



INTEGRASI OBIA DAN BTM UNTUK PEMETAAN KOMPLEKSITAS HABITAT TERUMBU KARANG DI PERAIRAN PULAU HARAPAN-KELAPA, KEPULAUAN SERIBU

OBIA AND BTM INTEGRATION FOR MAPPING HABITAT COMPLEXITY OF CORAL REEFS ON HARAPAN-KELAPA ISLANDS, KEPULAUAN SERIBU

Tarlan Subarno^{a*}, Vincentius Paulus Siregara^a, Syamsul Bahri Agus^a

^a Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan-IPB, Bogor

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

ABSTRACT

The habitat complexity is indirectly closely related to reef fish abundance. This study aims to map reefs habitat complexity by integrating object-based image analysis (OBIA) and habitat complexity analysis using benthic terrain modeler (BTM). The datasets used were SPOT-7 imagery and water depth derived from satellite imagery. The ground check was conducted to collect field data used as reference for classification and accuracy assessment of classification results. Classification of SPOT-7 imagery was performed using support vector machines (SVM) algorithm, by grouping shallow waters habitats into 4 classes on level 2 and 3 classes on level 3. Accuracy assessment was done by confusion matrix and resulting overall accuracy (OA) 83.55% for level 2 and 79.66% for level 3. The habitat complexity was analyzed using rugosity analysis method (Arc-Chord Ratio) from benthic terrain modeler (BTM) to obtain rugosity index in reefs area. The substrate covers were obtained from OBIA and complexity of habitats were obtained from BTM, then the overlay result shows varying rugosity index on the reef area in Harapan-Kelapa Islands.

Keywords: coral reefs, OBIA, habitat complexity, rugosity

ABSTRAK

Kompleksitas habitat terumbu karang secara tidak langsung erat kaitannya dengan kelimpahan ikan terumbu. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kompleksitas habitat terumbu dengan mengintegrasikan klasifikasi citra berbasis objek dan analisis kompleksitas habitat menggunakan *benthic terrain modeler* (BTM). Set data yang digunakan adalah citra SPOT-7 dan data kedalaman yang diturunkan dari citra satelit dikombinasikan dengan hasil survei lapangan. Survei lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data yang digunakan sebagai referensi klasifikasi dan uji akurasi hasil klasifikasi. Klasifikasi dilakukan menggunakan algoritma *support vector machines* (SVM), dengan mengelompokkan habitat perairan dangkal menjadi 4 kelas pada level 2 dan 3 kelas pada level 3. Hasil uji akurasi yang dilakukan menggunakan matriks eror diperoleh nilai *overall accuracy* (OA) sebesar 83.55% untuk Level 2 dan 79.66% pada level 3. Kompleksitas habitat dianalisis menggunakan metode *arc-chord ratio* untuk memperoleh indeks rugositas di area terumbu karang. *Overlay* antara sebaran habitat bentik dari hasil OBIA dan kompleksitas habitat memperlihatkan nilai indeks rugositas yang bervariasi pada kawasan terumbu karang Pulau Harapan-Kelapa dan ditemukan nilai indeks yang tinggi pada kelas karang hidup.

Kata kunci: terumbu karang, OBIA, kompleksitas habitat, rugositas

1. PENDAHULUAN

Informasi dasar ekosistem terumbu karang seperti sebaran dapat diekstraksi dengan mudah dari citra satelit. Penggunaan teknik klasifikasi berbasis objek (OBIA) untuk pemetaan di wilayah pesisir dan laut cukup populer beberapa tahun terakhir. Misalnya untuk pemetaan ekosistem terumbu karang dan habitat perairan dangkal (Anggoro *et al.* 2015; Phinn *et al.* 2012; Wahidin *et al.* 2015; Zhang *et al.* 2013), untuk pemetaan padang lamun (Baumstark *et al.* 2016; Urbański *et al.* 2009), dan untuk pemetaan mangrove (Jhonnerie *et al.* 2015; Kamal *et al.* 2015). Secara umum, aplikasi teknik OBIA untuk klasifikasi citra satelit memberikan hasil dengan akurasi yang lebih baik dari penggunaan teknik konvensional berbasis piksel.

Peran teknologi geospasial dapat dimanfaatkan lebih jauh untuk mengkaji ekosistem perairan dangkal, termasuk terumbu karang. Misalnya untuk menduga kelimpahan ikan pada wilayah terumbu karang (Siregar *et al.* 2013). Kompleksitas habitat merupakan salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam mengkaji ekosistem perairan dangkal, utamanya terumbu karang. Beberapa penelitian, diantaranya Wedding *et al.* (2008) menemukan hubungan positif antara kelimpahan spesies dengan kompleksitas habitat terumbu. Kompleksitas habitat terumbu dapat diukur dengan pendekatan nilai rugositas, dimana rugositas atau indeks kekasaran permukaan, merupakan gambaran tingkat kerumitan bentuk permukaan dasar perairan. Dalam hal ini, semakin banyak fitur yang menyusun suatu habitat, akan semakin kompleks keadaan habitat tersebut.

