasi area perairan dangkal di lokasi penelitian dengan diperoleh luasan masing-masing sebesar 19,1 Ha dan 18,0 Ha, sedangkan kelas habitat bentik yang memiliki luas area terkecil yaitu didapatkan pada kelas *rubble* + lamun (RL) sebesar 0,3 Ha pada klasifikasi 12 kelas dan pada klasifikasi 9 kelas didapatkan luasan terkecil pada kelas alga (A) sebesar 0,5 Ha.

Hasil uji akurasi citra Sentinel-2 optimum pada skala segmentasi 2 dengan menggunakan algoritma SVM diperoleh akurasi keseluruhan (OA) sebesar 60,4% pada 12 kelas dan 64,1% pada 9 kelas habitat bentik. Green *et al.* (2000) menyatakan bahwa akurasi pemetaan habitat bentik yang baik atau dapat digunakan apabila peta klasifikasi habitat bentik menghasilkan akurasi keseluruhan (OA) di atas 60%. Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini peta hasil klasifikasi habitat bentik perairan dangkal dapat digunakan untuk keperluan lebih lanjut.

Saat ini, pemetaan habitat bentik perairan dangkal telah banyak dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi berbasis objek (OBIA) dan penggunaan metode OBIA telah terbukti dapat meningkatkan akurasi pemetaan habitat bentik perairan dangkal. Benfield *et al.*, (2007) memetakan 11 kelas bentik menggunakan citra Quickbird dan Landsat 7 ETM+ dengan algoritma *fuzzy logic* dan *contextual editing* menghasilkan akurasi

masing-masing sebesar 83,5% dan 68,7%. Phinn *et al.*, (2011) melakukan pemetaan habitat bentik menggunakan citra Quickbird-2 di tiga daerah yang berbeda yaitu di Ngderack Reef (11 kelas), Heron Reef (13 kelas), dan Navakavu Reef (17 kelas) menghasilkan akurasi pemetaan masing-masing 51,6%, 77,9 %, dan 65,4%. Zhang *et al.* (2013) memetakan 12 kelas habitat bentik menggunakan citra AVIRIS (*airborne visible/infrared imaging spectrometer*) dengan algoritma *random forest* (RF) menghasilkan akurasi keseluruhan yaitu 75,1-87,9%. Wahiddin *et al.*, (2015) melakukan pemetaan pada 7 kelas habitat bentik terumbu karang menggunakan Landsat 8 OLI dengan algoritma SVM dan menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 73%. Anggoro *et al.*, (2017) memetakan 9 kelas habitat bentik menggunakan citra Worldview-2 dengan algoritma SVM dan menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 75%. Dalam penelitian ini dilakukan pemetaan 12 dan 9 kelas habitat bentik menggunakan citra Sentinel-2 dengan algoritma SVM menghasilkan akurasi keseluruhan masing-masing sebesar 60,4% dan 64,1%. Hasil akurasi penelitian ini lebih rendah dari akurasi penelitian lainnya seperti Wahidin *et al.* (2015) dan Anggoro *et al.* (2017) disebabkan oleh: (1) perbedaan penggunaan algoritma klasifikasi, (2) jenis atau kualitas citra yang digunakan, (3) jumlah kelas atau kompleksitas habitat bentik di lokasi kajian, (4) jumlah titik pengamatan lapangan, (5) lokasi dan waktu penelitian

yang berbeda, dan (6) ukuran dan teknik sampling lapangan yang berbeda. Menurut Anggoro *et al.* (2017) bahwa perbedaan akurasi pemetaan dapat disebabkan adanya kompleksitas habitat bentik yang sangat tinggi di wilayah kajian.

Umumnya metode klasifikasi yang diterapkan selama ini masih menggunakan metode klasifikasi berbasis piksel yang hanya bertumpu pada aspek spektral saja. Perkembangan metode OBIA saat ini tidak terlepas dari keunggulannya yang dapat menghubungkan antara aspek spektral dan spasial secara bersamaan dalam proses klasifikasi. Selain itu, penggunaan algoritma klasifikasi dalam dunia penginderaan jauh semakin berkembang seperti pemanfaatan algoritma yang berbasis *machine learning*. Pada penelitian ini, metode OBIA dengan algoritma klasifikasi SVM telah terbukti dapat menghasilkan akurasi pemetaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa algoritma klasifikasi lainnya.

