

KAJIAN TEKNIS PENGGUNAAN CITRA SATELIT EO-1 **HYPERION**
UNTUK PEMETAAN HABITAT TERUMBU KARANG
DI PESISIR UTARA TAMAN NASIONAL BUNAKEN
(*Study on the use of EO-1 Hyperion Satellite Imagery for Coral Reef Habitat
Mapping in the Northern Coast of Bunaken National Park*)

Erwin Hardika Putra¹ dan Eko Wahyu Handoyo²

¹Balai Pengelola Daerah Aaliran Sungai Tondano, email : erwinhardika@yahoo.com

²Balai Taman Nasional Bunaken, email :handoyo_eko01@yahoo.co.id

ABSTRACT

This paper describes the capability of EO-1 Hyperion Satellite Imagery for coral reef habitat mapping by studying its spectral characteristics, separability index, and image class accuracy. Visually, each classes have highest reflectance at visible ray wavelength. Decreasing reflectance value happen at near infra red/NIR and shortwave infra red / SWIR wavelength. Principle Component Analysis/PCA is applied to reduce the data dimension of hyperspectral imagery and still preserving the variances. Synthetic PCA imagery with the first 3 band have good category of separability index between each classes. Image classification result have 83,33% of overall accuracy and 0,833 of kappa statistics.

Keywords: EO-1 Hyperion, coral reef

ABSTRAK

Tulisan ini membahas kemampuan citra satelit EO-1 *Hyperion* untuk pemetaan habitat terumbu karang dengan mempelajari karakteristik spektral, tingkat separabilitas, dan akurasi hasil klasifikasi. Secara visual, setiap kelas memiliki nilai reflektansi yang tertinggi pada panjang gelombang sinar tampak. Penurunan reflektansi terjadi pada *near infra red/NIR* dan *shortwave infra red / SWIR*. *Principle component analysis/PCA* dilakukan untuk mengurangi dimensi data citra hiperspektral dengan tetap mempertahankan keragaman. Tingkat separabilitas antar kelas pada citra sintetik PCA dengan 3 band pertama (PCA123) memiliki kategori yang baik. Hasil klasifikasi citra menunjukkan akurasi keseluruhan 83,33% dan *kappa statistics* 0,833.

Kata kunci: EO-1 Hyperion, terumbu karang

I. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Pesisir Utara Taman Nasional Bunaken merupakan salah satu habitat terumbu karang di Provinsi Sulawesi Utara. Terumbu karang adalah struktur di dasar laut berupa deposit kalsium karbonat (kapur) di laut yang dihasilkan oleh hewan karang yang bersimbiosis dengan *zooxanthellae*. Dalam hal peranannya sebagai penyerap karbon, terumbu karang menghasilkan produktivitas lebih tinggi, yakni sekitar 11.680 gC/m²/tahun (Supriharyono, 2007 dalam Yunandar, 2011) dibanding mangrove 2.700 gC/m²/tahun dan lamun 900 – 4.650gC/m²/tahun (Bengen, 2001 dalam Yunandar, 2011). Terumbu karang juga dipandang sebagai ekosistem laut yang memiliki keanekaragaman hayati dan nilai sosial ekonomis yang tinggi. Keberadaan ekosistem terumbu karang dan wilayah pesisir yang berada di wilayah ini pun mempengaruhi kondisi sosial ekonomi masyarakat sekitar, seperti pada Desa Molas, Meras, Tongkaina, Tiwoho, dan Wori, terutama pada sektor perikanan dan pariwisata. Beban limbah dan sampah yang dibuang melalui Teluk Manado secara terus menerus, aktivitas perikanan dan pariwisata yang tidak ramah lingkungan memberikan andil bagi penurunan degradasi ekosistem terumbu karang di dalam kawasan Taman Nasional Bunaken. Oleh karena itu, kegiatan pemetaan habitat terumbu karang merupakan hal yang penting dalam pengelolaan ekosistemnya.