Indeks rugositas dapat diukur dengan pendekatan konvensional yaitu pengukuran insitu menggunakan transek rantai (Knudby and LeDrew 2007),

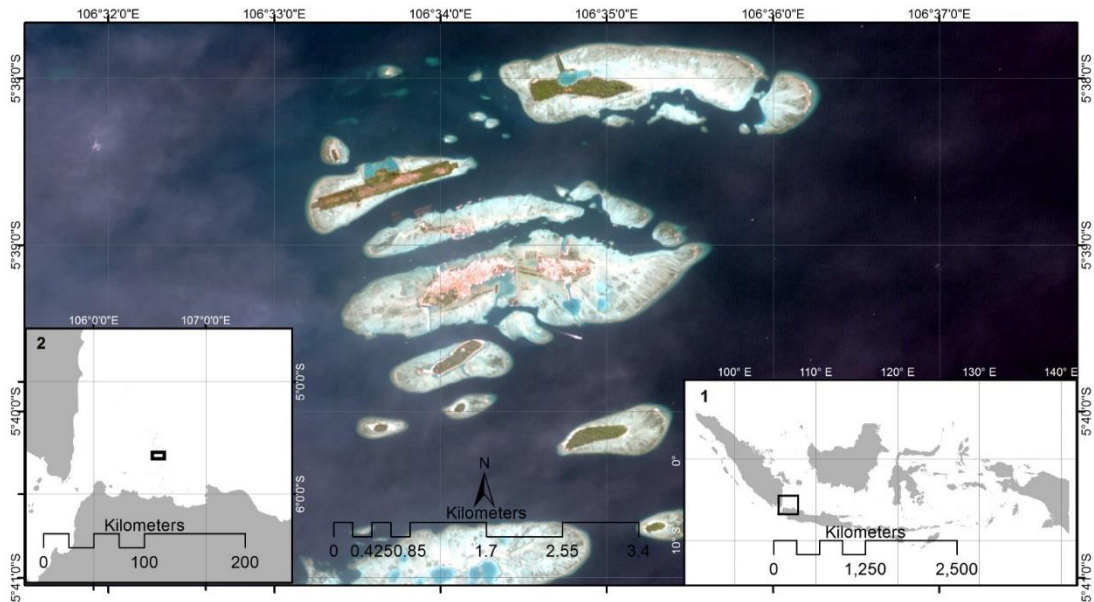
menggunakan robot bawah air atau *autonomous underwater vehicles* (Friedman *et al.* 2012), dan dapat pula dianalisis secara spasial dengan menghitung selisih luas permukaan (*surface*) terhadap luas penampang (*planar*). Analisis tersebut memanfaatkan data kedalaman yang menjadi acuan perhitungan luas permukaan melalui pendekatan *triangulated irregular network* (TIN). Konsep tersebut telah dikembangkan oleh Wright *et al.* (2005), dan dilanjutkan oleh Du Preez (2014) dengan melibatkan polygon sebagai acuan perhitungan rugositas. Sejauh ini, metode tersebut telah dikemas dalam bentuk *toolbox* dengan sebutan *Benthic Terrain Modeler* (BTM) yang terintegrasi dengan perangkat analisis spasial *ArcGIS*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkombinasikan metode *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dan *Benthic Terrain Modeler* (BTM) untuk mengklasifikasi habitat perairan dangkal di Kepulauan Seribu bagian Utara. Pada penelitian ini, digunakan teknik klasifikasi OBIA untuk mengklasifikasi habitat perairan dangkal pada Level 2 (L2), kemudian mengklasifikasi kelas terumbu karang pada skala yang lebih detail di Level 3 (L3). Kombinasi teknik OBIA dan BTM dilakukan untuk memetakan kompleksitas habitat berdasarkan kelas yang diperoleh dari klasifikasi berbasis objek. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan dalam melakukan pengelolaan ekosistem pesisir, khususnya terumbu karang maupun untuk penelitian terkait lainnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Kepulauan Seribu bagian Utara, terdapat 5 pulau-pulau kecil yang termasuk dalam lokasi penelitian yaitu Pulau Harapan,



Gambar 1. Lokasi penelitian terletak di Kepulauan Seribu bagian Utara, DKI Jakarta

Kelapa, Kelapa Dua, Kaliageh, dan sebagian wilayah Pulau Panjang. Pulau Harapan dan Pulau Kelapa adalah dua buah pulau yang saling berdampingan dan disatukan dengan jalan penghubung di antara keduanya. Tiga dari lima pulau di lokasi penelitian ini merupakan pulau berpenghuni. Secara administrasi lokasi penelitian termasuk dalam wilayah kecamatan Kepulauan Seribu Utara, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu – Jakarta. Berdasarkan posisi geografis, lokasi penelitian terbentang antara $106^{\circ}33'9.3''\text{BT}$ dan $5^{\circ}38'35''\text{LS}$ – $106^{\circ}35'44''\text{BT}$ dan $5^{\circ}39'58.39''\text{LS}$. Lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.