IV. KESIMPULAN

Habitat bentik perairan dangkal dapat dipetakan dengan baik menggunakan metode klasifikasi berbasis objek (OBIA) dengan algoritma SVM pada citra Sentinel-2 di lokasi kajian. Hasil uji akurasi diperoleh akurasi keseluruhan (OA) untuk 12 kelas dan 9 kelas habitat bentik yaitu masing-masing sebesar 60,4% dan 64,1% pada nilai optimum skala segmentasi 2 dengan algoritma SVM. Dari hasil klasifikasi habitat bentik pada klasifikasi 12 dan 9 kelas habitat bentik menunjukkan bahwa kelas karang hidup (KH) mendominasi area perairan dangkal di lokasi penelitian dengan diperoleh luasan masing-masing sebesar 19,1 Ha dan 18,0 Ha. Sedangkan kelas habitat bentik yang memiliki luas area terkecil yaitu didapatkan pada kelas *rubble* + lamun (RL) sebesar 0,3 Ha pada klasifikasi 12 kelas dan pada klasifikasi 9 kelas didapatkan luasan terkecil pada kelas alga (A) sebesar 0,5 Ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sebagian dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia melalui program hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) dengan surat perjanjian pendanaan penelitian No. 129/SP2H/PTNBH/DRPM/2018 tanggal 1 Februari 2018 dan surat perjanjian penugasan pelaksanaan penelitian No. 1738/IT3.11/PN/2018 tanggal 21 Februari 2018. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Pekerjaan Umum, Tata Ruang dan Pertambangan Kabupaten Wakatobi atas bantuan alat dan fasilitas selama penulis melakukan penelitian, khususnya pada saat proses pengambilan data lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada reviewer yang telah memberikan masukan untuk meningkatkan kualitas paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, A.S. 2014. Suitability analysis of multispectral satellite sensors for mapping coral reefs in Indonesia case study: Wakatobi Marine National Park. *Mar. Res. Indonesia*, 39(2):73-78. <http://dx.doi.org/10.14203/mri.v39i2.87>.
- Andrefouet, S., P. Kramer, D. Torres-Pulliza, K.E. Joyce, E.J. Hochberg, R. Garza-Pérez, P.J. Mumby, B. Riegl, H. Yamano, W.H. White, *et al.* 2003. Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sens. Environ.*, 88(1-2):128-143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.005>.
- Anggoro, A., V.P. Siregar, and S.B. Agus. 2017. Multiscale classification for geomorphic zone and benthic habitats mapping using OBIA method in Pari Island. *J. Penginderaan Jauh*,

- 14(2):89-93. <http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.1017.v14.a2622>.
- Anggoro, A., V.P. Siregar, and S.B. Agus. 2015. Geomorphic zones mapping of coral reef ecosystem with OBIA method, case study in Pari Island. *J. Penginderaan Jauh*, 12(1):1-12.
- Anggoro, A. 2015. Pemetaan zona geomorfologi dan habitat bentik menggunakan citra Wordview-2 dengan metode OBIA di Gugus Pulau Pari. Tesis. Institut Pertanian Bogor. 43 hlm.
- Balai Taman Nasional Wakatobi [BTNW]. 2009. Informasi Taman Nasional Wakatobi. Bau-Bau, Sulawesi Tenggara. 12 hlm.
- Benfield, S.L., H.M. Guzman, J.M. Mair, and J.A.T. Young. 2007. Mapping the distribution of coral reefs and associated sublittoral habitats in Pacific Panama: a comparison of optical satellite sensors and classification methodologies. *Int. J. Remote Sens.*, 28(22):5047-5070. <https://doi.org/10.1080/01431160701258062>.
- Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS J. Photogramm.*, 65(1):2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>.
- Bradski, G., A. Kaehler. 2008. *Learning opencv: Computer vision with the opencv library*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, Inc. 555p.
- Congalton, R.G. and K. Green. 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data principles and practices (second edition). CRC Press: Taylor & Francis Group. France. 183 p.
- Coral Reef Rehabilitation and Management Program (COREMAP). 2001. CRITC report: Base line study Wakatobi Sulawesi Tenggara. COREMAP. 132 p.
- Green, E., A.J. Edwards, and C. Clark. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. Unesco Pub. Paris. 316 p.
- Hafizt, M., M.D.M. Manessa, N.S. Adi, and B. Prayudha. 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 Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 98:012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012037>.
- Han, J., M. Kamber, and J. Pei. 2012. Data mining: Concepts and techniques (Third edition). Waltham, MA 02451 (USA): Morgan Kaufmann Publishers. 703 p.
- Kondraju, T.T., V.R.B. Mandla, R.S. Mahendra, and T.S. Kumar. 2013. Evaluation of various image classification techniques on Landsat to identify coral reefs. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 5:173-184. <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2013.802748>.
- Lyzenga, D.R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *Int. J. Remote Sens.*, 2:71-82. <https://doi.org/10.1080/01431168108948342>.
- Lyzenga, D.R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Appl. Opt.*, 17(3):379-383. <https://doi.org/10.1364/AO.17.000379>.
- Mountrakis, G., J. Im, and C. Ogole. 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS J. Photogramm.*, 66(3):247-259. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>.
- Navulur, K. 2007. Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm. CRC Press: Taylor & Francis Group. France. 165 p.