Teknologi penginderaan jauh dalam pemantauan terumbu karang memiliki peranan yang penting, terutama untuk memantau kondisi seperti hilangnya terumbu karang akibat campur tangan manusia maupun faktor alami. Pemantauan secara intensif membutuhkan dana yang besar dan waktu yang cukup lama. Dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh, kegiatan pemantauan terumbu karang diharapkan mampu memberikan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan dengan dana dan waktu yang minimal.

Citra satelit EO-1 Hyperion merupakan citra hiperspektral yang memiliki resolusi spasial 30 x 30 meter, resolusi spektral setiap 10 nm secara kontinyu dengan jangkauan antara 0,4–2,5 μ m yang terdiri dari 220band, resolusi radiometrik 12 bit (Griffin et.al, 2005), dan resolusi

temporal 200 hari (Beck, 2003). Perbedaan citra hiperspektral dan non hiperspektral adalah pada banyaknya *band* yang digunakan. Pada citra non hiperspektral, seperti Landsat, SPOT, Ikonos, Quickbird, dan lain-lain, *band* yang digunakan tersusun tidak secara kontinyu dan dalam jumlah yang sedikit. Manfaat penggunaan citra hiperspektral salah satunya adalah memiliki resolusi yang tinggi dalam separasi obyek permukaan bumi. Citra hiperspektral EO-1 *Hyperion* telah digunakan dalam aplikasi pemetaan habitat perairan dalam berbagai penelitian. Menurut Kruse (2003), citra hiperspektral EO-1 *Hyperion* dilaporkan mampu mendeteksi karakteristik perairan dangkal daerah pesisir dengan melakukan analisis keterpisahan antara daratan/vegetasi, pasir, *seagrass*, kombinasi terumbu karang dan pasir, dan koloni terumbu karang. Velloth, Mupparthy, dan Nayak (2012) mengkaji kemampuan citra ini untuk memetakan tingkat kedalaman air dan berbagai kelas habitat perairan dangkal, seperti terumbu karang sehat, tutupan alga, tutupan *seagrass*, terumbu karang terdegradasi, laguna, dan pasir menggunakan algoritma *k-means clustering*. Namun kedua hasil penelitian tersebut tidak menjelaskan bagaimana tingkat separabilitas antar kelas dan bagaimana akurasi hasil klasifikasinya.

Pemanfaatan citra EO-1 *Hyperion* untuk pemetaan terumbu karang di wilayah Taman Nasional Bunaken belum pernah dilakukan. Keterbatasan jumlah *training/sample area* survei pun menjadi masalah tersendiri karena dalam metode analisis separabilitas memerlukan piksel sejumlah $n+1$ (n =jumlah *band* yang digunakan) atau sekitar 17 ha setiap kelasnya. Untuk survey bawah laut, luasan yang demikian terlalu besar. Hal ini dapat disiasati dengan penggunaan citra sintetik *Principle Component Analysis* (PCA). Diharapkan dengan penggunaan citra sintetik PCA, evaluasi separabilitas antar kelas dan hasil klasifikasi citra memiliki akurasi yang dapat diterima.