2.2. Pengumpulan Data

Data utama yang digunakan adalah citra multispektral SPOT-7, dengan perekaman tanggal 12 Juni 2016. Citra

SPOT-7 terdiri atas 4 kanal, yaitu band biru, hijau, merah, dan NIR (*Near-Infrared*). Citra SPOT-7 memiliki resolusi spasial 6m pada band multispektral, dan 1,5m pada band pankromatik (**Tabel 1**). Data lapangan digunakan sebagai training dan validasi hasil klasifikasi citra satelit. Data lapangan diperoleh dari hasil survey lapang yang dilakukan pada bulan Juni dan November 2016.

Pengumpulan data lapangan dilakukan menggunakan metode sistematik random sampling, dengan jarak antara titik sampling sekitar 20m. Penentuan lokasi pengamatan untuk mewakili lokasi penelitian dilakukan pada saat perancangan survey lapang, dengan melakukan interpretasi visual pada citra *WorldView-2* (WV2). Citra WV2 yang digunakan adalah citra dengan perekaman pada tahun 2013,

Tabel 1. Karakteristik citra satelit SPOT-7

Band	Panjang Gelombang	Resolusi Spasial
Band 1 (Biru)	485 nm	6 m
Band 2 (Hijau)	560 nm	6 m
Band 3 (Merah)	660 nm	6 m
Band 4 (NIR)	825 nm	6 m
<i>Panchromatic</i>	597,5 nm	1,5 m

sehingga hanya dapat digunakan untuk pengumpulan data lapangan dilakukan menggunakan metode sistematis random sampling, dengan jarak antara titik sampling sekitar 20m. Penentuan lokasi pengamatan untuk mewakili lokasi penelitian dilakukan pada saat perancangan survey lapang, dengan melakukan interpretasi visual pada citra *WorldView-2* (WV2). Citra WV2 yang digunakan adalah citra dengan perekaman tahun 2013, sehingga hanya digunakan untuk penentuan titik pengamatan. Pengumpulan data mempertimbangkan keragaman tutupan bentik perairan dangkal dan resolusi spasial citra satelit yang digunakan dalam klasifikasi. Proses pengamatan lapangan menggunakan transek kuadrat berukuran 1m² dan GPS *Trimble Geo Ext 2800*. Setiap titik pengambilan data dibantu dengan menggunakan kamera bawah air untuk memudahkan *post processing* dan pengkategorian set data.

2.3. Analisis Data

Pengolahan citra digital dilakukan dengan menerapkan pra pengolahan dan analisis melalui klasifikasi dengan menerapkan algoritma *machine learning*. Informasi kompleksitas habitat diperoleh melalui analisis rugositas habitat menggunakan perangkat pemodelan habitat yang dikenal dengan *Benthic Terrain Modeler* (BTM).

2.3.1. Pre-processing

Pra pengolahan data dilakukan terhadap data lapangan dan data citra satelit. Data hasil pengamatan lapangan dikelompokkan kedalam kelas habitat, L2 sebanyak 4 kelas dan L3 sebanyak 3 kelas. Kelas habitat yang digunakan pada L2 adalah terumbu karang, lamun, pasir, dan rubble. Adapun pada L3, kelas terumbu karang dari L2 diklasifikasikan menjadi karang mati, karang hidup, dan karang

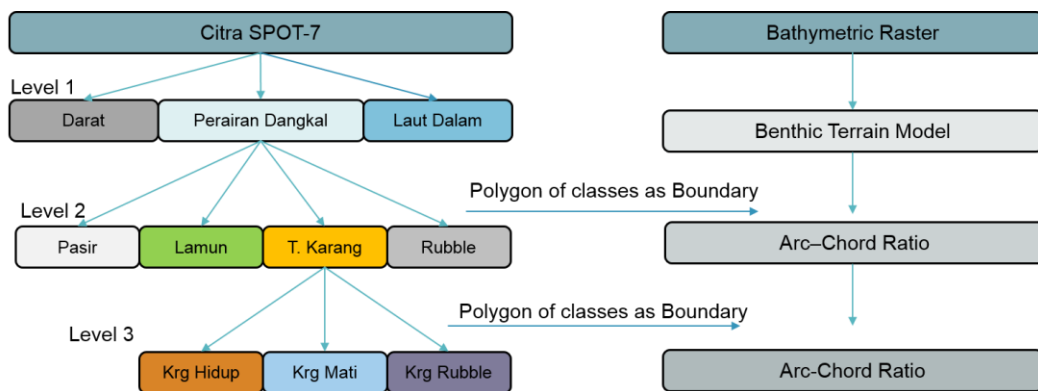
bercampur *rubble*. Citra SPOT-7 terlebih dahulu dilakukan pemrosesan awal dalam rangkaian pengolahan citra. Pemrosesan awal ini meliputi koreksi standar dalam pengolahan citra yaitu koreksi atmosferik, koreksi geometrik dan pemotongan untuk memfokuskan ke daerah kajian.