- Phinn, S.R., C.M. Roelfsema, and P.J. Mumby. 2011. Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *Int. J. Remote Sensing*, 33:3768-3797. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2011.633122>.
- Purbani, D., Yulius, M. Ramdhan, T. Arifin, H.L. Salim, and N. Novianti. 2014. Beach characteristics of Wakatobi National Park to support marine ecotourism: A case study of Wangi-wangi Island. *Depik*, 3(2):137-145. <https://doi.org/10.13170/depik.3.2.1539>.
- Roelfsema, C. and S. Phinn. 2008. Evaluating eight field and remote sensing approaches for mapping the benthos of three different coral reef environments in Fiji. In: Frouin, R.J. *et al.* (eds.). Proc. SPIE, Remote sensing of inland, coastal, and oceanic waters. 7150:71500F. <https://doi.org/10.1117/12.804806>.
- Selamat, M.B., I. Jaya, V.P. Siregar, dan T. Hestirianoto. 2012a. Aplikasi citra quickbird untuk pemetaan 3D substrat dasar di gusung karang. *J. Ilmiah Geomatika*, 8(2):95-106.
- Selamat, M.B., I. Jaya, V.P. Siregar, and T. Hestirianoto. 2012b. Geomorphology zonation and column correction for bottom substrat mapping using quickbird image. *J. Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 2(2):17-25. <http://dx.doi.org/10.24319/jtpk.3.17-25>
- Siregar, V.P., S. Wouthuyzen, A. Sunuddin, A. Anggoro, dan A.A. Mustika. 2013. Pemetaan habitat dasar dan estimasi stok ikan terumbu dengan citra satelit resolusi tinggi. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5:453-463. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v5i2.7573>.
- Siregar, V.P. 2010. pemetaan substrat dasar perairan dangkal karang cangkak dan lebar Kepulauan Seribu menggunakan citra satelit quick bird. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(1):19-30. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v2i1.7860>.
- Supriatna, J. 2008. Melestarikan alam Indonesia. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta. 482 hlm.
- Suyarso, dan A. Budiyanto. 2008. Studi baseline terumbu karang di lokasi DPL Kabupaten Wakatobi. COREMAP II (Coral Reef Rehabilitation and Management Program)-LIPI. Jakarta. 107 hlm.
- Trimble. 2014. Ecognition developer: user guide. Trimble Germany GmbH. Munchen, Germany. 262 p.
- Tzotsos, A. 2006. A support vector machine approach for object based image analysis. 2006. In: *1st International Conference on Object-based Image Analysis, OBIA*, Salzburg, Austria, 4-5 July. 6 p.
- Wahiddin, N., V.P. Siregar, B. Nababan, I. Jaya, and S. Wouthuyzend. 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>.
- Wahiddin, N. 2015. Klasifikasi ekosistem terumbu karang berbasis objek dan piksel di Pulau Morotai. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 102hlm.
- Wahiddin, N., V.P. Siregar, B. Nababan, I. Jaya, dan S. Wouthuyzend. 2014. Deteksi perubahan habitat terumbu karang menggunakan citra Landsat di pulau morotai provinsi maluku utara. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2):507-524. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v6i2.9026>.
- Wang, L., W.P. Sousa, and P. Gong. 2004. Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 25(24):5655-5668.

- <http://dx.doi.org/10.1080/014311602331291215>.
- Wei, W., X. Chen, A. Ma. 2005. Object-oriented information extraction and application in high-resolution remote sensing image. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 8:3803-3807. <http://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1525737>.
- Wilson, J.R., R.L. Ardiwijaya, and R. Prasetia. 2012. A study of the impact of the 2010 coral bleaching event on coral communities in Wakatobi National Park. The Nature Conservancy. 23 p.
- Yulius, N. Novianti, T. Arifin, H.L. Salim, M. Ramdhan, and D. Purbani. 2015. Coral reef spatial distribution in Wangi-wangi island waters, Wakatobi. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(1):59-69. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v7i1.9774>.
- Zhang, C. 2014. Applying data fusion techniques for benthic habitat mapping. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104:213-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.06.005>.
- Zhang, C., D. Selch, Z. Xie, C. Roberts, H. Cooper, and G. Chen. 2013. Object-based benthic habitat mapping in the Florida Keys from hyperspectral imagery. *Estuar. Coast. Shelf S.*, 134:88-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.018>.
- Zhang, C. and Z. Xie. 2013. Object-based vegetation mapping in the Kissimmee river watershed using hymap data and machine learning techniques. *Wetlands*, 33(2):233-244. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0373-x>.
- Diterima* : 23 April 2018
Direview : 05 Mei 2018
Disetujui : 05 Juli 2018