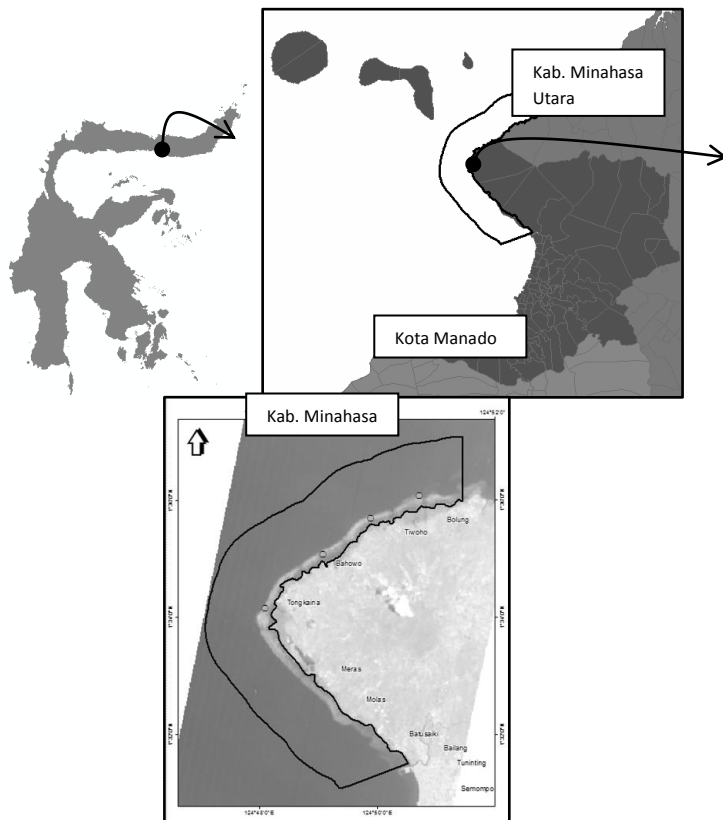
B. Maksud dan Tujuan

Maksud kajian ini adalah untuk mengetahui kemampuan citra EO-1 *Hyperion* dalam memetakan habitat terumbu karang, sedangkan tujuannya

adalah mengetahui karakteristik spektral, tingkat separabilitas antar kelas, dan akurasi hasil klasifikasi citra.

II. Metodologi

Lokasi studi berada pada perairan Pesisir Utara yang memanjang dari Desa Molas, Kota Manado hingga Desa Wori, Kabupaten Minahasa Utara, yang dibatasi secara tegak lurus garis pantai sejauh 2 km. Wilayah ini termasuk dalam areal kerja Taman Nasional Bunaken.



Gambar (Figure) 1. Lokasi kajian di pesisir utara Taman Nasional Bunaken (*Study area in Northern Coast of Bunaken National Park*)

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah citra *digital* EO-1 Hyperion, liputan tanggal 6 Oktober 2012, path/row 112/059,16 bit, format data TIFF (*Tagged Image Format File*), dan 196 *band* (dari 242 *band* terdapat 46 *band* yang tidak mengandung nilai kecerahan, yakni *band* 1 – 7,

58 – 76, dan 223 – 242), yang didapatkan dari *United States Geological Survey* melalui *website* <http://earthexplorer.usgs.gov> {diakses tanggal 1 Maret 2013}. Data survey bawah laut dihasilkan oleh tim survey Taman Nasional Bunaken yang dilaksanakan pada bulan Juni - Oktober 2012. Metode pencatatan tutupan karang dan makro *benthos* oleh tim survey menggunakan transek titik yaitu *point intercept transect* (PIT) sepanjang 50 meter sebanyak 3 kali ulangan pada dua kedalaman yaitu dangkal (2-4 meter) dan dalam (8-10 meter). Persentase kemunculan komponen yang diamati terdiri atas *abiotic* (pasir dan batuan), *alga*, *death coral with algae/DCA*, *hardcoral*, *softcoral*, *others*). Berdasarkan hasil survey, sebagaimana dalam lampiran, maka pengkelasan pemetaan habitat terumbu karang terdiri dari :1) Abiotik – *Hardcoral* (tutupan abiotik lebih banyak dengan persentase *hard coral* yang sedang), 2) *hardcoral* dominan (tutupan *hard coral* lebih dominan daripada tutupan lainnya), 3) DCA – *hard coral* – *abiotic* (persentase DCA lebih banyak dengan *hard coral* dan abiotik sedang), 4) *hard coral* – abiotik (persentase *hard coral* lebih banyak dengan tutupan abiotik sedang), 5) *hard coral* – DCA– *abiotic* (persentase *hard coral* lebih banyak dengan tutupan DCA dan abiotik sedang), 6) abiotik dominan, dan 7) laut dalam.

Kisaran panjang gelombang sinar tampak (0,45 – 0,7 μm) pada citra satelit EO-1 Hyperion dideteksi oleh sensor *band 1 – band 35*. Panjang gelombang *near infra red* (NIR) dideteksi oleh sensor *band 36 – band 70*. Panjang gelombang *short wave infra red* (SWIR) dideteksi oleh sensor *band 71 – band 242* (Beck, 2003).