2.3.2. Klasifikasi Citra dan Akurasi Assesment

Teknik klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi berbasis objek yang dilakukan pada 3 level, dengan hirarki seperti pada **Gambar 2**. L1 dilakukan untuk masking laut dalam dan daratan, sehingga pada analisis selanjutnya hanya difokuskan pada perairan dangkal. Kelas habitat pada L2 dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu pasir, lamun, terumbu karang dan rubble, dimana kelas-kelas tersebut merupakan kelas yang umum paling dijumpai pada perairan dangkal. Kelas terumbu karang dari L2 selanjutnya dikelaskan menjadi 3 kategori pada L3, yaitu karang hidup, karang mati, dan karang bercampur *rubble*. Hasil klasifikasi dari L2 dan L3 berupa poligon-poligon kelas digunakan sebagai acuan (*boundary*) untuk menghitung indeks rugositas pada masing-masing kelas tersebut.

Segmentasi sebagai salah satu tahap penting dalam klasifikasi berbasis objek, dilakukan dengan menerapkan algoritma *multiresolution segmentation* pada setiap level. *Objek scale* merupakan parameter yang mengontrol ukuran rata-rata objek yang terbentuk dari hasil segmentasi. *Object scale* yang diterapkan pada masing-masing level yaitu 40,10, dan 5 berturut-turut dari L1, L2, dan L3. Untuk nilai-nilai setiap parameter segmentasi lainnya, seperti *shape*, *homogeneity*, dan *color* pada klasifikasi ini mengikuti nilai default.

Klasifikasi pada L1 menggunakan nilai *threshold band ratio*, berdasarkan evaluasi visual citra yang telah disegmentasi, diterapkan nilai *threshold*



Gambar 2. Hirarki klasifikasi untuk pemetaan kompleksitas habitat terumbu karang

pada kelas darat yaitu $B1/B4 \leq 1$, kelas perairan dangkal $B1/B3 \leq 1.1$ dan perairan dalam adalah $B1/B3 \geq 1.1$ dengan parameter *unclassified*. L2 dan L3 menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan parameter *brightness*, *maximum different*, dan *texture*. Data lapangan digunakan sebagai training sampel dan untuk pendugaan akurasi pada klasifikasi L2 dan L3. Pendugaan akurasi dilakukan menggunakan *confusion matrix* (Congalton 1991) untuk memperoleh akurasi hasil klasifikasi pada L2 dan L3. Parameter klasifikasi yang dihitung dari *confusion matrix* yaitu *overall accuracy* (OA), *producer's accuracy* (PA), dan *user's accuracy* (UA).

2.3.3. Analisis Kompleksitas Habitat

Kompleksitas menggambarkan tingkat kerumitan permukaan, dalam hal ini adalah bentuk dan kekasaran permukaan suatu habitat perairan dangkal. Rugositas (*rugosity*) merupakan salah satu pendekatan untuk mengukur kompleksitas suatu habitat (Du Preez 2014). Rugositas merupakan rasio antara jarak 2 titik secara horizontal dengan mengikuti kontur permukaan dan jarak dua titik pada bidang datar (untuk 2 dimensi). Adapun secara tiga dimensi, merupakan luas area permukaan habitat

beserta konturnya dibagi dengan luas permukaan pada bidang datar. Semakin kompleks permukaan habitat maka akan semakin besar nilai indeks yang dihasilkan, sebaliknya jika permukaan suatu habitat tergolong datar, nilai indeks yang dihasilkan akan semakin mendekati nilai 1. Persamaan umum untuk menghitung indeks rugositas habitat yaitu (Du Preez 2014) :

$$Rugosity = \frac{\text{contoured distance}}{\text{planar distance}}$$

(rugositas 2 dimensi) atau

$$Rugosity = \frac{\text{contoured area}}{\text{planar area}}$$

(rugositas 3 dimensi)

Tahapan yang dilakukan untuk menghitung indeks rugositas pada kajian ini yaitu (1) indeks rugositas pada L2 menggunakan poligon hasil klasifikasi berbasis objek pada L2 yaitu kelas terumbu karang, lamun, *rubble* dan pasir, sehingga diperoleh nilai rugositas berdasarkan kelas-kelas pada L2; (2) pada level 3, poligon kelas terumbu karang dari L2, digunakan sebagai batasan untuk mengklasifikasi habitat pada L3, yaitu untuk kelas karang hidup, karang mati, dan karang rubble; (3) poligon yang terbentuk berdasarkan kelas habitat pada L3 digunakan sebagai *boundary* data

untuk menghitung rugositas per masing-masing poligon kelas habitat; (4) input data elevasi sebagai acuan luas permukaan (*contoured area*) adalah data batimetri berformat raster yang merupakan hasil kombinasi antara model batimetri dari citra satelit dan pengukuran insitu (Subarno *et al.* 2016); (5) pemodelan indeks rugositas menggunakan pendekatan yang dikembangkan oleh Du Preez (2014), dalam bentuk *tools* dengan nama *Arc-Chord Ratio* (ACR) yang terintegrasi pada *Benthic Terrain Model* (BTM).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Klasifikasi Habitat Perairan Laut dangkal