Pada tahapan persiapan, dilakukan *layer stacking* dan koreksi geometrik terhadap citra serta ekstraksi berdasarkan batasan lokasi kajian. Setelah itu, klasifikasi multispektral dilakukan terhadap citra EO-1 Hyperion. Klasifikasi multispektral dilaksanakan dalam 4 tahapan, yakni pemilihan *training/sampling area*, analisis *cluster* dan separabilitas, klasifikasi multispektral menggunakan metode *maximum likelihood classifier/MLC* dan uji akurasi menggunakan *confussion matrix*. Pemilihan *training/sampling area* dilaksanakan berdasarkan data sekunder survey lapangan.

Analisis separabilitas dilakukan untuk menguji tingkat separasi/keterpisahan antara kelas berdasarkan *training area* yang telah dipilih menggunakan metode *transform divergence*/TD. Jumlah *training area* untuk dapat dianalisa menggunakan analisa separabilitas harus memiliki jumlah piksel yang cukup, yakni sejumlah $n + 1$, n = jumlah *band*. Dengan demikian, setiap kelas harus memiliki minimal 197 piksel atau sekitar 17 ha. Untuk survey bawah laut, luasan yang demikian terlalu besar. Hal ini disiasati pula dengan penggunaan citra sintetik yang dihasilkan dari transformasi citra menggunakan teknik penajaman spektral PCA. Menurut Jaya (2005) dan Jaya *et al.*(2000), metode ini bertujuan untuk memilih keragaman yang kombinasi linearnya tidak mempunyai korelasi yang cukup. Analisis ini memecah-mecah suatu matrik menjadi sumbu-sumbu yang orthogonal (saling tegak lurus). Masing-masing sumbu terkait dengan *eigenvalue* dari suatu matrik yang mencerminkan keragaman dari matrik yang bersangkutan. *Eigenvalue* tersebut diurutkan dari nilai yang besar ke nilai yang kecil (*descending order*) yang sekaligus mencerminkan urutan keragaman matrik dari yang besar ke yang kecil. Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah satu set sumbu. Kelompok beberapa sumbu pertama mempunyai persentase keragaman yang lebih besar dibandingkan dengan sumbu-sumbu berikutnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa PCA digunakan untuk mengurangi dimensi data dalam sebuah citra atau kompresi citra dengan tetap mempertahankan informasi keragaman yang ada.

Rumus penetapan nilai TD adalah sebagai berikut :

$$D_{ij} = 0,5\text{tr}((C_i - C_j)(C_{i-1} - C_{j-1})) + 0,5\text{tr}((C_{i-1} + C_{j-1})(\mu_i - \mu_j) (\mu_i - \mu_j)^T)$$

$$TD_{ij} = 2000*(1 - \exp(-D_{ij}/8))$$

dimana :

D_{ij} = *divergence*

i dan j = 2 kelas *training area* yang diuji/dibandingkan

C_i dan C_j = matriks *covarian*/peragam dari *training area* kelas i dan kelas j

C_{i-1} dan C_{j-1} = matriks *inverse* / kebalikan dari matriks kovarian *training area* kelas i dan kelas j

μ_i dan μ_j = vektor rata-rata dari *training area* kelas i dan j

tr = trace function / teras matriks
T = fungsi transpose
T_{dij} = Transformed Divergence / nilai separabilitas antara kelas i dan j

Semakin tinggi nilai TD akan menunjukkan semakin baik keterpisahan antar kelas. Nilai TD yang dihasilkan dari rumus tersebut digolongkan menjadi 5 kelas, yakni :1)TD = 2000 adalah Sangat Baik (*excellent*), 2)1900 – 2000 adalah Baik (*good*), 3)1800 – 1900 adalah cukup (*fair*), 4)1600 – 1800 adalah kurang (*poor*), dan 5) <1600 adalah tidak dapat dipisahkan (*inseperable*) (Jaya, 1997).

Metode pengkelasan MLC dilakukan setelah uji separabilitas *training area* diterima. Klasifikasi ini mengasumsikan bahwa nilai statistik setiap kelas dalam setiap *band* memiliki distribusi normal dan menghitung probabilitas setiap piksel ke dalam kelas yang ditentukan dengan cara mengestimasi rata-rata dan nilai varian setiap kelas yang telah ditentukan pada saat pemilihan *training area*. Pengkelasan MLC dilakukan terhadap citra sintetik PCA dan citra EO-1 Hyperion menggunakan *band* terpilih.

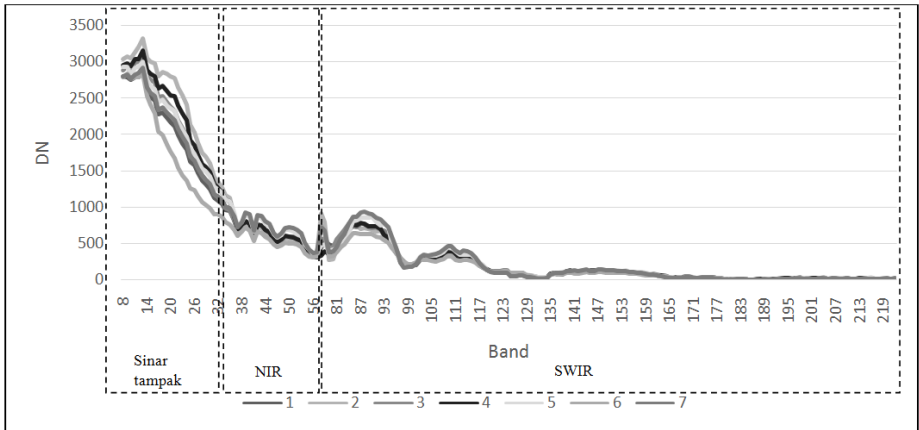
Uji akurasi dilakukan terhadap citra terklasifikasi menggunakan referensi data survei lapangan pada lokasi yang berbeda dengan *training area*. Untuk perhitungan *overall accuracy* dan *kappa accuracy* digunakan *confussion matrix*. *Overall accuracy* dihitung penjumlahan dari diagonal dibagi dengan total titik observasi. Rumus dari *kappa accuracy* adalah sebagai berikut (*OA*– *expected classification accuracy*) dibagi (*1 - expected classification accuracy*). *Expected classification accuracy* dihitung dengan menjumlahkan perkalian antara jumlah baris dan kolom secara diagonal dan membaginya dengan jumlah keseluruhan.

III. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik spektral objek habitat terumbu karang dapat dinilai dari rata-rata *band - band* pada citra untuk setiap kelas yang diamati. Pada kisaran panjang gelombang sinar tampak, yang terdiri dari sinar biru (0,45 – 0,5 μm), hijau (0,5 – 0,55 μm), dan merah (0,65 – 0,7 μm), setiap kelas memiliki nilai reflektansi (ditunjukkan dengan nilai *digital number / DN*)

yang tinggi (terutama pada sinar biru), sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar 2. Penurunan reflektansi terjadi pada batas sinar tampak menuju NIR dan SWIR. Menurut Jensen (2000), pada panjang gelombang inframerah (740 – 3000 nm), energi terserap dan nyaris tidak ada yang terpantulkan apalagi jika pada perairan dalam dan murni tanpa endapan sedimen atau bahan organik. Oleh karena itu, untuk aplikasi pemisahan darat dan perairan, penggunaan panjang gelombang infra merah sangat sesuai. Adanya alga akan meningkatkan reflektansi pada panjang gelombang NIR. Hal ini merupakan karakteristik pantulan vegetasi yang disebabkan karena kandungan klorofil pada alga. Namun untuk mendeteksi klorofil tanpa adanya gangguan dari bahan anorganik dan bahan organik yang tercampur memerlukan teknik koreksi atmosfer dan metodologi ekstraksi yang rumit.