Klasifikasi habitat perairan laut dangkal diperoleh luasan yang bervariasi pada setiap kelas habitat, sebagaimana disajikan pada **Tabel 2**.

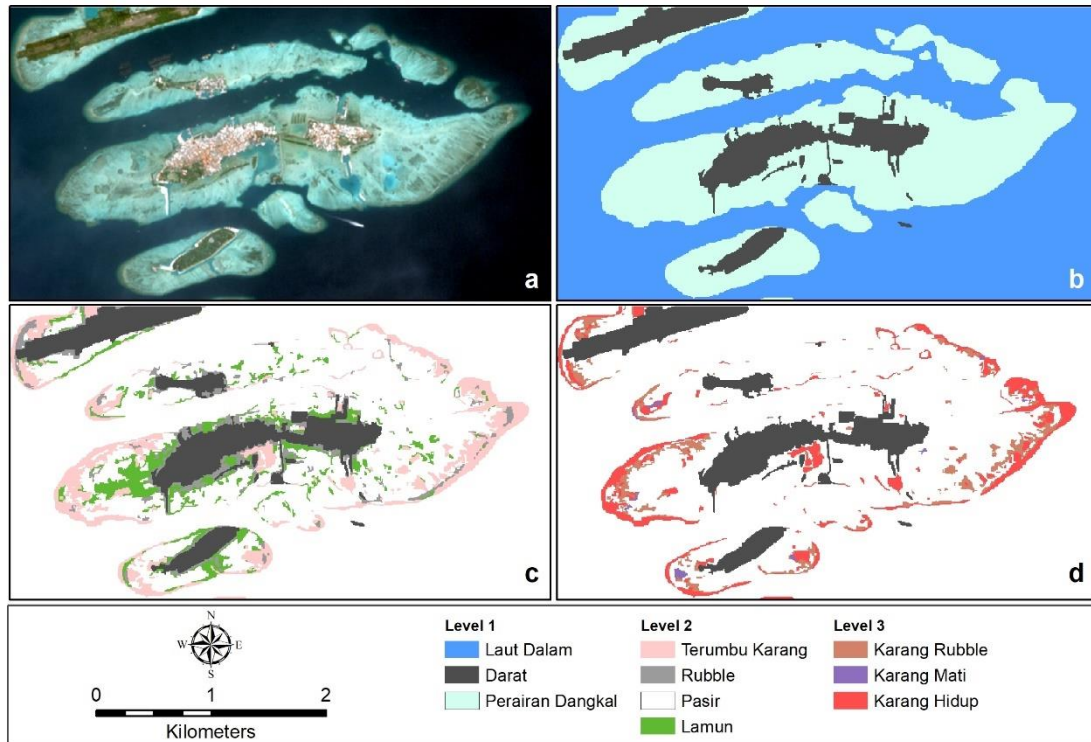
Hasil klasifikasi habitat benthik pada L2 diperoleh sebaran habitat yang paling luas adalah kelas pasir dengan luasan 233,89 ha, sedangkan habitat dengan luasan paling kecil adalah kelas lamun yang hanya 51,22 ha. Kelas terumbu karang yaitu seluas 87,008 ha, umumnya dijumpai pada wilayah sekitar *reef slope* (**Gambar 3c**). Nilai akurasi hasil klasifikasi pada L2, diperoleh dengan nilai yang cukup tinggi, baik untuk OA, UA, maupun PA, yaitu di atas 70%, namun jika diperhatikan pola sebaran kelas pada L2, terdapat area yang diduga misklasifikasi misalnya dijumpai kelas terumbu pada daerah dermaga. Lokasi tersebut seharusnya tidak terdapat kelas terumbu karang jika dilakukan pengamatan

langsung di lapangan. Kesalahan pengklasifikasian tersebut diduga karena pada daerah dermaga memiliki ketampakan warna yang sangat mirip dengan wilayah terumbu. Ketiadaan data *training* pada daerah tersebut juga diduga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan kesalahan klasifikasi oleh komputer.

Kemampuan citra satelit untuk mendefinisikan kelas habitat, termasuk terumbu karang sangat ditentukan oleh beberapa hal, salah satunya adalah data lapangan yang digunakan sebagai referensi. Klasifikasi yang dilakukan untuk mendetilkkan kelas terumbu karang pada L3 menjadi 3 kategori, diperoleh luasan terbesar adalah kelas karang hidup, yaitu sebesar 54,8 ha. Angka tersebut sangat signifikan perbedaannya dibanding kategori karang mati dan karang bercampur *rubble*. Luasan ini tersebar di lima pulau meliputi lokasi kajian. Berdasarkan Gambar 3d, sebaran kelas karang hidup secara umum lebih banyak dijumpai di sebelah Timur Pulau Harapan dan sebelah Barat Pulau Kelapa. Luasan perolehan karang hidup pada L3 tidak lepas dari hasil klasifikasi L2. Akurasi data yang dihasilkan baik pada L2 maupun L3 yang diwakili oleh akurasi keseluruhan (OA) telah diperoleh angka yang cukup memuaskan yaitu 83,55% pada L2 untuk 4 kelas dan 79,66% pada L3 untuk 3 kelas. Nilai ini mirip dengan akurasi keseluruhan yang diperoleh Selamat *et al.* (2012), yang mengelaskan habitat benthik di daerah Karang Lebar Kepulauan Seribu dan memperoleh OA sebesar 82,1%.

Tabel 2. *Summary* parameter akurasi menggunakan matriks error pada level 2 dan 3

Level 2 (OA = 83.55)				Level 3 (OA = 79.66)			
Kelas	Area (Ha)	UA (%)	PA (%)	Kelas	Area (Ha)	UA (%)	PA (%)
Terumbu Krg	87.008	82.93	80.95	Krg Hidup	54.800	75.00	90.00
<i>Rubble</i>	36.958	72.73	82.76	Krg Mati	2.256	80.00	66.67
Pasir	233.896	89.36	87.50	Krg bercampur alga	29.952	85.00	80.95
Lamun	51.222	87.10	81.82				



Gambar 3. Hasil klasifikasi penutupan habitat bentik pada perairan Pulau Harapan-Kelapa, (a) Komposit RGB citra SPOT 7; (b) hasil klasifikasi pada level 1; (c) klasifikasi pada level 2 dikelompokkan menjadi 4 kelas habitat; dan (d) hasil klasifikasi pada level 3 kelas terumbu karang menjadi 3 kelas

3.1. Kompleksitas habitat terumbu

Indeks rugositas dianalisis pada setiap kelas habitat hasil klasifikasi L2 dan L3 dengan acuan polygon yang terbentuk. Nilai minimal adalah 1 yang menunjukkan bahwa pada area tersebut datar sehingga luas antara penampang permukaan (*surface*) dan planarnya adalah sama. Nilai-nilai maksimum pada setiap kelas terlihat berbeda-beda dimana

pada level 2 paling tinggi pada kelas terumbu karang, dan pada level 3 pada kelas karang hidup (**Tabel 3**).

Tabel 3 memperlihatkan nilai indeks rugositas maksimal yang tertinggi pada L2 adalah pada kelas terumbu karang, menunjukkan bahwa pada area kelas habitat terumbu tersebut memiliki struktur kompleksitas yang lebih tinggi dari kelas lainnya.

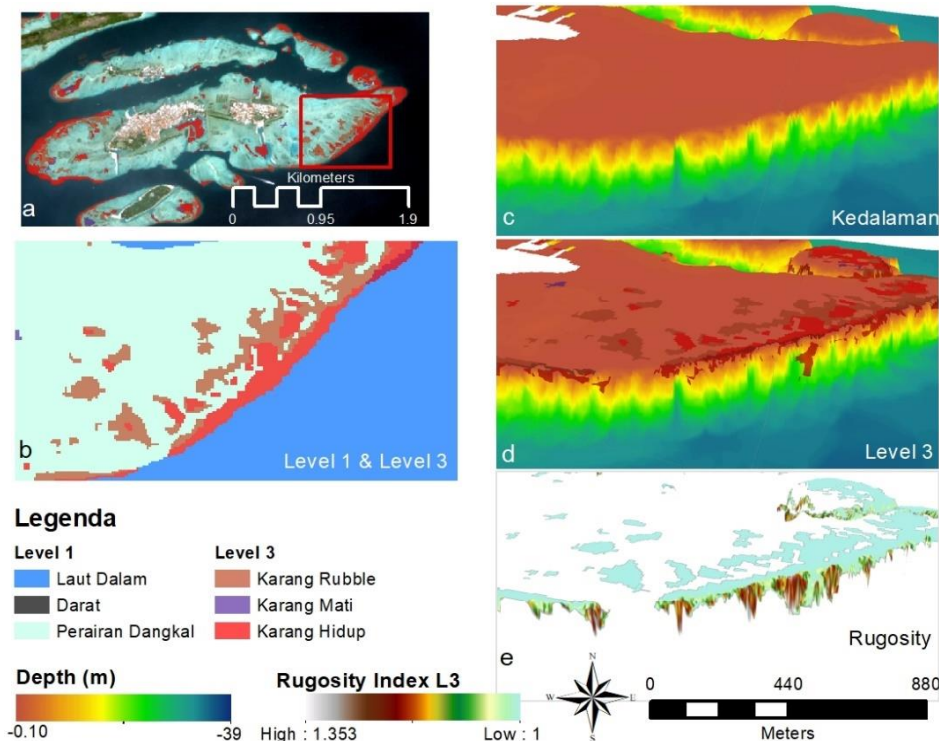
Tabel 3. Nilai-nilai kompleksitas habitat pada masing-masing kelas