Kisaran panjang gelombang yang menunjukkan keterpisahan antar kelas yang baik, secara visual berdasarkan grafik rata-rata adalah pada jangkauan panjang gelombang sinar tampak. Pada jangkauan SWIR, nilai keterpisahan antar kelas berdasarkan rata-ratanya tidak begitu baik dan cenderung untuk tidak dapat dipisahkan. Pada jangkauan sinar tampak, tutupan abiotik - *hardcoral* memiliki reflektansi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tutupan habitat terumbu karang lainnya. Reflektansi pada tutupan laut dalam lebih rendah satu tingkat daripada reflektansi *hardcoral* dominan dan merupakan yang terendah daripada tutupan lainnya. Sinar tampak pada laut dalam lebih banyak yang terserap mengisi kolom air hingga batas perairan dalam daripada yang dipantulkan. Sinar tampak diduga mengalami hamburan pada tutupan *hardcoral* dominan sehingga lebih sedikit yang dipantulkan. Pada jangkauan panjang gelombang NIR dan SWIR, pantulan terbesar secara visual berdasarkan grafik rata-rata adalah abiotik dominan sedangkan yang terendah adalah laut dalam.



Keterangan (Remark) : 1 = hardcoral dominan, 2 = abiotik - hardcoral, 3 = dca - hardcoral - abiotik, 4 = hardcoral - abiotik, 5 = hardcoral - dca - abiotik, 6 = laut dalam, 7 abiotik dominan

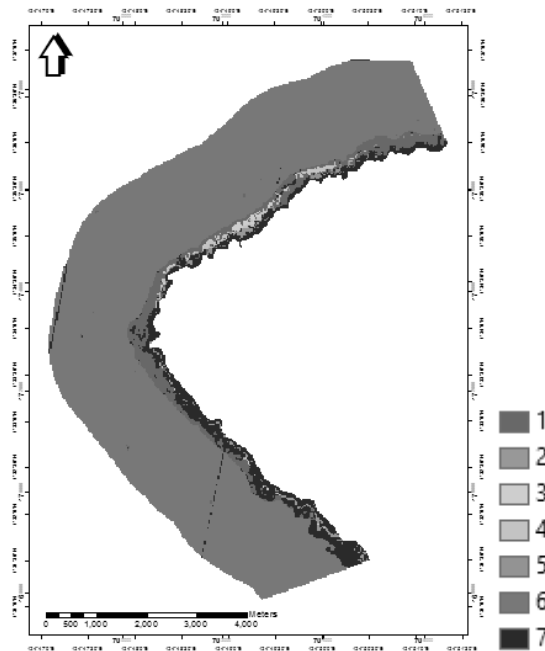
Gambar (Figure) 2. Grafik rata-rata reflektansi setiap kelas habitat terumbu karang (Each class average reflectance value graphic of coral reef habitat).

Citra sintetis yang dihasilkan menggunakan PCA memiliki 196 band. Dari 196 band tersebut hanya dipilih 3 band pertama saja karena sudah memiliki nilai informasi yang beragam sejumlah 99,62% (berdasarkan *eigenvalue*) dari total informasi. Analisa separabilitas TD menggunakan citra sintetis PCA dengan memanfaatkan band PC1, PC2, dan PC3 menunjukkan hasil yang diharapkan. Dari 21 kombinasi keterpisahan antar kelas didapatkan rata-rata separabilitas sebesar 1993 (kategori baik). Tingkat keterpisahan antar kelas berkisar antara cukup dan sangat baik. Nilai keterpisahan dengan kategori cukup adalah antara kelas abiotik dominan dan dca - *hardcoral* - abiotik, sedangkan kombinasi sisanya memiliki kategori baik dan sangat baik.

Tabel (Table) 1. Matriks separabilitas PCA123 citra EO-1 Hyperion (*Separability matrix of PCA123 of EO-1 Hyperion Imagery*)

Kelas	1	2	3	4	5	6	7
1	-	1999	1999	1999	1999	2000	2000
2	1999	-	2000	1993	2000	2000	2000
3	1999	2000	-	1997	1987	2000	1883
4	1999	1993	1997	-	1999	2000	2000
5	1999	2000	1987	1999	-	2000	1999
6	2000	2000	2000	2000	2000	-	2000
7	2000	2000	1883	2000	1999	2000	-

Keterangan (Remark) : 1 = hardcoral dominan, 2 = abiotik - hardcoral, 3 = dca – hardcoral – abiotik, 4 = hardcoral – abiotik, 5 = hardcoral – dca – abiotik, 6 = laut dalam, 7 abiotik dominan



Keterangan (Remark) : 1 = hardcoral dominan, 2 = abiotik - hardcoral, 3 = dca – hardcoral – abiotik, 4 = hardcoral – abiotik, 5 = hardcoral – dca – abiotik, 6 = laut dalam, 7 abiotik dominan.

Gambar (Figure) 3. Hasil klasifikasi citra menggunakan PCA123 dari citra EO-1 Hyperion (*Image classification result using PCA123 of EO-1 Hyperion Imagery*)

Berdasarkan hasil analisis separabilitas, citra sintetik PCA EO-1 *Hyperion* diklasifikasi menggunakan metode MLC. Hasil klasifikasi menunjukkan *overall accuracy* sebesar 83,5% dan *kappa statistic* sebesar 0,833. Kurangnya *training area* mempengaruhi hasil klasifikasi walaupun tingkat separabilitas menunjukkan kategori yang baik.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa abiotik dominan tersebar di seluruh wilayah pesisir, namun paling banyak berada pada bagian selatan tanjung. Batas antara daratan dan lautan diidentifikasi masih berupa abiotik dominan (pasir dan batuan). *Hardcoral* dominan tersebar paling banyak berada di wilayah Tanjung Pisok dan sekitarnya. Variasi tutupan lebih banyak berada di bagian utara daripada di sebelah selatan tanjung, dimana terdapat tutupan berupa abiotik-*hardcoral*, *DCA-hardcoral* -abiotik, *hardcoral* -abiotik, dan *hardcoral* -DCA-abiotik.

Tabel (Table) 2. Luasan tiap kelas hasil klasifikasi (*Area of each class of image classification result*)

No	Kelas	Jumlah Piksel	Luas (ha)	Persentase
1	<i>Hardcoral</i> dominan	2130	191.7	6.17
2	Abiotik – <i>hardcoral</i>	187	16.83	0.54
3	DCA – <i>hardcoral</i> - abiotik	108	9.72	0.31
4	<i>Hardcoral</i> – abiotik	246	22.14	0.71
5	<i>Hardcoral</i> – DCA – abiotik	125	11.25	0.36
6	Laut dalam	28902	2601.18	83.75
7	Abiotik dominan	2812	253.08	8.15

Jika ditinjau dari persentasenya, abiotik dominan merupakan tutupan yang terluas jika dibandingkan dengan tutupan lainnya. Namun demikian jika dibandingkan dengan *hardcoral* dominan, tutupannya masih relatif sama hanya terpaut 2% atau sekitar 60 ha. Usaha replantasi terumbu karang dapat diterapkan pada wilayah yang dideteksi berupa abiotik dominan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil kajian disimpulkan bahwa ;

1. Berdasarkan grafik rata-rata *band* Citra EO-1 *Hyperion*, pada kisaran panjang gelombang sinar tampak, setiap kelas memiliki nilai reflektansi yang tinggi (terutama pada sinar biru). Penurunan reflektansi terjadi pada batas sinar tampak menuju panjang gelombang NIR dan SWIR. Kisaran panjang gelombang yang menunjukkan keterpisahan antar kelas yang baik, secara visual berdasarkan grafik rata-rata, adalah pada jangkauan panjang gelombang sinar tampak.
2. Tingkat separabilitas antar kelas dengan menggunakan citra sintetik PCA123 dari citra EO-1 *Hyperion* menunjukkan kategori yang baik.
3. Hasil klasifikasi menunjukkan *overall accuracy* sebesar 83,5% dan *kappa statistic* sebesar 0,833.
4. Dengan menggunakan metode PCA, Citra EO-1 *Hyperion* mampu memetakan kondisi habitat terumbu karang di pesisir utara Taman Nasional Bunaken.