Level/Kelas	Min	Maks	Rata2	StDev
Level 2				
Terumbu karang	1	1.3529658	1.0043253	0.0144901
Rubble	1	1.2775466	1.0015784	0.0098024
Pasir	1	1.3425846	1.0006289	0.0044275
Lamun	1	1.2322272	1.001522	0.0081279
Level 3				
Karang Hidup	1	1.35296583	1.00657559	0.01767507
Karang Mati	1	1.11978972	1.00029185	0.00265910
Karang bercampur rubble	1	1.13878882	1.00057230	0.00405583

Formasi terumbu yang beragam hingga membentuk kedalaman yang bervariasi dan menjadikan luas penampang permukaan (*surface*) jauh lebih luas dari penampang dasarnya (*planar*). Perbedaan luas yang signifikan ini menjadikan hasil analisis kompleksitas pada area terumbu lebih besar dari kelas lainnya. Kelas pasir dan *rubble* menghasilkan nilai rugositas yang rendah, mengindikasikan permukaan dasar perairan pada habitat ini cenderung datar dan tidak menunjukkan perbedaan luas yang signifikan antara *surface* dan *planar*. Kelas pasir menunjukkan nilai rugositas maksimal kedua setelah kelas terumbu karang dan lebih besar dari kelas lamun dan *rubble*, nilai indeks yang tinggi ini kemungkinan pada beberapa area kelas pasir terdapat pada permukaan yang

tergerus atau lebih dalam dari kelas sekitarnya sehingga menjadikan luas *surface* lebih tinggi dari luas *planar*. Kelas pasir secara umum berada pada wilayah yang lebih datar dengan bentuk habitat yang lebih sederhana dari kelas lainnya, hal ini dapat dilihat dari nilai rata-rata indeks rugositas yang menunjukkan nilai paling kecil dari kelas lainnya.

Terdapat hubungan positif antara kompleksitas habitat dengan aktivitas ekologi di kawasan terumbu karang (Ferrari *et al.* 2016; Kuffner *et al.* 2006). Kajian aspek kompleksitas habitat secara spasial dapat bermanfaat sebagai salah satu indikator keragaman ekologi pada suatu wilayah. Kajian ini memanfaatkan potensi data citra satelit untuk mengestimasi kompleksitas habitat yang dapat dikombinasikan dengan klasifikasi



Gambar 4. Overview profil kedalaman, klasifikasi habitat, dan indeks rugositas (a) tampilan citra SPOT 7 dan kotak merah menandakan lokasi subset untuk overview, (b) tampilan 2 dimensi hasil klasifikasi antara L3 dioverlay dengan L3, (c) profil 3 dimensi kedalaman perairan pada lokasi subset, (d) overlay antara kelas habitat L3 dan profil kedalaman, dan (e) indeks rugositas habitat pada lokasi subset.

habitat bentik. Kelebihan yang ditawarkan adalah kemampuan memetakan indeks kompleksitas habitat (rugositas) secara spasial dalam area yang luas dengan waktu yang singkat dibandingkan dengan teknik konvensional, yaitu pengukuran insitu (Du Preez 2014). Kelebihan lain adalah memungkinkan untuk melakukan pemetaan kompleksitas berdasarkan variasi kategori penutupan habitat. Kedepannya, diharapkan dapat dikembangkan lebih jauh lagi, terutama pemanfaatan data yang dihasilkan untuk kajian di wilayah ekosistem perairan dangkal, juga aplikasinya dalam pengelolaan ekosistem pesisir. Hasil analisis terhadap kompleksitas habitat juga perlu dilakukan validasi lapangan dan pengembangan metode validasinya, saat ini metode yang banyak diaplikasikan adalah dengan menggunakan transek rantai.