B. Saran

Dari kajian ini direkomendasikan :

1. Perlunya kajian yang lebih detil hingga pada tingkat jenis terumbu karang menggunakan citra hiperspektral yang sama atau yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi, seperti CASI, AVIRIS, dan lain-lain.
2. Perlunya kajian untuk mengkorelasikan antara tingkat kepadatan terumbu karang dan nilai reflektansi citra.
3. Untuk meningkatkan akurasi dan tingkat separabilitas antar kelas perlu dilakukan survei yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Beck, R. 2003. EO-1 User Guide Version 2.3. University of Cincinnati for the Satellite Systems Branch USGS Earth Resources Observation Systems Data Center (EDC). Sioux Falls
- Griffin, M.K., Hsu, S.M., Burke, H.K., Orloff, S.M., and Upham, C.A. 2005. Examples of EO-1 *Hyperion* Data Analysis. *Lincoln Laboratory Journal* 15(2)

- Jaya, I.N.S. 2005. Tehnik Mendeteksi Lahan Longsor Menggunakan Citra Spot Multiwaktu: Studi Kasus di Teradomari, Tochio dan Shidata Mura, Niigata, Jepang. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 10(1) : 31-48.
- Jaya, I.N.S. 1997. Penginderaan Jauh Satelit untuk Kehutanan. Laboratorium Inventarisasi Hutan Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Jaya, I.N.S., Ikhwan, M., Nurhendra, dan Hardjoprajitno, S. 2000. Tehnik Mendeteksi Kebakaran Hutan Melalui Citra Satelit Multiwaktu :Studi Kasus di Propinsi Sumatera Selatan dan Riau. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 6(2) : 25-41
- Jensen, J.R. 2000. *Remote Sensing of The Environment an Erath Resource Perspective*. Prentice Hall. New Jersey
- Kruse,F.A.2003. Preliminary Result – Hyperspectral Mapping of Coral Reef System Using EO-1 Hyperion, Buck Island, U.S. Virgin Island. Presented at the 12thJPL Airborne Geoscience Workshop, 24 –28 February, 2003, Pasadena, California
- Velloth, S., Mupparthy, R.S., and Nayak, S. 2012. Analysis of EO-1 Hyperion over Agatti and Boat Islands, India. *Proceedings of the 12thInternational Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 9-13 July 2012*5A Remote sensing of reef environments
- Yunandar. 2011. Pemetaan Kondisi Karang Tepi (*Fringging Reef*) dan Kualitas Air Pantai Angsana Kalimantan Selatan. *Jurnal Bumi Lestari* 11 (1):50-57.

Lampiran

1. Hasil survei pengamatan karang (Tim survei TN Bunaken 2012)

Lokasi Survei	Kedalaman	Objek	Persentase (%)	Pengkelasan
Batultam	Deep (10 m)	Abiotik	54.67	<i>Abiotik-Hardcoral</i>
		Alga	6.00	
		DCA	9.00	
		<i>Hard Coral</i>	36.33	
	Shallow (3 m)	Abiotik	14.33	<i>Hardcoral</i> dominan
		Alga	6.67	
		DCA	3.33	
		<i>Hard Coral</i>	74.67	
		<i>Others</i>	1.00	
		<i>Soft Coral</i>	1.00	
Dusun Bahowo Desa Tongkaina	Shallow (3 m)	Abiotik	19.00	<i>DCA-Hard coral-</i> <i>abiotik</i>
		DCA	48.00	
		<i>Hard Coral</i>	23.33	
		<i>Soft Coral</i>	9.67	
Kimabajo Batas Atas	Deep (10 m)	Abiotik	20.67	<i>DCA-Hard coral-</i> <i>abiotik</i>
		DCA	43.67	
		<i>Hard Coral</i>	22.33	
		<i>Soft Coral</i>	13.33	
Tanjung Pisok	Deep (10 m)	Abiotik	39.33	<i>Hardcoral -</i> <i>Abiotik</i>
		Alga	7.33	
		DCA	2.67	
		<i>Hard Coral</i>	48.33	
		<i>Others</i>	1.00	
		<i>Soft Coral</i>	2.00	
	Shallow (3 m)	Abiotik	28.00	<i>Hard coral - DCA -</i> <i>abiotik</i>
		Alga	1.00	
		DCA	32.00	
		<i>Hard Coral</i>	37.00	
		<i>Soft Coral</i>	2.00	