4. KESIMPULAN

Hasil klasifikasi komunitas bentik menunjukkan dominansi kelas pasir pada level 2, sementara pada level 3 didominasi oleh karang hidup. Indeks kekasaran permukaan (rugositas) diperoleh pada rentang 1 - 1,3529658, dimana nilai 1 mewakili area dengan permukaan yang datar, sementara semakin tinggi nilai tersebut semakin menunjukkan kekasaran permukaan yang menandakan kompleksitas pada area tersebut semakin tinggi. Nilai rugositas hasil analisis menunjukkan perbedaan pada setiap kelompok habitat, dimana pada level 2, kelas habitat dengan indeks rugositas tertinggi yaitu terumbu karang, sementara pada level 3 nilai tertinggi ditemukan pada kelas karang hidup. Kombinasi penerapan metode OBIA dan BTM untuk pemetaan habitat beserta tingkat kompleksitasnya menunjukkan hasil yang baik dan berpotensi untuk

dikembangkan lebih jauh lagi. Diperlukan metode validasi yang lebih akurat untuk meminimalkan kesalahan klasifikasi dan meningkatkan akurasi data yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada KEMENRISTEK-DIKTI, dimana sebagian dari rangkaian penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi yang dibiayai oleh KEMENRISTEK-DIKTI bagi dosen perguruan tinggi atas nama Vincentius Siregar (No. 083/SP2H/PL/Dit.Litabmas/II/2016). Apresiasi juga disampaikan kepada masyarakat Kepulauan Seribu atas bantuannya dalam pelaksanaan survei lapangan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, A., Siregar, V.P., & Agus, S.B. (2015). Geomorphic zones mapping of coral reef ecosystem with OBIA method, case study in Pari Island. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 12, 1-12
- Baumstark, R., Duffey, R., & Pu, R. (2016). Mapping seagrass and colonized hard bottom in Springs Coast, Florida using WorldView-2 satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 181, 83-92
- Congalton, R.G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46
- Du Preez, C. (2014). A new arc-chord ratio (ACR) rugosity index for quantifying three-dimensional landscape structural complexity. *Landscape Ecology*, 30, 181-192

- Ferrari, R., McKinnon, D., He, H., Smith, R.N., Corke, P., González-Rivero, M., Mumby, P.J., & Upcroft, B. (2016). Quantifying Multiscale Habitat Structural Complexity: A Cost-Effective Framework for Underwater 3D Modelling. *Remote Sensing*, 8, 1-21
- Friedman, A., Pizarro, O., Williams, S.B., & Johnson-Roberson, M. (2012). Multi-scale measures of rugosity, slope and aspect from benthic stereo image reconstructions. *PLoS One*, 7, e50440
- Jhonnerie, R., Siregar, V.P., Nababan, B., Prasetyo, L.B., & Wouthuyzen, S. (2015). Random forest classification for mangrove land cover mapping using Landsat 5 TM and ALOS PALSAR imageries. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 215-221
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2015). Object-Based Approach for Multi-Scale Mangrove Composition Mapping Using Multi-Resolution Image Datasets. *Remote Sensing*, 7, 4753-4783
- Knudby, A., & LeDrew, E. (2007). Measuring Structural Complexity on Coral Reefs *Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 26th Symposium. Dauphin Island, AL: AAUS; 2007*, 8
- Kuffner, I.B., Brock, J.C., Grober-Dunsmore, R., Bonito, V.E., Hickey, T.D., & Wright, C.W. (2006). Relationships Between Reef Fish Communities and Remotely Sensed Rugosity Measurements in Biscayne National Park, Florida, USA. *Environmental Biology of Fishes*, 78, 71-82
- Phinn, S.R., Roelfsema, C.M., & Mumby, P.J. (2012). Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 33, 3768-3797
- Selamat, M.B., Jaya, I., Siregar, V.P., & Hestirianoto, T. (2012). Geomorphology Zonation and Column Correction for Bottom Substrat Mapping using Quickbird Image. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 3
- Siregar, V.P., Wouthuyzen, S., Sunuddin, A., Anggoro, A., & Mustika, A.A. (2013). Shallow water habitat mapping and reef fish stock estimation using high resolution satellite data. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5, 453-463
- Subarno, T., Siregar, V.P., Agus, S.B., & Sunuddin, A. (2016). Modelling Complex Terrain of Reef Geomorphological Structures in Harapan-kelapa Island, Kepulauan Seribu. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 478-486
- Urbański, J., Mazur, A., & Janas, U. (2009). Object-oriented classification of QuickBird data for mapping seagrass spatial structure. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 38
- Wahidin, N., Siregar, V.P., Nababan, B., Jaya, I., & Wouthuyzen, S. (2015). Object-based image analysis for coral reef benthic habitat mapping with several classification algorithms. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 222-227
- Wedding, L.M., Friedlander, A.M., McGranaghan, M., Yost, R.S., & Monaco, M.E. (2008). Using bathymetric lidar to define nearshore benthic habitat complexity: Implications for management of reef fish

- assemblages in Hawaii. *Remote Sensing of Environment*, 112, 4159-4165
- Wright, D.J., Lundblad, E.R., Larkin, E.M., Rinehart, R.W., Murphy, J., Cary-Kothera, L., & Draganov, K. (2005). ArcGIS Benthic Terrain Modeler. In. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center
- Zhang, C., Selch, D., Xie, Z., Roberts, C., Cooper, H., & Chen, G. (2013). Object-based benthic habitat mapping in the Florida Keys from hyperspectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 134, 88-97

